МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

МАТЕРІАЛИ
VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

Київ
2014

Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2014. – 508 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на VI Мжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина».

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики; енергоефективні екобезпечні технології та обладнання; автоматизація управління електротехнічними комплексами; електромеханічне обладнання енергоємних виробництв; теплотехніка та енергозбереження; геобудівництво та гірничі технології; охорона праці, промислової та цивільної безпеки; інженерна екологія, а також особливості функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог. Викладено методи аналізу системи електропостачання, дано оцінку рівнів енергозабезпеченості та енергоефективності з урахуванням екологічного фактора та впливу галузі на людину.

Друкується за рішенням Вченої Ради Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту, протокол №12 від 26 .06.2014р.

Організаційний комітет конференції:
Голова комітету: Денисюк Сергій Петрович, д.т.н., професор, директор ІЕЕ;
Заступник голови комітету: Закладний Олександр Миколайович, к.т.н., доцент, заст. директора ІЕЕ;

Члени комітету: Кравець Віктор Георгійович, д.т.н., професор, зав. кафедри ГТіБ **Дешко Валерій Іванович**, д.т.н., професор, зав. кафедри ТЕ **Шевчук Степан Прокопович**, д.т.н., професор, зав. кафедри ЕМОЕВ **Ткачук Костянтин Костянтинович,** д.т.н., професор, зав. кафедри ІЕ **Левченко Олег Григорович,** д.т.н., професор, зав. кафедри ОППЦБ **Розен Віктор Петрович,** к.т.н., професор, зав. кафедри АУЕК **Лежнюк Петро Дем'янович,** д.т.н., професор, зав. кафедри електричних станцій та систем, ВНТУ **Каплун Віктор Володимирович,** д.т.н., професор, зав. кафедри електроніки та електротехніки, проректор з наукової та іноваційної роботи, КНУТД **Стасюк Олександр Іонович,** д.т.н., професор, зав. кафедри Інформаційні системи і технології на залізничному транспорті, ДЕТУТ **Щокін Вадим Олегович,** д.т.н., професор, зав. кафедри електропостачання та ресурсозбереження, КТУ **Костюк Василь Осипович**, к.т.н., с.н.с. відділу оптимізації розвитку паливних баз, ІЗЕ НАНУ;

Відповідальний секретар Оборонов Тарас Юрійович, інженер;
Технічний секретар: Броницький Вадим Олегович, аспірант

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, ауд. 310
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Тел./факс: (044) 406 83 08, 456 96 89
conference_eel@ukr.net

© Національний технічний університет України «КПІ», 2014

ЗМІСТ

Пленарне засідання

Огляд перспективних технологій управління навантаженням в енергетичних системах. ***Каденський М.Я., Дубовський С.В.*** ……10

Імпульсно-вібраційне руйнування гірських порід. ***Захарова І.В., Шевчук С.П***……16

Апробація методу оцінки впливу техногенних об'єктів на довкілля на прикладі м. Київ. ***Кудрявська Т. Б.., Дичко А.О.***…….21

Підвищення рівня енергоефективності та якості регулювання в динамічних режимах ЕМС з вентильними двигунами. ***Закладний О.М., Броницький В.О., Закладний О.О., Могилат Д.Ю.*** ……....24

Сталий розвиток енергетики

Розрахунково-аналітичне дослідження процесу очистки димових газів пиловугільних котлів від леткої золи у скрубері вентурі. ***Антонець І.В., Шрайбер О.А***……..……...31

Кріогенні системи накопичення електричної енергії. ***Замковий П. О., Гречкосій К.Р,*** студенти, ***Попов В.А.*** ……..……..……..……..……..……..……38

Підвищення точності прогнозування навантаження споживачів електричної енергії. ***Галабіцький П.М., Коцар О.В***. ……..……..45

Вдосконалення методів прогнозування попиту на електричну потужність в умовах ринку «доба наперед». ***Галабіцький П.М.,*** студент, ***Коцар О.В.***, к.т.н., доцент……..……..……..……..……53

Електропостачання житлових будинків на основі відновлюваних джерел енергії. ***Жовнір М. С.,*** студент, ***Басок Б.І.,*** д.т.н., проф, ***Засецький І.Г.***. ……..……..……..61

Вибір світлодіодної системи освітлення пташника. ***Грищук Ю. О.,*** студент, ***Соловей О.І.,*** к.т.н., доцент……..……..……..……..……68

Енергетичні процеси та технології оптимізації біохімічних процесів при біологічній очистці стічних вод. ***Романець О.П., Суходоля О.М.*** д.н. держ. управління, проф..……74

Світовий досвід організації збору та обробки даних комерційного обліку в лібералізованих ринках електричної енергії. ***Ткаченко Д.К.,*** студент, ***Коцар О.В.,*** к.т.н., доцент ……...……...……79

Перспективи використання кріогенних систем накопичення електричної енергії у промисловості України. ***Гречкосій К.Р., Замковий П.О.,*** студенти, ***Калінчик В.П.*** .……89

Оцінка генерувального потенціалу України щодо покриття попиту на електричну потужність в ОРЕ. Скібчик В.Ю., студент, ***Коцар О.В.***, к.т.н., доцент. …..……..95

Аналіз ефективності використання рекуператора теплоти повітря для системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря. ***Листопадська Т.В., Ковальчук А.М***..……104

Відновлення втрачених облікових даних енергоспоживання хімічного підприємства. ***Кудрицький М.Ю., Лутчин Т.М., Волошко А.В.,*** к.т.н., доцент. ……109

Аналіз процесу синтезу аміаку на основі розробки динамічної моделі процесу. ***Рабчук К. В., Стрелкова Г.Г.,*** к.ф.-м.н., доцент**.** ……..116

Комплексний підхід до визначення складу чинників, які необхідно враховувати при побудові систем оперативного контролю ефективності енерговикористання. ***Находов В.Ф., к.т.н., доцент; Бориченко О.В.,*** к.т.н., доцент***; Іванько Д.О***., аспірант***; Єгорова І.О.,*** магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». ……...122

Можливості зниження енергоспоживання в процесі очищення димових газів від вуглекислого газу водними розчинами амінів. ***М.П. Клопот,*** науковий керівник к.т.н, доц**.** ***А.М. Ковальчук.*** ……..131

Дослідження енергетичних процесів в трьохфазній епс з джерелами рг в середовищі matlab simulink. ***Волошко А.В.*** **–** к.т.н., доцент**,** ***Деревянко Д.Г.,*** асистент***, Колесник Є.М.,*** магістрант. ……..……135

Моделирование показателей надежности воздушных распределительных электрических сетей 6...10 кВ. ***В.А. Попов, В.В. Ткаченко, В.В. Кузьменко.*** ……..…139

Аналіз стану та перспектива розвитку природно-заповідного фонду лганьсої області. ***Кузьмич Д. І.*****.** ……146

Визначення діагностичних параметрів оцінки технічного стану високовольтного вимикача. Д.т.н. ***Кутін В.М.,*** к.т.н**.** ***Рубаненко О.Є.,*** асп**.** ***Мисенко С.В.,*** Вінницький Національний Технічний Університет, Україна. ……...151

Дослідження закономірностей зміни опору ізоляції мереж оперативного постійного струму. ***О.Є.Рубаненко,*** к.т.н., доц. ВНТУ**;** ***І.А.Жук,*** заст. нач. ЕЦ ДсГАЕС. ……..….158

Оптимальне розміщення конденсаторних батарей в системах електропостачання. ***О.В. Вітюк***. ……...163

Розробка моделі управління енергоефективністю процесу сушіння піску в сушарках барабанного типу. ***А.В.Чернявський, Л.Я.Кулаковський, О.М.Проскуріна.*** ……169

Управління електротехнічними комплексами

Математичний аналіз ранжування виробничих підсистем. ***Розен В.П., Шевчук А.П***. ……..……176

Інтелектуальна система управління для комбінованої енергетичної установки. ***Бичківський О.С., Тишевич Б.Л.***. ……182

Система інтелектуального управління для енергозбереження у системах водопостачання. ***Демчик Я.М., Тишевич Б.Л.***……..……186

Використання геліотрекерів для підвищення енергетичної ефективності фотоелектричних перетворювачів. . ***Гавалешко С.С., Пермяков В.Н. Алтухов Є.І.***….190

Розробка імітаційної моделі асинхронізованого вентильного електроприводу в середовищі matlab.*Пьорушкіна Н.А*, *Пермяков В.Н.*……...194

Нейромережева система управління для електропривода змінного струма з матричним перетворювачем. ***Іванов І.П., Тишевич Б.Л.*** …….……...198

Багатокритеріальний вибір системи регульованого електроприводу екскаватора методом функціонально-вартісного аналізу. ***Майданенко В.В., Лебедєв Л.М.*** ……205

Энергоэфективное управление дробильно-помольным комплексом. ***Гунько П.М., Мейта О.В., Полищук В.О.***…….……..……....……212

Деякі способи захисту асинхронних електродвигунів. ***Бенюх Р.Е., Дубовик В.Г., Лебедев Л.М.,*** ……..……..……..……217

Моделювання режиму роботи електромеханічного обладнання насосної станції басейну школи. ***Чермалих О. В., Майданський І.Я., Доценко О. Б.*** ……..……..223

Підвищення рівня енергоефективності насосної станції житлового комплексу. Закладний О.М., Прядко С.Л., Мішурняєв Д.О. ....……..……231

Підвищення рівня енергоефективності ліфтової установки з синхронним електроприводом. ***Закладний О.О., Прядко С.Л. Дудко К.С.,*** ……..…….238

Підвищення енергетичних показників електронавантажувачів з регульованим електроприводом. ***Закладний О.О. , Сівцова Т. О.*** ……..……245

Особенности управления водоотливной установкой с датчиками производительности. ***Иржавский А.С., Дубовик В.Г., Лебедев Л.М.*** …….254

Прогнозування та аналіз електричних навантажень промислових підприємств за допомогою нейронної мережі. ***Бабіченко О.С., Розен В.П.*** ……...…258

Оптимізація системи керування електроприводом ліфтової установки адміністративної будівлі промислового підприємства. ***Федорченко В.М.***…… ……...….……263

Дослідження нейронних мереж у системах бездатчикового векторного керування швидкості асинхронного електропривода. ***Осипова К.С., Данілін О. В.*** ……268

Ефективність роботи пропорційно-інтегрального і нейромережевого регуляторів при векторному керуванні асинхронним двигуном. ***Чугунов О.М., Данілін О. В.***……...272

Аналіз енергоефективності асинхронного електроприводу з коректором коефіцієнта потужності. ***Преподобна Г.Ю.*** ……276

Квазиоптимальне керування температурою припливного повітря з варіаціями сталої часу технологічного процесую. *Торопов А.В., Скуратовский Є.О.*. ……..……..……282

Моделювання системи електромеханічних властивостей асинхронно - вентильного каскаду при регулюванні швидкості на насосних установках. *Закладний О.М., Оборонов Т.Ю., Красносільський М.О.* ……..……..……287

Моделювання режимів роботи частотно-регульованого електропривода шахтної вентиляторної установки головного провітрювання. *Закладний О.М., Оборонов Т.Ю., Довгопола Н.О.* ……..……..……..293

Моделювання технологічного процесу водовідведення дощової стічної води. *Чермалих О. В, Майданський І.Я., Затірка Ю.І.*. ……..……..……..…298

Особливості автоматизації конвеєрів при застосуванні регульованого електроприводу в уніфікованих системах. *Бояринцев Я.И., Видренков В.А., Дубовик В.Г., Лебедев Л.М.* ……..306

Енергоефективні екобезпечні технології та обладнання

Про створення захисних покриттів теплообмінних поверхонь з використанням наноречовин. *Гальченко І.В., Затірка Н.О., Гавриш А.С.* ……..……331

Базові характеристики дослідницького стенду «Сонячний імітатор – двигун Стірлінга УДС-1". *Плахута С.В., Студенець В.П.*. ……..339

Investigation of food processing industry influence on improvement of wastewater treatment plant performance. *Кібякова Г.Є., Дешко В.І.*. ……..348

Спосіб моделювання двофазних потоків і карти режимів. *Очеретнюк Р.В., Гавриш А.С*………353

Біогазова установка для опалення тваринницької ферми. *Чернуха К.В., Шкляр В.І., Дубровська В.В.*. ……360

Аналіз теплообміну вентильованих фасадів. *Котенко М.Р., Дешко В.І.*. ……..364

Про дослідження теплообмінних поверхонь із використанням тунельної мікроскопії. *Христюк І.М., Гавриш А.С.*. ……..……..371

Термодинамічні характеристики внутрішнього контуру двигуна Стірлінга УДС-1. *Ткаченко Н.В., Студенець В.П.*. ……..……379

Передумови реалізації концепції активного споживача в Україні. *Базюк Т.М., Опришко В.П.* ……..……..389

Особливості оцінювання енергоефективності енергоінфраструктури підприємства. Базюк Т.М., Огієвич О.М. ……..……..……394

Геотехнологія, екологія та промислова безпека

Природа і людина як лірична домінанта у творах т.шевченка (з нагоди 200-річчя). ***Павловський В.В..*** ……...……...398

Вплив наркевицького цукрового заводу на річку Мшанець. ***Рудюк Н.А.,*** Чернівецький національний університет ім. Федьковича. ……402

Діяльність та вплив машинобудівного підприємства на екологічну ситуацію в місті (ВАТ «Червоний Металіст», м. Конотоп). ***М.О. Мельничук*** студент***, О.І. Висоцький,*** асис. (ІЕЕ НТУУ "КПІ"). ……..……..……...……..407

Захист працюючих від шкідливих та небезпечних факторів при видобуванні і обробленні блочного каменю на кар'єрах. ***Гребенюк Т.В.,*** к.т.н.**,** ***Коляда Я.С.,*** студент (ІЕЕ НТУУ "КПІ"). ……..411

Вплив на навколишнє середовище підприємств молочної галузі на прикладі підприємства «кагма». ***Косяк І.В.,*** студент**,** ***Висоцький О.І.,*** асистент (ІЕЕ НТУУ "КПІ")……..415

Біоенергетична технологія утилізації відходів з отриманням теплової та електричної енергії. ***Дичко А.О.,*** к.т.н**.,** ***Ополінський І.О.,*** студент (ІЕЕ НТУУ "КПІ"). ……419

Основні види та компоненти техногенного забруднення шахтних вод і його вплив на навколишнє середовище. ***Олевська Т.В.,*** к.г.-м.н**.,** ***Канар М.О.,*** студент (НТУУ "КПІ")……..422

Вплив важких металів на якість та тривалість життя. ***Олевська Т.В.,*** к.г.- м.н**.,** ***Оніщенко А.О.,*** студент (НТУУ "КПІ"). ……..….425

Вплив геопатогенних зон на здоров'я людини. ***Козьяков В.С.,*** к.т.н.**,** ***Моцак Т.П.,*** студент (НТУУ "КПІ"). ……..……..……..…….429

Експрес-діагностика стану роботи котельного обладнання. ***Козьяков В. С.,*** к.т. н, доц.**,** ***Коваль М. В.,*** магістрант Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». ……..……..….433

Методи визначення екологічних ризиків. ***Козьяков В.С.,*** к.т.н**.,** ***Кофанов О.Є.,*** студент (НТУУ "КПІ"). ……..……...……..441

Моделювання багатопараметрових процесів у навколишньому середовищі для оцінки антропогенного впливу. ***Кофанов О.Є.,*** студент**,** ***Холковський Ю.Р.,*** к.т.н. ……447

Вимірювання параметрів довкілля за допомогою сучасної комп'ютерної техніки. ***Козьяков В.С.,*** к.т.н., ***Ополінський І.О.,*** студент (НТУУ "КПІ"). ……451

Необхідність використання засобів захисту від впливів ультрависоких та надвисоких частот на військових частинах з радіолокаційним устаткуванням. К.т. н. доцент ***В. С. Козьяков,*** Студент магістр***, Ю. С. Нередько,*** Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ ……..453

Утилізація шахтних вод з використанням теплової енергії гірського масиву. *Дядюша Н.О.,* студент***, Сергієнко М.І***., інж. (НТУУ "КПІ"). ……459

Перспективи видобутку звалищного газу з полігонів ТПВ України. *Кулик В.,* студент***, Ремез Н.С.,*** д.т.н. (НТУУ "КПІ"). ……464

Застосування екранів для захисту від дії сейсмовибухових хвиль. *Олійник Ю.,* студент***, Ремез Н.С.,*** д.т.н. (НТУУ "КПІ"). ……467

Вплив утворення вторинних мінералів на екологічний стан полігону твердих побутових відходів. *Колунаєв Є.В.,* інж. (НТУУ "КПІ"). ……470

Технологія та перспективи використання теплових насосів в Україні. *Н.С. Ремез,*д.т.н., професор***, В.В. Бордіян*** студ.(НТУУ «КПИ»). ……...473

Розробка методології побудови «енергетичної ферми» за принципом замкненого циклу. *О.О. Панченко.* ……477

Оцінка якості води річки Серет. *Рудюк Н.А.* ……480

Переробка активного мулу в органічні добрива та кормові добавки для тваринництва *Жукова Н.І.,* ст. викл. *А.Г. Бойко,* студ ……484

Утилізація зброджeного осаду з метою мінімізації площ під мулові поля на Бортницькій станції аерації *Жукова Н.І.,* ст. викл. *Шкуріна А.О.,* студ ……488

Утилізація ртуті *Жукова Н.І.,* ст. викл. Трофимчук О.С., студ……492

Щодо залучення кінцевих споживачів до регулювання графіка навантаження ОРЕ. ***Сухарь А.О.,*** *студентка*, науковий керівник: ***Коцар О.В.,*** *к.т.н., доцент* ……497

Утилизация теплоты и энергоэффективность систем вентиляции. Студент 6 курсу, гр. ОТ-81 Попков А.В., аспірант Суходуб І.О., Проф., д.т.н., Дешко В.І. ……506

Розчеплювачі з електрогідравлічним сповільнювачем *Побігайло В.А.,* к.т.н., доцент; ***Музика Н.Ю.,*** студент……509

РОЗДІЛ А
ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

УДК 621.311.661.51.

Каденський М. Я., Дубовський С.В.

ОГЛЯД ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕГУЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Виконано оцінки необхідних обсягів впровадження інноваційних технологій регулювання навантаження з огляду на аналіз даних щодо тенденцій зростання нерівномірності ГЕН та діапазону змінних навантажень в енергосистемі України. Проведено дослідження сучасного стану впровадження у світі інноваційних технологій регулювання навантаження в енергетичних системах. Визначено в якості найбільш ефективного типу споживача-регулятора – тепловий насос-регулятор встановлений на майданчиках існуючих ТЕЦ для регулювання навантаження в Об'єднаній енергетичній системі України.

Ключові слова: енергетична система, теплові насоси-регулятори, пікові навантаження, ГАЕС, маневрені потужності.

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Выполнены оценки необходимых объемов внедрения инновационных технологий регулирования нагрузки исходя из анализа данных о тенденциях роста неравномерности ГЕН и диапазона переменных нагрузок в энергосистеме Украины. Проведено исследование современного состояния внедрения в мире инновационных технологий регулирования нагрузки в энергетических системах. Определено в качестве наиболее эффективного типа регулятора - тепловой насос - регулятор установленный на площадках существующих ТЭЦ для регулирования нагрузки в Объединенной энергетической системе Украины .

Ключевые слова: энергетические система, тепловые насосы-регуляторы, пиковые нагрузки, ГАЭС, маневренные мощности.

OVERVIEW OF LOAD CONTROL TECHNOLOGIES FOR ENERGY SYSTEMS

The evaluation of the required volume of innovative load regulation technologies with regard to data analysis on the growth trends in load curve of unevenness and the range variable loads in the power system of Ukraine is performed. Completed research of the current state of implementation of innovative technologies of load control in power systems of the world. Identified as the most effective type of consumer regulator - heat pump-regulator mounted on the existing power plant sites for load regulation in the United Power System of Ukraine.

Key words: power system, heat pump-regulators, changeable loads, HPS, peak power.

Збільшення частки невиробничих секторів з нерівномірним графіком споживання електричної енергії та впровадження відновлювальних джерел енергії зумовило природне зростання змінних навантажень в енергосистемі України. Зараз для ОЕС України у зимовий період максимальні значення змінних навантажень складають 70000-8000 МВт, тоді як у 2000р. вони становили 5500 МВт. Також відбулося зростання значень влітку - 5100 МВт у 2012р. проти 3000 МВт у 2000р.

В той же час, ОЕС України характеризується дефіцитом маневрових потужностей

ГЕС та ГАЕС. Наразі вони складають 9% від встановленої потужності при необхідному рівні в 15% , а при оптимальному - 20% [1].

У зв'язку з тим, що ОЕС України входила до складу енергосистеми СРСР, яка не мала адміністративних кордонів, наразі для покриття змінних навантажень використовуються міжсистемні перетоки з енергосистеми РФ (максимальне значення у 2012 – 2000 МВт за даними НЕК Укренерго).

Для вирішення проблеми регулювання навантажень в ОЕС України, окрім ГЕС та ГАЕС, використовується робота крупних енергоблоків ТЕС в режимі підтримки змінних навантажень, яка супроводжується сьогодні частими понадплановими їх зупинками, пов'язана із значними втратами ефективності, надійності і, що не менш важливо, робочого ресурсу. Сумарний регулюючий діапазон ТЕС у межах технологічного мінімуму і максимуму навантажень все частіше виявляється недостатнім для підтримки ГЕН і у таких випадках виникає необхідність глибокого розвантаження певної кількості енергоблоків у години нічного спаду електроспоживання нижче технологічного мінімуму потужності із виведенням їх у роботу на холостому ході, у моторному режимі (режимі синхронного компенсатора) або у гарячий і холодний резерви

На сьогодні, згідно даних НЕК Укренерго, у циклічному режимі використовується, у середньому, 10 енергетичних блоків. Наприклад - за офіційними даними НЕК Укренерго за 02.02.2012, при мінімумі споживання (о 4:00) загальна кількість блоків ТЕС генеруючих компаній, що були в роботі, складала 63, а при максимумі(о 18-00) – 72, а 19.11.12 – відповідно 36 та 53 [2].

При роботі енергоблоків у циклічних режимах з позаплановими зупинками та пусками фактичні економічні втрати вищі у десятки разів за відповідні витрати при роботі у межах технологічного діапазону регулювання [3]. У зв'язку з цим, найважливішим аспектом загалом багатопланової проблеми змінних навантажень є ущільнення ГЕН ОЕС до рівня, що забезпечив би роботу енергетичного обладнання у межах технологічних допусків, а також залучення до регулювання навантажень якомога більшої кількості регулюючих енергоблоків.

Для економічного стимулювання споживачів до вирівнювання графіку електричних навантажень у 2002 році постановою НКРЕ від 06.12.02 №1358 були введені диференційовані за годинами доби тарифи, які мають пільгові коефіцієнти для нічного споживання електричної енергії в період мінімального навантаження енергосистеми. За оцінками фахівців, така регуляторна політика призводить до зростання середнього оптового тарифу та абсолютного розміру фонду компенсації таких витрат, однак не вирішує системно проблему ущільнення графіку електричних навантажень. У зв'язку з цим, для вирішення проблем підтримки змінної частини графіка навантаження енергосистеми поряд з існуючими, необхідно впроваджувати і інші масштабні заходи, у задачу якої входило б вирівнювання ГЕН енергетичної системи, компенсація раптових небалансів генерації і споживання, стохастичних коливань потужності внаслідок роботи ВДЕ [4].

Під час дослідження сучасних трендів розвитку інноваційних технологій управління навантаженням були розглянуті останні міжнародні дослідження у галузі забезпечення роботи енергетичних систем у маневрових режимах.

У великих енергосистемах проблеми покриття змінної частини графіку навантаження вирішують різними способами і часто застосовують для цього декілька способів одразу.

Наразі 99% відсотків технологій накопичення енергії та управління режимами споживання електричної енергії для регулювання небалансів в Європі складають ГАЕС [5]. А наприклад розглянувши структуру маневрених потужностей у США можна побачити що ГАЕС складають 95 % (23,4ГВт) від використовуваних потужностей для регулювання небалансів потужності та частоти [6]. В умовах значної нерівномірності добових графіків

навантаження в об'єднаних енергосистемах саме ГЕС і ГАЕС, що володіють високою маневреністю й більшим регулювальним діапазоном, високими швидкостями зміни навантажень, мінімальним часом набору навантаження, пуску й зупинки агрегатів, виконують найважливіші завдання покриття пікової частини графіка та заповнення провальної частини вночі завдяки роботі у насосному режимі. Аналіз роботи ГАЕС закордоном виявив, що для ущільненя ГЕН енергетичної системи агрегати включаються у роботу в турбінному або насосному режимі до 20–30 разів на добу.

Потреба в гідроакумулюючих електростанціях різко відчувається в Україні, але їх впровадження завжди несе ризик екологічних та техногенних катастроф. Це відзначено, зокрема, у забороні Конгресу США від 15 січня 2014р. для міжнародних фінансових організацій (Світовий Банк, ЕБРР, МВФ) у реалізації проектів створення нових ГЕС та ГАЕС у світі [7].

До інноваційних технологій управління навантаженням, які зараз активно досліджуються і розповсюджуються в світі відносять:

термічні накопичувачі; електрохімічні накопичувачі; накопичувачі на основі стисненого повітря; маховикові механічні накопичувачі енергії.

Повернувшись до структури установленої потужності технологій регулювання навантаження в США, де такі інноваційні технології мають найширше розповсюдження і запроваджена державна підтримка їх дослідження та експериментальної експлуатації, існує таке розподілення [6]:

Термічні накопичувачі – 431МВт.

Батарейні накопичувачі – 304МВт

Накопичувачі на основі стиснення повітря – 423 МВт

Маховикові накопичувачі енергії – 40 МВт.

Більшість термічних технологій характеризуються наявністю баків-акумуляторів, зарядка яких відбувається в години зниження попиту на електричну енергію. В години ж підвищеного попиту вони видають теплову енергію, заміщуючи роботу генеруючого обладнання.

До термічних технологій відносять, також і відключення циркуляційних насосів системи опалення багатоквартирних будинків з теплоізоляцією стін у години пікового споживання, або циклічне використання побутових теплових насосів у системах індивідуального опалення. Технічно досяжний регулювальний діапазон існуючих і працюючих теплових насосів оцінюється в 250МВт в Німеччині при мінімальній температурі навколишнього середовища та за умови централізованої диспетчеризації режимів їх експлуатації [8]. Однак впровадження таких технологій в СЦТ України характеризується недостатньою економічністю і залежністю діапазону регулювання змінної потужності від змін температури зовнішнього середовища.

Іншим розповсюдженим типом інноваційних технологій управління навантаженням є електрохімічні накопичувачі батарейного типу. Більшість з них розроблено з метою балансування режимів роботи ВДЕ. Існують різні типи батарей на основі хімічних з’єднань: NaS, NaNiCl2, Ni-Cd, Li-ion та ін. Наприклад, одинична електрохімічна установка (NaS) управління навантаженням потужністю 34 МВт працює у м. Роккашо, Японія, з 2008 року , де вона використовується для стабілізації роботи ВЕС. Всього в світі на липень 2013 року було встановлено близько 320 МВт електрохімічних накопичувачів такого типу [9] . Використовуються і інші типи електрохімічних батарей, але вони ще не впроваджуються масштабно для управління навантаженням і зараз знаходяться на стадії досліджень і некомерційної експлуатації.

Варто відзначити що саме електрохімічні батареї вважаються фахівцями найбільш

перспективним типом технологій для управління навантаженням в енергетичних системах (особливо насиченими ВДЕ), але зараз вони характеризується надто високими капітальними затратами та технологічною недовершеністю і тому поки не можуть розглядатися як актуальні для впровадження в ОЕС України.

Накопичувачі електроенергії на основі стиснення повітря споживають позапікову електричну енергію, заповнюючи провали ГЕН, використовуючи її для приводу компресорів, які стискають повітря і закачують його в підземні резервуари. В години підвищеного попиту на електричну енергію стиснене повітря використовується в газовій турбіні для генерації електричної енергії. Існують варіанти з підземним та надземним акумуляторами стисненого повітря, що відрізняються своєю капіталоємністю, потужністю, потенціальною тривалістю зарядження-розрядження та технологічною довершеністю. З відкритих джерел відомо про комерційну експлуатацію таких технологій у сучасних енергетичних системах у Німеччині у м. Хунторф, де працює установка потужністю 28 МВт з 4-х годинним циклом зарядження – розрядження та у США у штаті Алабама [9].

Електроенергетичний комплекс України є по-суті, двохпродуктовою системою, що поряд з виробленням електричної енергії здійснює у великих обсягах централізоване постачання теплової енергії. У зв'язку з цим, в умовах ОЕС України згадані споживачі-регулятори доцільно виконувати на базі установок електротеплового перетворення із включенням їх у існуючі системи теплопостачання від електричних станцій і котельних.

Найбільш ефективним типом споживачів-регуляторів є на сьогодні теплові насоси змінної потужності, у подальшому – теплові насоси –регулятори (ТНР). Включення ТНР у схеми електричних станцій, котельних і інших об'єктів електроенергетичної системи, що здійснюють зовнішній відпуск теплової енергії, забезпечує наступні переваги.

1. Регулювання електричних навантажень шляхом зміни споживаної електричної потужності ТНР супроводжується відповідними змінами обсягів або тимчасовим припиненням відпуску теплової енергії. Вони можуть бути компенсовані шляхом відповідної зміни теплової потужності існуючих теплоджерел, що дозволить підтримувати незмінними вихідні графіки відпуску теплової енергії.

2. Встановлення ТНР у межах існуючого обладнання електричних станцій, котельних та ін. дозволить ефективно використовувати для генерації теплової енергії теплові втрати існуючого обладнання (техногенні викиди), в якості джерела теплоти низького потенціалу (ДТНП), потенціал яких зростає під час опалювального сезону. Це, у свою чергу, сприяє зростанню теплопродуктивності і ефективності роботи ТНР саме у період осіннього – зимового максимуму електричних навантажень, коли відчувається найбільша потреба у зниженні нерівномірності ГЕН ОЕС

3. Генерація теплової енергії ТНР призводить до відповідного зниження обсягів її виробництва існуючим обладнанням із відповідним зниженням обсягів споживання природного газу та мазуту, що є дуже важливим саме по собі з точки зору економії природного газу та зниження шкідливих викидів з продуктами його згоряння.

4. Інтеграція ТНР у існуючі об'єкти теплопостачання не потребує створення додаткової інфраструктури електроживлення (у разі котельних може знадобиться певне укріплення електромережі), магістральних і розподільних теплопроводів, резервних та аварійних джерел теплової енергії, теплових акумуляторів великої ємкості, які б були необхідні у разі створення самостійно працюючих електротеплових регулюючих станцій накопичувального типу.

5. Оскільки практично всі потужні об'єкти електроенергетичної системи включені або підлягають включенню до галузевих систем технологічного зв'язку і управління, створення системи моніторингу і управління ТНР, сполучених із ними, не явить технічних складнощів і

обійдеться мінімальними коштами.

Згідно одержаних в [4] оцінок, сумарний технічно досяжний потенціал регулюючої потужності систем ТЕЦ з ТНР в об'єднаній енергетичній системі України у зимові місяці року складає орієнтовно до 3000МВт.

Оцінка необхідних напрямів та обсягів впровадження теплових-насосів регуляторів є надзвичайно актуальною задачею. У фінальній версії Енергетичної стратегії України до 2030 року зазначено, що для регулювання змінних навантажень на особливу увагу заслуговують саме проекти впровадження теплових насосів-регуляторів, призначених для регулювання небалансів електроенергетичної системи із повноцінним виконанням функцій економічного і екологічно чистого джерела теплової енергії, що утилізує теплові втрати енергетичного обладнання або теплову енергію довкілля [10]. Однак повномасштабне впровадження таких систем потребує вивчення питань їх організації та функціонування у складі електроенергетичної системи та систем централізованого теплопостачання в якості системних регуляторів ГЕН.

Актуальною задачею таких досліджень є , зокрема, розробка оптимальних схем та режимів використання ТНР у складі ТЕЦ, висвітлення технічних, економічних та екологічних аспектів їх використання у складі ОЕС України. Для вирішення таких задач передбачається розроблення комплексу імітаційних та оптимізаційних моделей сумісної роботи ТНР у складі ОЕС України і СЦТ та визначення оптимальних параметрів їх функціонування.

Висновки

1. ОЕС України характеризується дефіцитом маневрених потужностей, що негативно впливає на покриття графіку електричних навантажень, в якому частина змінних навантажень зростає щороку, відповідно до змін в економіці України та підвищення споживання електричної енергії населенням.
2. Для покриття змінних навантажень використовуються пиловугільні енергоблоки ТЕС, що не спроектовані для роботи у циклічному режимі, що призводить до перевитрат палива, погіршення показників стійкості та надійності, збільшення викидів шкідливих речовин.
3. У великих енергетичних системах світу задачу регулювання змінних навантажень вирішують по-різному, але найбільш розповсюдженою є технологія ГАЕС, яка в майбутньому доповниться електрохімічними батарейними технологіями, термічними технологіями та акумулюючи ми еле4ктростанціями на основі стиснення повітря, розробка яких активно відбувається у світі.
4. В Україні регулювальний діапазон ГЕС та ГАЕС є недостатнім та спорудження нових гідроелектростанцій є небезпечним з точки зору екологічних та техногенних катастроф, тому для покриття пікової та напівпікової частини графіку автором пропонується інтеграція спеціалізованої системи споживачів регуляторів на основі теплових насосів у СЦТ, що дозволить скеровано балансувати споживання і генерацію електричної і теплової енергії в енергетичній системі України.
5. Впровадження таких теплових насосів-регуляторів на об'єктах теплової генерації дозволить в якості переваг використати існуючі інфраструктурні лінії зв'язку та електроживлення, наявні техногенні викиди в якості джерела теплоти низького потенціалу, та здатність до заміщення використання природного газу на потреби теплопостачання завдяки використанню екологічно чистої технології генерації теплової енергії.
6. Оцінка оптимальних напрямів та обсягів впровадження таких систем

потребують додаткових досліджень.

Література:

1. Мацевитый Ю.М., Стогний Б.С., Шидловский А.К. Научно-техническое обеспечение долгосрочных планов развития енергетики Украины//Енергетика та електрифікація – 2013. – №1, – с.16 – 23
2. І. А. Вольчин, Н. І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич та ін. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України – К.:ГНОЗІС, 2013. – 308.с.
3. Lefton Steve, Grimsrud Paul and Besuner Phil. Cycling fossil-fired units proves costly business. – Electric light and power. – July 1997.
4. Підвищення маневрених можливостей енергетичної системи шляхом впровадження теплових насосів – регуляторів у складі ТЕЦ/
С.В. Дубовський, А.П. Левчук,М.Я. Каденський//Проблеми загальної енергетики. – 2013. – Вип. 4(35). – с.16 – 23.
5. EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY DG ENER. The future role and challenges of Energy Storage. Working Paper.
6. Grid energy storage. U.S. Department of Energy. December 2013.
7. Узбекистан обрадован законом США о запрете строительства крупных ГЭС. Режим доступу до документа ¬– http://www.rusenergy.com/ru/news/news.php?id=72504
8. Ingo Stadler, Stratis Tapanlis (SMA). Power Grid Balancing Of Energy Systems With High Renewable Energy Penetration By Demand Response. RIO 9 - World Climate & Energy Event, 17-19 March 2009, Rio de Janeiro, Brazil
9. Abbas A. Akhil, Georgianne Huff, Aileen B. Currier, Benjamin C. Kaun. Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. DOE/EPRI 2013. Unlimited Release. July 2013
10. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.

УДК 622.23.05

Захарова І. В., Шевчук С.П.

ІМПУЛЬСНО-ВІБРАЦІЙНЕ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Розглянуто імпульсно-вібраційний спосіб руйнування гірських порід з міцністю f >8 за шкалою проф. М.М. Протодьяконова, на основі взаємодії обертального буріння, імпульсів в діапазоні частот 3...5 Гц, та вібраційного навантаження електрострикційним методом з частотою 100…250 Гц, яка сприяє зниженню питомої енергоємності руйнування за рахунок зменешення зносу бурового інструменту. Для обґрунтування доцільності застосування способу наведено механізм утворення ядра ущільнення при статичних та динамічних навантаженнях, представлені розрахунки питомої енергоємності для процесу різання вугілля та гірської породи.

Ключові слова: електрострикційний вібратор, обертальне буріння, імпульсне навантаження, буріння шпурів.

ИМПУЛЬСНО-ВИБРАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрен импульсно-вибрационный способ разрушения горных пород крепостью f >8 по шкале проф. М.М. Протодьяконова на основании взаимодействия вращательно бурения, импульсов в диапазоне часто 3…5 Гц, и вибрационной нагрузки электрострикционным методом с частотой 100…250Гц, которое способствует снижению удельной энергоемкости разрушения за счет снижения износа бурового инструмента. Для обоснования целесообразности применения способа рассмотрен механизм образования ядра уплотнения при статическом и динамическом нагружении, представлены расчеты удельной энергоемкости процесса резания углей и горной породы.

Ключевые слова: электрострикционный вибратор, вращательно бурение, импульсная нагрузка, бурение шпуров.

PULSED-VIBRATION ROCK DESTRUCTION

Protodiakonov's scale, which is based on the interaction of rotary boring, impulses in the frequency range of 3-5 Hertz and vibrational load by using electrostrictional method with frequency between 100-250 Hertz, that leads to "cutter- core compaction" modify and reduction of energy intensity of destruction due to decrease of cutters' detrition. To ground the appropriateness of using the method, the mechanism of core compaction formation under static and dynamic load has been considered, the calculation of energy intensity for the process of cutting coal and rock has been conducted. The reduction of energy intensity of destruction is achieved by the reduction of cutters blunting due to periodical removal of axial load. At the moment removement of axial load, the shape of core compaction changes and the tool is chilled by drilling liquid.

Key words: electrostrictional vibrator, rotary boring, pulsed load, gadding.

Вступ. Найбільш поширеним способом відділення від масиву порід середньої міцності і міцних на сучасному рівні гірничопрохідницької техніки є буропідривний спосіб. Проте, якщо застосування вибухових речовин, які вводяться усередину масиву породи, дозволяє в долі секунди відокремлювати значні обсяги гірської породи, то буріння шпурів, необхідних для розміщення в масиві зарядів вибухових речовин, є однією з найбільш

трудомістких операцій при проведенні підготовчих виробок, що складає 25–40 % загальних трудовитрат на всі роботи виробничого циклу і 55–60 % вартості всіх прохідницьких робіт при буропідривному способі проведення виробок.

На сьогодні встановлені наступні області застосування різноманітних способів механічного буріння шпурів діаметром 32-52 мм: обертальне буріння доцільно застосовувати при неабразивних породах з f<8; обертально-ударне буріння рекомендується в породах з *f*= 8–16; ударно-обертальне буріння рекомендується в породах з *f* = 8–20; ударне-поворотне буріння найбільше ефективне на абразивних породах із *f*>16.

Мета. Метою є обґрунтування запропонованого способу імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід, який дозволяє значно знизити питому енергоємність процесу руйнування гірських порід підвищеної міцності, а також оцінка впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на питому енергоємність процесу руйнування.

Матеріали і результати досліджень. Дослідженнями процесу руйнування гірських порід встановлено, що в результаті дії інструменту 1 на масив під інструментом утворюється ядро ущільнення 2, за яким формується зона передруйнування 3 (рис.1). Порода в ядрі ущільнення перебуває у стані всебічного стиснення та передає навантаження на частину породи, що оточує ядро. У роботі [1] експериментально встановлено, що стиснене у напрямку осі *OX* ядро ущільнення 2 розширюється у напрямку осей *OY* та *OZ*, що і призводить до появи розтягуючих напружень поблизу ядра. І якщо ядро – об'єм подрібненої породи до стану пилу, то зона передруйнування 3 може бути визначена лише утворенням нових тріщин або розширення існуючих до критичної ширини, при цьому руйнування породи ще не відбувається.

Розглянемо випадок статичного навантаження породи (рис. 1,а). Різець, забурючись в масив під дією статичного навантаження, формує ядро ущільнення заокругленої форми перед передньою гранню і тисне на зону передруйнування. Ядро такого виду спотворює форму ріжучої частини системи "різець-ядро ущільнення", що фактично відповідає процесу різання «затупленим» різцем. Відокремлення частки породи відбувається по лінії руйнування 4.

При динамічному навантаженні формується ядро ущільнення 2 клиноподібної форми (рис. 1,б) [2]. В цьому випадку форма ріжучої частини системи "різець-ядро ущільнення" фактично відповідає процесу різання «гострим» різцем.

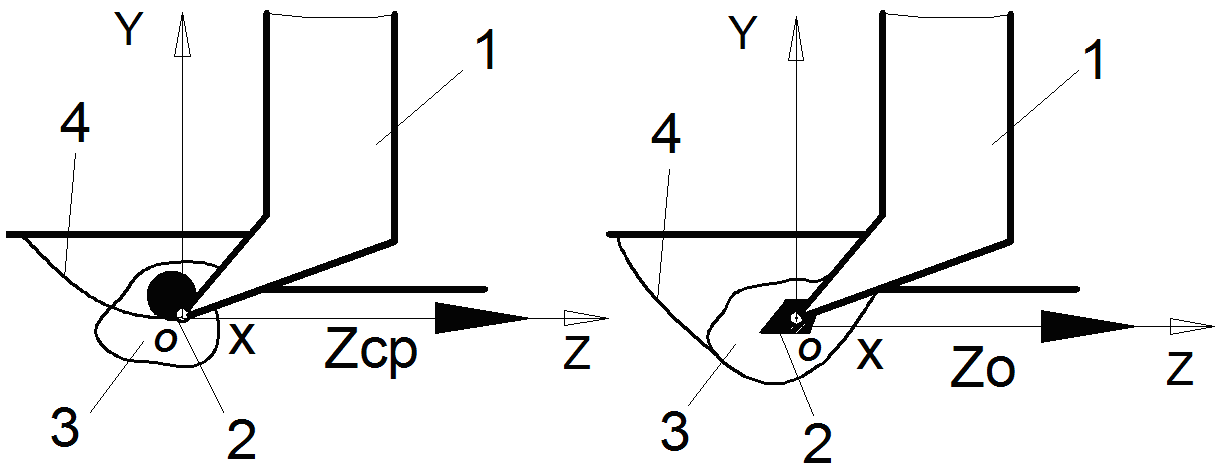


Рисунок 1. – Схема різання масиву при статичному (а) та динамічному (б)

навантаженні.

Для оцінки впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на процес різання проведено порівняльний аналіз сил опору для різання затупленим і гострим різцем.

Середнє значення сил різання на затупленому та гострому різці визначається за методикою [3] у відповідності до ОСТ 12.47.001-73 “Комбайни очисні. Вибір параметрів і розрахунок сил різання і подачі на виконавчих органах. Методика”.

Для вугілля

$$Z_{\text{ср}} = Z_0 + f' \cdot \left(Y_{\text{ср}} - Y_0\right), \tag{1}$$

де $Z_{\text{ср}}$ - середня сила різання на затупленому різці, кН; Z_0 – середня сила різання на гострому різці, кН; f' - коефіцієнт опору різанню, який дорівнює відношенню суми сил тертя на всіх площадках затуплення різця до сили подачі; f'=0,38...0,44; $(Y_{\text{ср}} - Y_0)$ – приріст сили подачі при затупленні різця, кН.

Середня сила різання на гострому різці

$$Z_0 = \frac{\overline{A_{\text{р}}} \cdot \left(0{,}35 b_{\text{ср}} + 0{,}003\right) \cdot h_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ср}} \cdot K_z \cdot K_{\text{у}} \cdot K_f \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{от}}}{\left(b_{\text{ср}} + h_{\text{ср}} \cdot tg\psi\right) \cdot K_{\psi} \cdot \cos\beta}, \tag{2}$$

де $\overline{A}_{\text{р}}$ – середній опір пласта різанню в невідтиснутій зоні, $\overline{A}_{\text{р}} = 150 \cdot f$, де f – коефіцієнт відносної міцності за шкалою проф. Протод’яконова, кН/м; $b_{\text{ср}}$ – розрахункова ширина робочої частини різця, м; $\text{tg}\psi = \dfrac{\left(0{,}45 \cdot h_{\text{ср}} + 0{,}023\right)}{h_{\text{ср}}}$, ψ – кут бокового розвалу борозни різу; $h_{\text{ср}}$ – середня глибина різання (товщина стружки), м; $t_{\text{ср}}$ – середній крок різання $t_{\text{ср}} = b_{\text{ср}} + h_{\text{ср}}$, м; K_{ψ} – коефіцієнт, який враховує крихкопластичні властивості вугілля, для в’язкого вугілля K_{ψ}=0,85, для крихкого K_{ψ}=1,0, для дуже крихкого K_{ψ}=1,15; β – кут установки різця відносно напрямку переміщення виконавчого органу, β=45º; K_z – коефіцієнт відкритості вибою, $K_z = \dfrac{0{,}3+0{,}002}{h_{ср}}$; $K_{\text{у}}$ – коефіцієнт, який враховує вплив кута різання α; K_f – коефіцієнт форми передньої грані різця, для різців з плоскою передньою гранню, K_f=0,9; $K_{\text{с}}$ – коефіцієнт, який враховує схему різання – для послідовної схеми $K_{\text{с}}$=1; $K_{\text{от}}$ – коефіцієнт, який враховує вплив відтискування вугілля в зоні роботи виконавчого органу, $K_{\text{от}}$ = 0,5.

Сила подачі на затупленому різці

$$Y_{\text{ср}} = Y_0 + \sigma_{\text{ст}} \cdot S_{\text{з}} \cdot K_{\text{об}}, \tag{3}$$

де Y_0 – сила подачі на практично гострому різці, кН; $\sigma_{\text{ст}}$ – тимчасовий опір вугілля одноосному стисненню, МПа; $S_{\text{з}}$ – проекція площадки затуплення різця на площину різання; $K_{\text{об}}$ – коефіцієнт об’ємно-напруженого стану масиву.

Середня сила подачі на гострому різці

$$Y_0 = K_{\text{р}} \cdot Z_0. \tag{4}$$

де коефіцієнт $K_{\text{р}}$ характеризує відношення сили подачі до сили різання на гострому різці. Він приймається для в’язкого вугілля 0,7, для крихкого 0,6, для дуже крихкого 0,5.

Для гірських порід сила різання визначається з урахуванням контактної міцності [3], що характерно також для визначення сили опору при ударних навантаженнях гірських порід у відповідності до теорії ударно-контактного руйнування.

Для гострого різця:

$$Z_0 = p_к \cdot k_{\alpha n}\left(0{,}92 + 0{,}01 b_р\right)\cdot\left(0{,}25 + 0{,}018 \cdot t \cdot h\right), \quad (5)$$

$$Y_0 = Z_0, \quad (6)$$

де Z_0, Y_0 – сили різання і подачі на гострому різці, Н; $p_к$ – контактна міцність породи, $p_к = 44 \cdot f^{1,5}$, МПа; $b_р$ – ширина різця; t – крок різання, мм; h – товщина стружки, мм; $k_р = k_{\alpha n}\left(0{,}92 + 0{,}01 b_p\right)$ – інтегральний коефіцієнт, що враховує геометрію різця.

Для затупленого різця:

$$Z = Z_0 + 0{,}25 \mu_р p_к S_{зат}, \quad (7)$$

$$Y = Y_0 + 0{,}25 p_к S_{зат}, \quad (8)$$

Питома енергоємність процесу різання, МДж/м^3

$$H_w = \frac{Z}{t \cdot h}. \quad (9)$$

Відносна зміна енергоємності

$$\Delta H_w = \frac{H_{wср} - H_{w0}}{H_{w0}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Результати розрахунків, у відповідності до параметрів різця: для вугілля – $\overline{A}_р$ =210 кН/м; K_ψ=1,0; K_c=1; K_f=0,9; K_z=14,1; K_y=0,9; $K_{от}$=0,5; и $K_{об}$=1,558; $tg\psi$=1,525; β=45º; $\sigma_{ст}$=141 МПа; $b_{ср}$=0,022 м; $h_{ср}$=0,021 м; $t_{ср}$=0,043 м; $S_з = 15 \cdot 10^{-6}$ м^2 (для різання по вугіллю); для породи – h=20 мм; $t_{ср}$=30 мм; $S_{зат}$=40 мм^2; для різців ШБМ-2 $k_р$=1; $\mu_р$=0,4.

Таблиця 1.

	Середня сила різання на гострому різці, кН	Середня сила подачі на гострому різці, кН	Питома енерго-ємність при різанні гострим різцем, Дж/м^3	Середня сила різання на затупленому різці, кН	Середня сила подачі на затупле-ному різці, кН	Питома енерго-ємність при різанні затупленим різцем, МДж/м^3	Відносна зміна енерго-ємності, %
Вугілля (f=1,4)	0,309	0,185	0,332	0,31	0,189	0,334	0,6
Піщаник (f=10)	16,91	16,91	28,18	22,48	30,83	37,46	32,9

Очевидно, що збільшення розмірів ядра ущільнення відповідає збільшенню зони затуплення різця, і сили різання та подачі будуть зростати. Відповідно буде зростати питома енергоємність процесу руйнування породи. Зношування різців головним чином пов’язане з силами тертя, що виникають між різцем та породою. Зниження питомої енергоємності руйнування досягається зниженням затуплення різців за рахунок періодичного зняття осьового навантаження, наприклад, введенням в процес різання високочастотного вібраційного навантаження. В момент зняття осьового навантаження відбувається два важливих процеси: зміна форми ядра ущільнення, яке, змінюючи геометрію системи "різець–ядро ущільнення" і, збільшуючи сили тертя, збільшує питомі енерговитрати

процесу різання, та охолодження інструменту буровим розчином. Такий процес характерний для імпульсно-вібраційного навантаження робочого інструмента гірничої машини. Так імпульсно-вібраційна дія при обертальному бурінні ефективна при нарізанні спіралевидними шарами гірської породи за рахунок надання буровому інструменту постійного осьового зусилля, крутного моменту, імпульсів в діапазоні частот 3...5 Гц та вібраційного навантаження електрострикційним методом з частотою 100…250 Гц. Завдяки постійній вібрації в процесі різання значно знижується тертя леза інструмента об породу і, як наслідок, зношування інструменту.

Основними показниками процесу руйнування гірських порід є технологічні параметри, які в процесі руйнування мають змінні статистичні характеристики. Тому процес руйнування слід віднести до неергодичного, оскільки статистичні числові параметри та характеристики є не стаціонарними. Причому, сам процес імпульсно-вібраційного руйнування носить комплексний характер з поєднанням поверхневого і об'ємного процесу руйнування.

Для синтезу параметрів процесу імпульсно-вібраційного руйнування проведено дослідження механізму руйнування породи при обертальному бурінні гірських порід на експериментальному устаткуванні Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України. Експериментальним методом досліджень згідно поставлених задач обрано метод Гауса-Зайделя. Основний об'єм планування експериментів виконувався за допомогою системи прогнозування, виміру й керування Keithley 575 фірми "Keithley Instruments, Inc." (США), підключеної до ПЕОМ за допомогою відповідного інтерфейсу. Обробка результатів проводилась за допомогою комп'ютерної програми Easyest LX фірми "Asyst Software Technologies, 1пс."(США).

Експериментально встановлено, що значну роль у процесі руйнування породи при обертальному бурінні грає зона передруйнування. Незважаючи на те, що на її утворення в процесі руйнування породи витрачається всього 20-30 % підведеної до вибою енергії, наявність зони передруйнування обумовлює значне зниження опору породи руйнуванню й відповідно енергоємність руйнування. Визначено значний вплив на формування зони передруйнування системи "різець-ядро ущільнення" та імпульсного навантаження на різцеву частину інструменту.

Запропонована конструкція основних елементів пристрою та спосіб реалізації імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід рекомендуються до впровадження в паливно-енергетичному комплексі України.

Висновки. Проведено оцінювання впливу форми системи "різець-ядро ущільнення" на процес руйнування вугілля та гірської породи – міцного піщанику. Визначено відповідні значення сил різання та питомих енергоємностей. Встановлено, що на питому енергоємність має значний вплив форма системи "різець-ядро ущільнення". При збільшенні міцності породи зростає відносна зміна енергоємності процесу різання гострим різцем та затупленим, яка досягає для різання по породі 32%. Результати розрахунків підтверджують доцільність застосування способу імпульсно-вібраційного руйнування гірських порід.

Література:

1. Протасов Ю.И. Теоретические основы механического разрушения горных пород - М. : Недра, 1985. - 243 с.
2. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Учебник для вузов. - М.: Недра, 1982.-350 с.
3. Малевич Н.А. Горно-проходческие машины и комплексы.Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980.- 384 с.

УДК 504.064

КУДРЯВСЬКА Т.Б., ДИЧКО А.О.

АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ НА ПРИКЛАДІ М.КИЇВ

В роботі розглянуто недосконаліть сучасних нормативів гранично допустимих концентрацій. Запропоновано метод оцінки впливу техногенного забруднення на довкілля. На прикладі м. Київ перевірено адекватність застосування даного методу.

Ключові слова: гранично допустима концентрація, екологічно допустима концентрація, урбоекосистема, абортивність, біоіндикатор.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ПРИМЕРЕ Г. КИЕВ

В работе рассмотрено несовершенство современных нормативов предельно допустимых концентраций. Предложен метод оценки влияния техногенного загрязнения на окружающую среду. На примере г. Киев проверена адекватность применения данного метода.

Ключевые слова: предельно допустимая концентрация, экологически допустимая концентрация, урбоекосистема, абортивность, биоиндикатор.

APPROBATION METHOD OF ASSESSING THE IMPACT OF TECHNOGENIC OBJECTS ON THE ENVIRONMENT FOR EXAMPLE, KIEV

The paper discusses the shortcomings of modern standard maximum admissible concentration. A method of assessing the impact of technogenic pollution on the environment are presented. The adequacy of this method was verified on the example of Kyiv.

Key words: maximum admissible concentration, environmentally, admissible concentration, urboecosystem, abortiveness, bioindicator.

Вступ. Більшість великих міст України є осередками екологічних проблем, які в основному пов’язані з забрудненням атмосферного повітря. На сьогоднішній день основним критерієм оцінки якості довкілля є гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин. Проте роботи таких вчених як М.Г.Булгаков, В.Н. Максимов, А.П. Левіча показали, що норми ГДК недостатні і в більшості випадках завищені, а забруднюючі речовини, що знаходяться в довкіллі в низьких концентраціях не відстежуються, хоча в певних комбінаціях, викликають набагато більші порушення, ніж полютанти, що перевищують значення ГДК.

У зв’язку з цим актуальності набувають роботи спрямовані на розробку нових методів та критеріїв оцінки впливу техногенного забруднення на довкілля,. що об’єктивно відображають рівень ушкодженості урбоекосистеми в цілому. Альтернативними до традиційних методів пропонується застосовувати методи біоіндикації, які дозволяють визначити сумарну дію всіх забруднень, є достовірними і достатніми для адекватної оцінки

стану довкілля.

Мета. Саме тому метою дослідження є апробація розробленого методу оцінки впливу техногенних об’єктів на довкілля за показниками екологічно допустимих концентрацій (Метод ЕДК).

Завдання. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1) виконати оцінку впливу полютантів на довкілля, шляхом визначення абіотичних факторів, які впливають на рівень абортивності пилку ;

2) перевірити можливість використання розробленого методу на прикладі урбоекосистеми м. Київ.

Результати дослідження. Серед методів біоіндикації було обрано цитогенетичні, оскільки вони вирізняються високою чутливістю. Експерименти з визначення рівня абортивності біоіндикатора проводились за тестом "Стерильність пилку рослин фітоіндикаторів" у м. Київ. В якості індикатора було обрано Taraxacum officinalis Webb. (Кульбабу лікарську), тому що вона є поширеною у містах, невибагливою придорожньою рослиною і відповідає всім вимогам, поставленим до рослини-індикатора [1].

Серед абіотичних факторів були обрані основні забруднюючі речовини атмосферного повітря території дослідження (оксид карбону (II), сполуки нітрогену, леткі органічні сполуки, амоніак, пил), тому що близько 90 % від загальної кількості викидів в атмосферне повітря міста припадає саме на них.

Після проведення експерименту для перевірки достовірності отриманих результатів було застосовано традиційні методи математичної статистики, за допомогою яких було виконано статистичну обробку його результатів. В тому числі був розрахований показник точності досліду, який визначає ступінь надійності одержаних даних. Точність вважається достатньою, якщо P менший від 3 %, і задовільною при P від 3 % до 5 % [2]. В даному випадку показник точності дорівнює 3,3%, що доводить можливість використання отриманих результатів.

Також була отримана залежність показника стерильності пилку рослини-біоіндикатора від величини концентрації забруднюючої речовини у повітрі, яка носить параболічний характер і описується поліномом третього порядку та дозволяє визначити забруднюючі домішки, що впливають на зміну репродуктивних характеристик [3].

На основі встановленої залежності та коефіцієнтів кореляції було визначено, що серед основних забруднюючих речовин м. Києва оксид карбону (II), оксид нітрогену (IV), фенол, формальдегід, амоніак впливають на рівень стерильності пилку, а від оксиду сірки (IV), завислих речовин, фтористого та хлористого водню даний показник не залежить.

Розроблений Метод ЕДК передбачає спільний аналіз усього комплексу абіотичних змінних, які вимірюються службами моніторингу, для вибору серед них найнебезпечніших для біоти з одночасним обчисленням меж нормального функціонування урбоекосистеми.

За допомогою Методу ЕДК була виконана оцінка ступеня екологічного неблагополуччя урбоекосистеми по шкалі "норма - патологія" за індикаторними характеристиками.

Для кожного з наборів оцінок екологічного стану і відповідної забруднюючої речовини визначали ЕДК, розраховували точність і повноту - критерії значимості цих концентрацій. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри залежності стану біоіндикатора від концентрацій забруднюючих речовин

Змінна	$C_{з.р.min}$ (мг/м^3)	ЕДК	$C_{з.р.max}$ (мг/м^3)	Точність, %	Повнота,%
Пил	0,1	0,14	0,2	0,69	0,37
Двоокис сірки	0,004	0,009	0,01	0,63	0,25
Окис вуглецю	0	0,6	1,8	0,82	0,55
Двоокис азоту	0,02	0,12	0,18	0,87	0,82
Фенол	0,0002	0,0008	0,001	0,87	0,7
Формальдегід	0,007	0,01	0,01	0,89	0,24
Аміак	0	0,006	0,009	0,94	0,51
Хлористий водень	0	0,005	0,007	0,67	0,09
Фтористий водень	0,002	0,003	0,004	0,63	0,76

Результат розрахунків показав, що всі абіотичні фактори є умовно значимими, тобто такими, для яких ЕДК знаходяться в межах найменшого та найбільшого значень даного фактору за досліджуваний період (незалежно від величини критерію повноти).

Однак не всі умовно значимі фактори можуть бути визнані значимими факторами, які викликають неблагополуччя біоти. Для ідентифікації таких причин необхідно було провести подальший аналіз, який дозволяє виділити з умовно значимих факторів значимі і використовувати їх ЕДК для екологічного нормування. Для цього в якості значимих, з усього списку факторів для кожної оцінки стану довкілля відбиралися ті, які дають найбільший внесок в неблагополуччя екосистеми. З огляду на результати нашого дослідження значимими факторами є наступні забруднюючі речовини: оксид карбону (II), оксид нітрогену (IV), фенол, формальдегід, амоніак.

Висновки:

1. Визначено, що показник абортивності пилку залежить від таких полютантів як оксид карбону (II), оксид нітрогену (IV), фенол, формальдегід, амоніак.
2. При застосуванні Методу ЕДК значимими факторами є ті самі полютанти, що і визначені за допомогою встановленої залежності та коефіцієнтів кореляції. А умовно значимі фактори відповідають тим забруднюючим речовинам, які мають незначний зв'язок з показником абортивності біоіндикатора, що дозволяє використовувати розроблений метод оцінки впливу техногенного забруднення на довкілля за показниками екологічно допустимих концентрацій на практиці.

Література:

1. Бертиз, С. Влияние загрязнений воздуха на растительность [Текст]: пер. с англ. – М.: Наука, 1989. – 258 с.
2. Лакин, Г. Ф. Биометрия [Текст] : учеб. Пособие / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
3. Кудрявська Т. Б. Обґрунтування використання показника абортивності біоіндикатора для оцінки техногенного навантаження[Текст] / Т. Б. Кудрявська // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 23. – С. 89-95.

УДК 62-83-52.003(082)

Закладний О.М., Броницький В.О., Закладний О.О, Могилат Д.Ю.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ ЕМС З ВЕНТИЛЬНИМИ ДВИГУНАМИ

У статті наведено спосіб керування вентильним двигуном, який забезпечує енергоефективну роботу привода у разі зміни навантаження і частоти обертання. Для досягнення високої якості регулювання вентильного двигуна в динамічних режимах запропоновано трирівневий ПІ регулятор з fuzzy logic. Виконано дослідження привода з використанням програмного забезпечення Simulink. Отримано результати для змінного моменту навантаження.

Ключові слова: вентильний двигун, енергоефективність, ПІ регулятор, fuzzy logic.

Закладной А.Н., Броницкий В.О., Закладной О.А, Могилат Д.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ЭМС С ВЕНТИЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

В статье предлагается способ управления вентильным двигателем, обеспечивающий энергоэффективную работу привода в случае изменения нагрузки и частоты вращения. Для достижения высокого качества регулирования вентильного двигателя в динамических режимах предложен трёхуровневый ПИ регулятор с fuzzy logic. Выполнены исследования привода с использованием программного обеспечения Simulink. Получены результаты для переменного момента нагрузки.

Ключевые слова: вентильный двигатель, энергоэффективность, ПИ регулятор, fuzzy logic.

Zakladnyi O, Bronitsky V, Zakladnyi O.O., Mogilat D.

INCREASED QUALITY REGULATION IN DYNAMIC MODE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH VALVE ENGINES

The article presents a way to control brushless motor which provides drive energy efficient operation when changing load and speed. To achieve high quality regulation valve engine in dynamic mode proposed three-level PI controller with fuzzy logic. The research drive using software Simulink. The results for the variable moment load.

Keywords: valve engine efficiency, PI controller, fuzzy logic.

Вступ. Удосконалення регульованого електропривода сприяє технічному прогресу в провідних галузях промисловості. Механічні і комутаційні обмеження машин постійного струму, а також технологічні вимоги та необхідність підвищення експлуатаційної надійності виробничих установок і механізмів спричинили інтенсивний розвиток регульованого привода змінного струму із синхронними двигунами з постійними магнітами (СД), що на сьогодні є найбільш перспективним. Вентильний двигун (ВД) з перетворювачем на повністю керованих елементах (IGBT, IGCT) отримав значне поширення завдяки високим значенням рівня енергоефективності, відмінним регулювальним властивостям, надійності і низьким експлуатаційним витратам. Замість колектора і щіток ВД містить перетворювач і датчик положення ротора (ДПР).

Для керування ВД використовується 3-фазний мостовий інвертор. Для регулювання

швидкості застосовується широтно-імпульсна модуляція з частотою, яка більш ніж у 10 разів перевищує максимальну частоту обертання двигуна. Смуга пропускання інвертора, керованого за положенням ротора СД, регулюється зміною кута випередження β_0 або β (кути між струмом і, відповідно, – електрорушійною силою холостого ходу та напругою двигуна). Існують такі способи керування комутатором ВД.

Перший, найпростіший спосіб керування, полягає в підтриманні сталого значення кута випередження $\beta_0 = \text{const}$, де $\beta_0 = \beta + \theta$; θ – кут навантаження СД; $\beta = \gamma + \delta$; γ – кут комутації; δ – кут запасу (враховує похибку системи керування і тривалість відновлення запираючих властивостей електронних ключів комутатора). Для реалізації способу застосовується датчик положення ротора (ДПР), статор якого зсувається на необхідний кут випередження 40-60 ел. град. у напрямку проти обертання ротора. Величина кута залишається сталою у всіх режимах роботи двигуна і визначається максимальним значенням струму.

Для другого способу керування підтримується сталим кут випередження $\beta = \text{const}$. Як джерело напруги синхронізації використовується датчик напруги статора, а для задання кута випередження – система керування зі змінною частотою розгортки.

Третій спосіб керування полягає в підтриманні сталої величини кута запасу на мінімальному рівні $\beta = \beta_{min} = f(\gamma)$ при $\delta = \delta_{min} = \text{const}$. Цей спосіб керування вимагає наявності датчиків кутів комутації і навантаження, а також системи керування, синхронізованої за допомогою ДПР або напруги статора.

За першим і другим способами керування кут випередження лишається сталим у всіх режимах роботи привода й розраховується відповідно до максимальної величини навантаження.

Метою роботи є підвищення рівня енергоефективності ЕМС з вентильним двигуном та якості його регулювання в динамічних режимах шляхом застосування способу керування $\beta = \beta_{min} = f(\gamma)$ з трирівневим ПІ регулятором з fuzzy logic.

Гармонійний аналіз струмів і напруги вентильного двигуна

Для найбільш достовірної оцінки гармонійного складу електричних величин використовуються електронні гармонійні аналізатори, на вхід яких подаються реальні параметри. Проте з метою виявлення загальних закономірностей проведемо аналітичне дослідження вихідних параметрів перетворювача з урахуванням реальних форм кривих струмів і напруги.

Для визначення гармонійного складу струму статора розкладемо його криву (рис.1) в ряд Фур'є, розміщуючи початок координат в середині ділянки $60°-\gamma$.

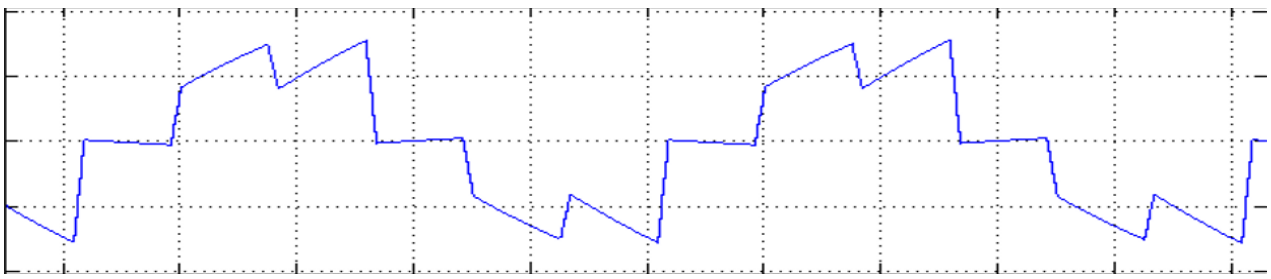


Рисунок 1 – Крива струму

Оскільки крива симетрична як відносно осі абсцис, так і відносно початку координат,

ряд не містить постійної складової, парних гармонік і косинусоїдальних складових. Знаходимо коефіцієнт Фур'є для синусоїдального ряду.Спрощено його можна представити так (рис. 2):

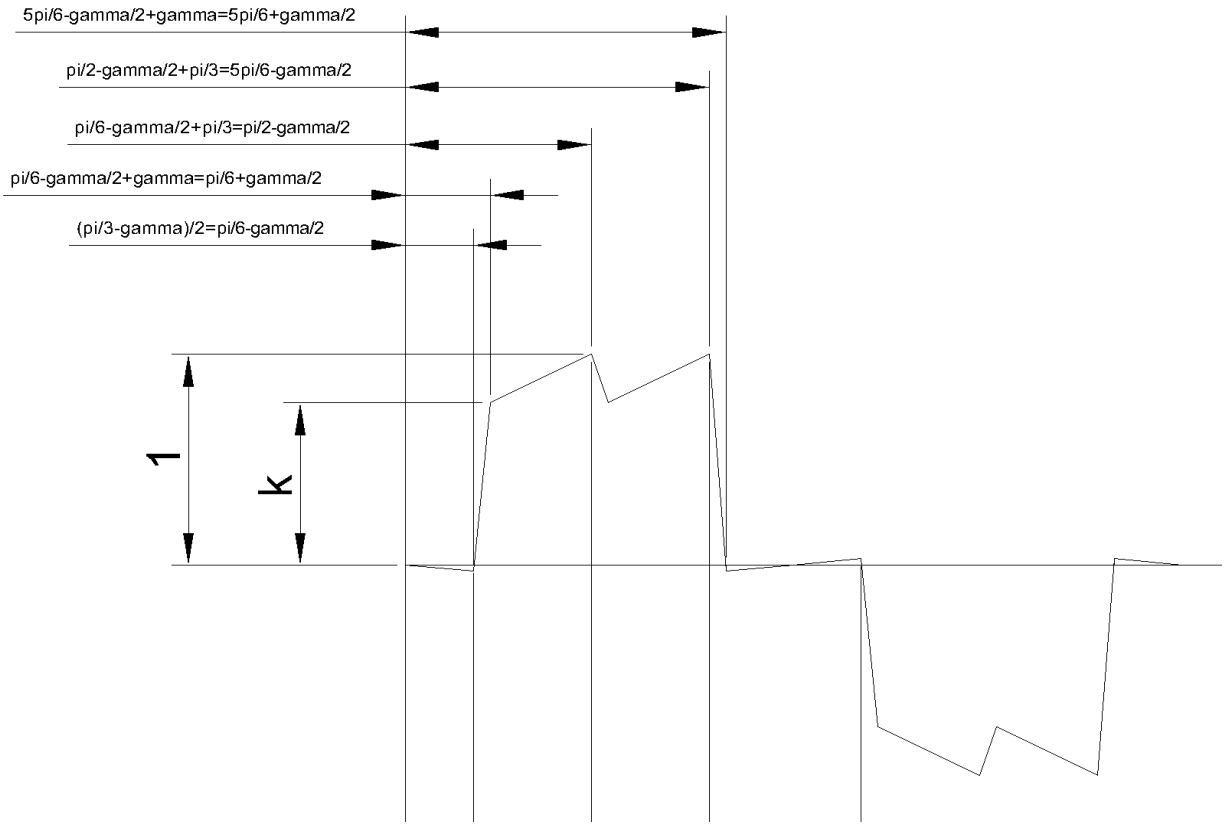


Рисунок 2 – Спрощена крива струму

Замінимо графік кусково-лінійною функцією. Для цього розіб’єм графік на 11 інтервалів і на кожному з них знайдемо рівняння прямої, яке представляє цю частину графіка. Всі обчислення будемо вести у середовищі MATLAB за допомогою інструмента MuPAD. Загальна функція матиме наступий вигляд і її графік:

$$\begin{cases} k-\frac{(k-1)\left(\frac{\gamma}{2}-\frac{\pi}{6}-x\right)}{\gamma-\frac{\pi}{3}} & \text{if } \gamma-2x<\pi\wedge 3\gamma-\pi\le 6x \\ \frac{3(k-1)\left(\frac{\gamma}{2}-\frac{\pi}{2}-x\right)}{\pi}-k & \text{if } -\pi\le\gamma-2x\wedge\sigma_1<-\pi \\ k-\frac{3(k-1)\left(\frac{\gamma}{2}-\frac{\pi}{2}-x\right)}{\pi} & \text{if } \pi\le\gamma-2x\wedge\sigma_1<5\pi \\ \frac{k\left(\frac{\gamma}{2}-\frac{\pi}{6}-x\right)}{\gamma} & \text{if } 6x<3\gamma-\pi\wedge\pi\le\sigma_1 \\ -k-\frac{(k-1)\left(\frac{5\pi}{6}-\frac{\gamma}{2}-x\right)}{\gamma-\frac{\pi}{3}} & \text{if } \gamma-2x<-\pi\wedge 3\gamma\le\sigma_2 \\ \frac{\frac{\gamma}{2}-\frac{\pi}{6}-x}{\gamma}-1 & \text{if } \pi-6x\le 3\gamma\wedge-\pi\le\sigma_1 \\ 1-\frac{\frac{\gamma}{2}-\frac{5\pi}{6}-x}{\gamma} & \text{if } 5\pi\le\sigma_1\wedge 6x\le\sigma_3 \\ -\frac{k\left(\frac{\gamma}{2}-\frac{5\pi}{6}-x\right)}{\gamma} & \text{if } \sigma_2<3\gamma\wedge-5\pi\le\sigma_1 \\ 0 & \text{if } (\sigma_1<\pi\wedge 3\gamma\le\pi-6x)\vee\sigma_3<6x\vee\sigma_1<-5\pi \end{cases}$$

where

$\sigma_1 = 3\gamma - 6x$

$\sigma_2 = 5\pi - 6x$

$\sigma_3 = 3\gamma - 5\pi$

Перевіримо правильність знаходження цих коефіцієнтів підставивши їх в ряд Фур'є (рис. 3) і отримавши значення початкової функції. Їх графік зображено нижче.

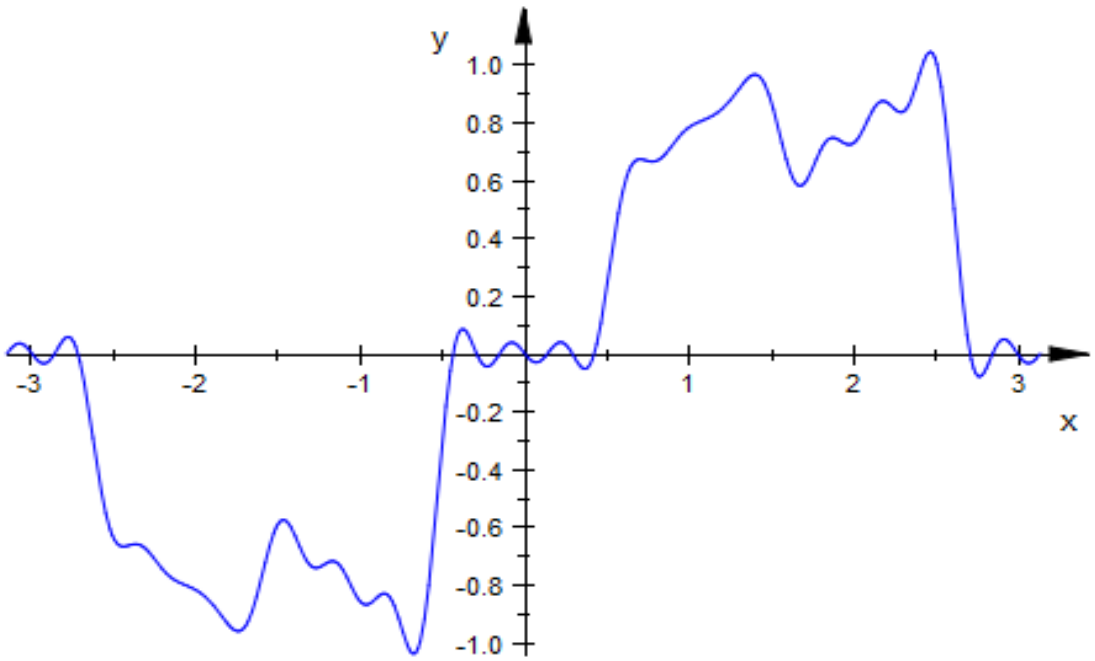


Рисунок 3 – Коефіцієнти ряду Фур'є

Дослідження лінійчатого спектру показали, що спосіб управління комутатором значно впливає на величини амплітуд гармонійних складових.Так, для β = const при реальних кутах комутації (γ = 20°) зі збільшенням кута запасу від 10° до 70° амплітуда першої гармоніки зменшується до 0,71Um (на 27%), а амплітуди високих гармонік збільшуються у декілька разів. При цьому найсильніше міняються амплітуди 3,7,9 і 11-й гармонік, досягаючи значень приблизно 0,5Um(1) і 0,25Um(1). У меньшій мірі спектральний склад кривої напруги залежить від кута комутації. У разі β = 60° збільшило кут комутації, амплітуда 1-ої гармоніки зменшується від 0,91Um до 0,84Um, амплітуди 3,5 і 7-й гармонік - в два рази.

Регулятор з fuzzy logic. Застосування нечітких контролерів є найбільш доцільним у випадку зміни параметрів системи, порівняно з класичними ПІ регуляторами. Запропоновано трирівневий ПІ регулятор нечіткої логіки для ВД (паралельно включено три ПІ регулятори нечіткої логіки одночасно). Основні функції нечіткої логіки – масштабування швидкості і формування сигналу помилки для ПІ регулятора.

Правило нечіткого керування (правило if-then) для нечіткої логіки: якщо ω належить L_S, то e_L відповідає e (правило R_L); якщо ω належить L_M, то e_M відповідає e (правило R_M); якщо ω належить L_H, то e_H відповідає e (правило R_H). R_L, R_M, і R_H – правила керування для різної швидкості; L_S – рівень швидкості, що відповідає нижньому діапазону, L_M – рівень швидкості, що відповідає середньому діапазону, і L_H – рівень швидкості, що відповідає верхньому діапазону.

Вихідний сигнал: $e_L = e \cdot y_L$; $e_M = e \cdot y_M$; $e_H = e \cdot y_H$.

Три ПІ регулятори формують три напруги команд (e_L, e_M і e_H). На рис. 4 наведено структуру моделі регулятора швидкості з нечіткою логікою.

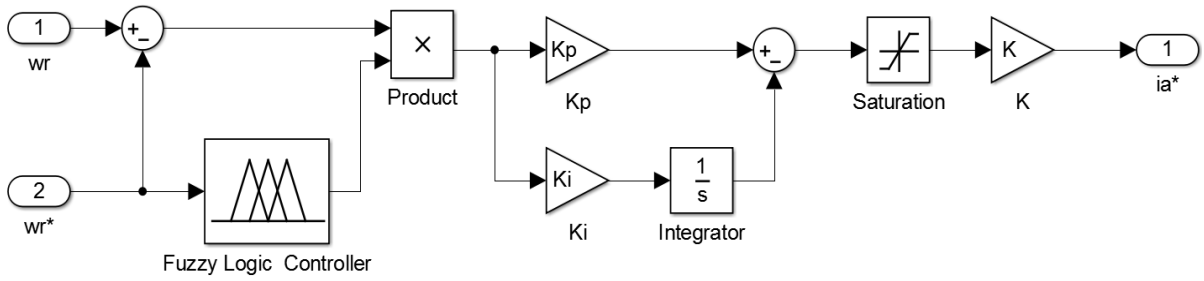


Рисунок 4 – ПІ-регулятор з нечіткою логікою

Висновки

Встановлено, що для досягнення оптимального динамічного і енергетичного режимів ВД необхідно використовувати адаптивне керування з дискретно змінними параметрами регуляторів, для чого систему підпорядкованого регулювання слід доповнити замкнутими контурами стеження і самоналагодження.

Розглянуто синтез трирівневого ПІ регулятора з fuzzy logic для керування швидкістю ВД. Результати дослідження, виконані для різних моментів навантаження, показують, що прийнята структура керування ВД з ПІ регулятором з нечіткою логікою відповідає вимогам до сучасних систем керування, які мають високу швидкодію.

Для досягнення оптимального динамічного і енергетичного режимів пропонується використовувати керування вентильним двигуном з застосуванням трирівневого ПІ

регулятора з fuzzy logic згідно зі способом $\beta = \beta_{min} = f(\gamma)$.

Виконання зазначених умов відповідає найефективнішому використанню встановленої потужності електрообладнання і поліпшенню якості перетворення енергії ВД.

Отримані результати дозволять конструктору при виборі електропривода і мінімізації встановленої потужності устаткування достатньо просто і з високою точністю врахувати вплив параметрів комутатора, машини і способу керування на якість перетворення енергії у ВД.

Література

1. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «ОсвітаУкраїни», 2009. –351с.

2. Закладной О.А. Функциональное диагностирование энергоэффективности электромеханических систем: Монография / О.А. Закладной. – М.: Издательство «Либра», 2013. – 195 с.

3. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.

РОЗДІЛ В
СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 532.529

Антонець І. В. , Шрайбер О.А

РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ВІД ЛЕТКОЇ ЗОЛИ У СКРУБЕРІ ВЕНТУРІ

Побудовано математичну модель еволюції стану трифазового полідисперсного потоку стосовно до процесу очистки газів від твердих частинок в скрубері Вентурі, і створено відповідну програму. Проведено числові дослідження залежності ефективності очистки від витрати крапель, початкових швидкостей фаз, а також від перетину, в якому вводять краплі в скрубер.

К л ю ч о в і с л о в а: трифазовий потік, краплі, тверді частинки, скрубер Вентурі, очистка газів від золи, ефективність.

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ ОТ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ В СКРУББЕРЕ ВЕНТУРИ

Построена математическая модель эволюции состояния трехфазного полидисперсного потока применительно к процессу мокрой очистки газов от твердых частиц в скруббере Вентури, и разработана сответствующая программа. Проведены числовые исследования зависимости эффективности очистки от расхода капель, начальных скоростей фаз, а также от сечения ввода капель в скруббер.

К л ю ч е в ы е с л о в а: трехфазный поток, капли, твердые частицы, скруббер Вентури, очистка газов от золы, эффективность.

CALCULATION AND ANALYTICAL RESEARCH OF THE CLEANING PROCESS OF FLUE GASES OF COAL-FIRED BOILERS FROM ASH PARTICLES IN VENTURI SCRUBBER

We have built a mathematical model of the evolution of state of a three-phase polydisperse flow as applied to the wet cleaning of gases from ash particles in a Venturi scrubber and developed the corresponding program. We have performed numerical investigations of the dependence of the efficiency of ash catching on water consumption, the initial velocities of drops and gas, and the section of liquid entrance to the scrubber.

K e y w o r d s: three-phase flow, drops, particles, Venturi scrubber, gas cleaning from ash, efficiency.

Типова ТЕС потужністю 1000 МВт спалює за рік більше ніж 3 млн. т вугілля і викидає в атмосферу, крім низки інших речовин, близько 30 тис. т золи. Летка зола українських вугільних ТЕС містить різноманітні токсичні елементи, важкі метали, радіоактивні ізотопи та ін., що призводить до довготривалого забруднення оточуючого середовища. Як правило, існуюче обладнання не дозволяє ефективно очищати димові гази, тому пошук можливостей його удосконалення та оптимізації є важливою задачею енергетичної науки України. Значне

розповсюдження в енергетиці знайшли апарати для мокрої очистки димових газів, серед яких найбільш ефективними вважаються скрубери Вентурі [1, 2]. Проте показники роботи таких апаратів часто не відповідають сучасним вимогам, у той час як можливості їх покращення ще далеко не вичерпані.

Для розв'язання цієї задачі найбільш доцільний шлях, мабуть, пов'язаний із математичним моделюванням. На жаль, у нечисленних роботах, присвячених цьому питанню (див., наприклад, [3, 4]) використовується надто спрощений підхід (інтегральний), де не враховується зміна всіх величин, крім концентрації твердих частинок, уздовж потоку, тверді частинки (ТЧ) і краплі вважаються монодисперсними (на практиці вони завжди полідисперсні), надто наближено обчислюються швидкості частинок та ін.

Більш точним та інформативним є диференціальний підхід [5], де всі параметри трифазового середовища вважаються змінними, і процес моделюється системою диференціальних рівнянь для цих параметрів. Така модель для порожнистого скрубера була побудована в [6] і узагальнена в [7] на випадок скрубера Вентурі. Модель побудована на основі неперервного підходу Ленгмюра. Зіткнення краплі фракції i з меншими і більшими краплями описується по-різному: в першому випадку крапля i зберігає свою індивідуальність, а в іншому – втрачає її. При взаємодії ТЧ з краплями в трифазовому потоці кількість твердих включень в краплях та маса рідкої оболонки на ТЧ також змінюються неперервно, що дозволяє обмежитися розглядом всього двох полідисперсних ансамблів – конгломератів з твердою (ТЧ) та рідкою основою. В трифазовому потоці стан фракції i описується п'ятьма параметрами: масою (m_i, M_j), питомою масовою витратою (g_i, G_j), швидкістю (u_i, U_j) і температурою (t_i, T_j) крапель і ТЧ відповідно, масовим вмістом "чужої" фази в частинках (b_i, B_j) (тут малі літери відносяться до крапель, великі – до ТЧ; i, j – номер відповідної фракції). Модель також включає в себе рівняння для швидкості (u_g) і температури (t_g) газу, а також густини водяної пари в газі. Крім того, приймається гіпотеза про рівномірний розподіл надлишку (нестачі) імпульсу, енергії та масового вмісту чужої фази (МВЧФ) нових частинок у порівнянні зі старими частинками тієї ж фракції [8]. Використовується полідисперсна модель подрібнення крапель і рідкої оболонки ТЧ. Задача розглядається в одновимірній постановці, всі частинки вважаються сферичними.

Наведемо приклад побудованих рівнянь. Рівняння для g_i складається з п'яти складових: перша враховує випаровування та коагуляцію з меншими частинками обох видів, другий та третій – загибель крапель i при взаємодії з більшими краплями і ТЧ, четвертий і п'ятий – народження осколків i при різних типах взаємодії:

$$\frac{dg_i}{dx} = \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_1 + \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_2 + \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_3 + \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_4 + \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_5,$$

$$\left(\frac{dg_i}{dx}\right)_1 = \frac{g_i}{m_i}\frac{dm_i}{dx},\ \left(\frac{dg_i}{dx}\right)_2 = -\frac{\pi}{4}\sum_{j=i+1}^{N_l}\frac{g_j}{u_j \cdot m_j}K_{ij},\ K_{ji} = \frac{E_{ji}\left(\delta_i+\delta_j\right)^2\left|u_j-u_i\right|g_j}{u_j},$$

$$\left(\frac{dg_i}{dx}\right)_3 = -\frac{\pi}{4}\sum_{\Delta_j>\delta_i}\frac{G_j}{M_j \cdot U_j}Q_{ij},\ Q_{ij} = \frac{E_{ij}\left(\delta_i+\Delta_j\right)^2\left|u_i-U_j\right|g_i}{u_i},$$

$$\left(\frac{dg_i}{dx}\right)_4 = \frac{\pi}{4}\sum_{j=i+1}^{N_l}\frac{g_j}{m_j u_j}\sum_{k=1}^{j-1}K_{kj}\left(1-\Phi_{kj}\right)\alpha_{kji},\left(\frac{dg_i}{dx}\right)_5 = \frac{\pi}{4}\sum_{\Delta_j>\delta_i}\frac{G_j}{M_j \cdot U_j}\sum_{\delta_k>\Delta_j}Q_{kj}\left(1-X_{kj}\right)\zeta_{kji},$$

де X_{kj} – параметр коагуляції та подрібнення при зіткненнях δ_k-Δ_j ($\delta_k < \Delta_j$); E – коефіцієнт осадження, α_{kji}, ζ_{kji} – масові функції розподілу осколків за розмірами при взаємодіях δ_k-δ_j та δ_k-Δ_j, Ф – параметр коагуляції та подрібнення при взаємодії крапель.

У рівнянні для u_i враховуються аеродинамічний опір, народження осколків при всіх типах взаємодії, а також зіткнення крапель i з меншими краплями і ТЧ. Рівняння для маси, МВЧФ та температури крапель записуються аналогічно.

Рівняння для витрати ТЧ має вигляд (M, U, B, T визначаються подібним чином):

$$\frac{dG_j}{dx} = -\frac{\pi G_j}{4U_j}\sum_{\delta_i>\Delta_j} N_{ji}\left[\Psi_{ji} - \beta_{ji}\left(1-\Psi_{ji}\right)\right]/m_i + \frac{\pi G_j}{4M_j U_j}\sum_{\delta_i<\Delta_j} Q_{ji}X_{ji};\ \ N_{ji} = \frac{E_{ji}\left(\delta_i+\Delta_j\right)^2\left|U_j-u_i\right|g_i}{u_i}.$$

У рівняннях фігурують константи взаємодії K, N, Q, пропорційні відносній швидкості зіткнення частинок. Оскільки швидкість газу в конфузорі швидко зростає, а в дифузорі падає, можливі ситуації, коли частинки в певних перетинах наздоганяють газ і далі через їх інерційність рухаються дещо швидше за нього. При цьому різниці осереднених швидкостей різних фракцій можуть бути достатньо малими, а значить, при цьому зіткнення обумовлені перш за все різницею їх пульсаційних швидкостей. Тому було розроблено наближений метод врахування цього фактору.

Модуль різниці осереднених швидкостей двох фракцій i, j (крапель і/або ТЧ) позначимо через u_{ji}, швидкість їх пульсаційного ковзання через v_{ji}, а сумарну швидкість ковзання (з урахуванням обох складових) через w_{ji}. Ступінь захоплення частинок i турбулентними пульсаціями несучого середовища визначаємо за відомою формулою

$$\left\langle v_i^2\right\rangle = \left\langle v_g^2\right\rangle \xi_i;\ \xi_i = \gamma_i/\left(\gamma_i+\varphi\right),$$

v_i, v_g – пульсаційні швидкості частинок i та газу; γ^{-1} – час динамічної релаксації частинки; φ^{-1} – часовий інтегральний масштаб пульсацій газу вздовж траєкторії частинок.

Для використання існуючої формули для розрахунку осередненої швидкості пульсаційного руху ковзання двох фракцій розглядаємо енергонесучі вихорі, часовий масштаб яких дорівнює φ^{-1}, а просторовий $-\Lambda = \left\langle v_g^2\right\rangle^{1/2}\varphi^{-1}$, тоді

$$\left\langle v_{ji}\right\rangle = \left[\frac{16}{3\pi}\left(k_i + k_j - 2\frac{k_i k_j}{k_g}\right)\right]^{1/2},$$

де k – кінетична енергій турбулентних пульсацій; $k_i = k_g\xi_i$.

Для визначення сумарної швидкості ковзання w_{ji} будемо вважати пульсації ізотропними, також замінимо реальний розподіл пульсаційних швидкостей дельта-функцією

$$f\left(v_{ji}\right) = \delta\left(v_{ji} - \left\langle v_{ji}\right\rangle\right).$$

Розглянемо рис. 1. Для довільної точки B на сфері

$$w_{ji} = \left(u_{ji}^2 + v_{ji}^2 - 2u_{ji}v_{ji}\sin\theta\right)^{1/2}.$$

Для середнього значення швидкості, яку визначаємо, можна записати

$$\left\langle w_{ji}\right\rangle = \left(4\pi\left\langle v_{ji}\right\rangle^2\right)^{-1}\int_S w_{ji}dS,$$

де S – сфера на рис. 1.

Обчисливши інтеграл для випадків, коли точка A знаходиться поза сферою чи в ній, отримаємо

$$\left\langle w_{ji}\right\rangle = \begin{cases} u_{ji} + \left\langle v_{ji}\right\rangle^2/\left(3u_{ji}\right), u_{ji} > \left\langle v_{ji}\right\rangle; \\ \left\langle v_{ji}\right\rangle + u_{ji}^2/\left(3\left\langle v_{ji}\right\rangle\right), u_{ji} < \left\langle v_{ji}\right\rangle. \end{cases}$$

Усе вище описане було враховано у програмі, та з її допомогою прораховано ефективність очистки для типової труби Вентурі. Для базового варіанта розрахунку було обрано такі вихідні дані:

- радіус вхідного і вихідного перерізів труби Вентурі $R_0 = R_f = 0{,}75$ м;
- радіус її горловини $R_t = 0{,}375$ м;
- довжини конфузора, горловини і дифузора 0,8, 0,25, та 3,95 м відповідно;
- кількість фракцій крапель – 7;
- кількість фракцій ТЧ – 5;
- початкова температура крапель – $t_{i0} = 20$ ºС, газу і ТЧ – $t_{gf} = T_{jf} = 120$ ºС;
- початкова швидкість крапель – $u_{i0} = 20$ м/с, швидкість газу на вході в горловину $u_{gt} = 60$ м/с; швидкості газу і ТЧ в перерізі R_0 однакові;
- краплі вводяться в переріз $x_s = 0{,}4$ м.

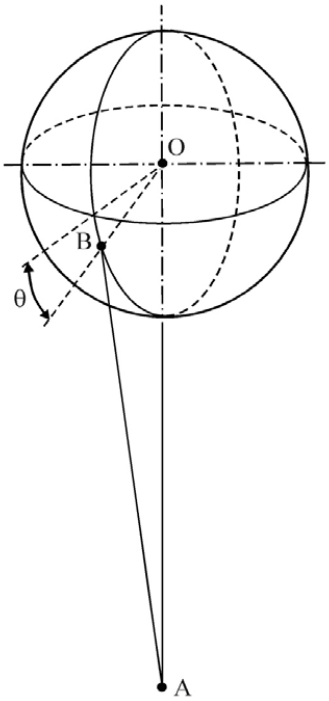


Рис. 1. Геометричне зображення швидкостей ковзання: OA – осереднена швидкість ковзання u_{ji}, OB – пульсаційна.

Розміри частинок і їх початкові питомі масові витрати наводяться в табл. 1. У даному варіанті три фракції крапель подрібнюються аеродинамічними силами у різних перетинах потоку, їх речовина перерозподіляється між іншими фракціями, і вводяться відповідні поправки до значень u_i, t_i, b_i.

Таблиця 1. **Вихідні дані для варіанта 1**

Величини	Розмірність	Номер фракції i (j)						
		1	2	3	4	5	6	7
δ_{i0}	мм	0,08	0,15	0,26	0,37	0,6	1	2
g_{i0}	кг/(м^{2}с)	4	5	6	5	4	1,5	1,5
Δ_{ji}	мкм	1	2,5	5	10	20		
G_{j0}	кг/(м^{2}с)	0,12	0,18	0,3	0,18	0,12		

На рис. 2 наведено дані по зміні питомої витрати ТЧ. Величина G_j змінюється не тільки за рахунок уловлювання ТЧ, а і через зміну площі поперечного перерізу апарата. Видно, що концентрація найдрібніших частинок зменшилась лише приблизно у 4 рази, у той час як фракції 2 - 4 уловлюються практично повністю. Це пояснюється малими значеннями коефіцієнта осадження мікронних частинок.

Цікаво, що п'ята фракція ТЧ уловлюється значно гірше дрібніших частинок – тут основним чинником є параметр коагуляції Ψ_{ji}, який помітно знижується із зростанням Δ_j (див. [9]). Ефективність уловлювання складає η = 96,94 %, що слід вважати не досить хорошим результатом.

У другій серії розрахунків змінювались витрати фракцій крапель (кг/(м^{2}с), див. табл. 2). Видно, що зі збільшенням витрати води ефективність очистки помітно зростає.

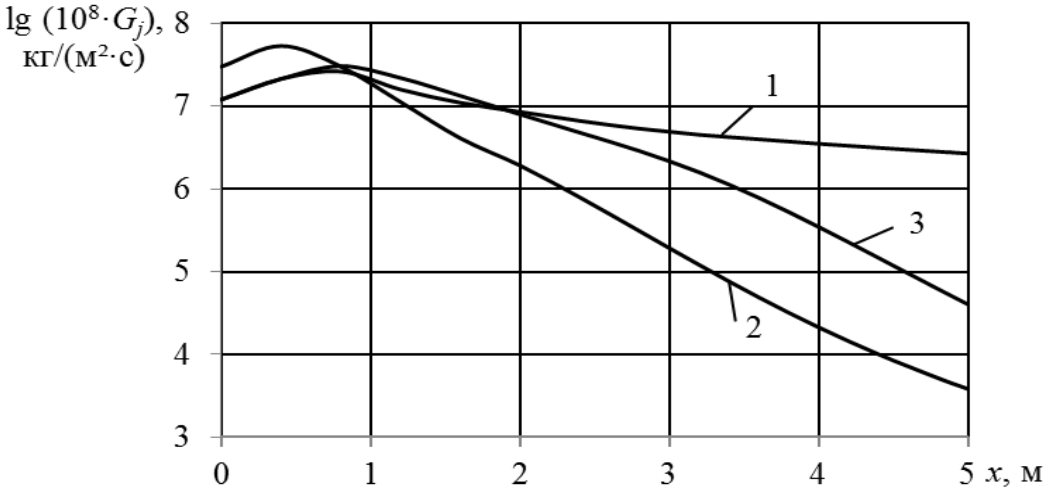


Рис. 2. Зміна витрати фракцій ТЧ для базового варіанта: 1 – j = 1; 2 – j = 3; 3 – j = 5

Таблиця 2. **Вихідні дані, сумарна витрата твердих частинок на виході та ККД апарата для другої серії розрахунків**

Номер варіанта	Номер фракції i, j							Σg_{i0}, кг/(м^{2}с)	ΣG_j, кг/(м^{2}с)	η, %
	1	2	3	4	5	6	7			
2	2	2,5	3	2,5	2	0,75	0,75	13,5	0,053	94,08
3	8	10	12	10	8	3	3	54	0,013	98,59
4	6	7,5	9	7,5	6	2,25	2,25	40,5	0,018	98,02

На рис. 3 представлені дані розрахунку варіанта 3, який показав найкращі результати із цієї серії. Характер ефективності уловлювання по фракціях аналогічний базовому варіанту, але кількість викидів ТЧ в атмосферу тут менше у 2,2 рази. Проте збільшення витрати води не економічно, і тому було проведено додаткові розрахунки при тому ж значенні Σg_{i0}, що і в базовому варіанті.

Третю серію було присвячено дослідженню впливу зміни швидкості газу u_{gt} на закономірності переносу в потоці. Тут отримано такі результати:

u_{gt}, м/с	30	40	60	80
η, %	87,10	90,73	96,94	98,58

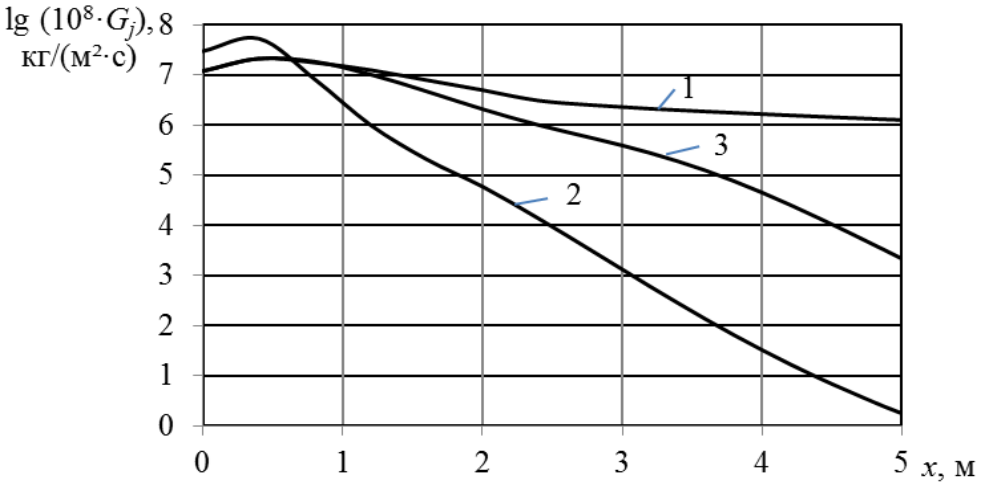


Рис. 3. Зміна витрати фракцій ТЧ для варіанта 3: 1 – j = 1; 2 – j = 3; 3 – j = 5

Зі збільшенням швидкості газу ефективність уловлення покращується, що пов'язано як зі зростанням осереднених швидкостей ковзання, так і зі збільшенням ступеня турбулентності потоку. Для найбільш ефективного варіанта цієї серії досліджень концентрація найдрібніших частинок зменшується у 13 разів, а фракцій 2, 3 і 4 – на кілька порядків. Загалом у порівнянні із базовим варіантом кількість викидів ТЧ зменшується у 2,2 рази.

У четвертій серії було досліджено вплив початкової швидкості крапель, що призвело до таких результатів:

u_{i0}, м/с	5	10	20	30
η, %	98,19	97,86	96,94	95,90

Видно, що ефективність очистки погіршується зі зростанням початкової швидкості крапель. Якщо швидкість крапель зменшується у 4 рази, кількість викидів в атмосферу знижується у 1,7 рази.

У п'ятій серії досліджень змінювався переріз введення крапель у скрубер:

x_{s0}, м	0,2	0,3	0,4	0,7
η, %	97,22	97,11	96,94	94,96

При введені крапель у скрубер ближче до горловини ефективність очистки погіршується. При збільшенні відстані між перерізом введення крапель та горловиною вдвічі у порівнянні з базовим варіантом кількість викидів зменшується приблизно на 10 %.

Висновки. Було побудовано математичну модель процесів переносу в трифазовому полідисперсному потоці в скрубері Вентурі, на основі якої створено програму для проведення числових досліджень. Виконано чотири серії досліджень та проаналізовано вплив зміни витрати води, початкових швидкостей крапель та газу, а також перетину введення крапель у скрубер на ефективність уловлювання частинок золи. З'ясовано, що ефективність уловлювання найбільш помітно покращується зі збільшенням кількості води або швидкості газу. Зменшення початкової швидкості крапель та зміна перерізу їх подачі незначно впливають на ступінь очистки. В результаті найбільш ефективним способом покращення очистки є підвищення швидкості газу.

Перелік посилань

1. *Кропп Л. И., Акбрут А. И.* Золоуловители с трубами Вентури на тепловых электростанциях. – М.: Энергия, 1977. – 160 с.

2. *Палатник И. Б.* Золоуловители с трубами-коагуляторами Вентури. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 208 с.

3. *Lim K. S., Lee S. H., Park H. S.* Prediction for particle removal efficiency of a reverse jet scrubber// Journal of Aerosol Science. – 2006. – Vol. 37. – P. 1826-1839.

4. *Raj Mohan B., Jain R. K., Meikap B. C.* Comprehensive analysis for prediction in spray scrubber// Separation and Purification Technology. – 2008. – Vol. 63. – P. 269-277.

5. *Стернин Л. Е., Шрайбер А. А.* Многофазные течения газа с частицами. – М.: Машиностроение, 1994. – 320 с.

6. *Шрайбер О. А., Федінчик І. В.* Моделювання процесу мокрої очистки димових газів від леткої золи // Пром. теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 3. – С. 86 – 92.

7. *Шрайбер О. А.* Моделювання очистки газів від твердих частинок у скрубері Вентурі // Пром. теплотехника. – 2013. – Т. 35. № 3. – С. 87 – 93.

8. *Шрайбер А. А.* Многофазные полидисперсные течения с переменным фракционным составом дискретных включений // Итоги науки и техники. Компл. спец. разделы механики. – 1988. – Т. 3. – С. 3.

9. *Підвисоцький О. М., Дубровський В. В., Шрайбер О. А.* Узагальнення дослідних даних щодо ефективності уловлювання частинок золи краплями стосовно процесу мокрої очистки димових газів // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – Вип. 2 (29). – С. 35 – 40.

УДК 621.316

П.О. Замковий, К.Р. Гречкосій, Попов В.А

КРІОГЕННІ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Нерівномірність споживання електроенергії протягом доби - одна з основних проблем електроенергетики. Можливість рознести в часі виробництво і споживання електроенергії шляхом її накопичення у великих масштабах - один з найбільш ефективних шляхів вирішення проблеми покриття піків споживання. У роботі розглянуто технологію кріогенного акумулювання електроенергії, де в якості енергоносія використовується зріджене повітря. У статті висвітлено особливості технології та здійснено порівняння з іншими існуючими та потенційними накопичувачами електроенергії.

Ключові слова: кріогенне акумулювання електроенергії, КАЕС, рідке повітря, вирівнювання графіку навантаження енергосистеми.

КРИОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Неравномерность потребления электроэнергии в течение суток - одна из основных проблем электроэнергетики. Возможность разнести во времени производство и потребление электроэнергии путем ее накопления в больших масштабах - один из наиболее эффективных путей решения проблемы покрытия пиков потребления. В работе рассмотрена технология криогенного аккумулирования электроэнергии, где в качестве энергоносителя используется жидкий воздух. В статье освещены особенности технологии и осуществлено сравнение с другими существующими и потенциальными накопителями электроэнергии.

Ключевые слова: криогенное аккумулирования электроэнергии, КАЭС, жидкий воздух, выравнивание графика нагрузки энергосистемы.

CRYOGENIC ENERGY STORAGE SYSTEM

A variation in electricity consumption during the day is one of the main problems of national grid. Shifting energy production and consumption from one time of the day to another by its large scale accumulation is one of the most effective ways to deal with consumption variations. The article examines cryogenic energy storage systems and its energy carrier – liquid air. The assessment and comparison with existing and prospective energy storage technologie are carried out.

Keywords: cryogenic energy storage system, LAES, CAES, liquid air, grid balancing, peak-shaving.

Вступ. Виробництво і споживання різних видів енергії в світі зростає швидкими темпами, визначаючи прогрес у всіх галузях життєдіяльності людини. Також ускладнюються процеси перетворення енергії, розширюється різноманіття установок і агрегатів енергоспоживання. Енергосистема будь-якої держави об'єднує в єдиному технологічному процесі безліч електростанцій, які здійснюють в реальному часі вироблення електроенергії, і безліч споживачів, які отримують цю енергію від електростанцій через передавальні і розподільчі електромережі [1].

Нерівномірність споживання електроенергії протягом доби - одна з основних проблем електроенергетики (Рисунок 1) [2]. Електроенергія використовується в той же момент, коли вона виробляється, в силу чого виникає необхідність то вмикати, то вимикати генеруючі потужності. Такий режим помітно збільшує як швидкість зносу генеруючого обладнання, так і витрати палива (кожен пуск енергоблоку вимагає додаткових витрат палива). В даний момент для покриття пікових навантажень використовуються, в основному, ГАЕС і

маневрені ТЕС. Однак будівництво ГАЕС можливо не скрізь, а використання ТЕС у піковому режимі істотно знижує ефективність використання палива. До того ж, для потужних ТЕС і АЕС стає проблематичним проходження нічного провалу навантаження [3]. Складність полягає в тому, що в нічний час доби сумарна величина технічного мінімуму теплових блочних агрегатів по тепловому режиму нерідко перевищує величину нічного навантаження енергосистеми, а повна зупинка блоків на цей час не доцільна.

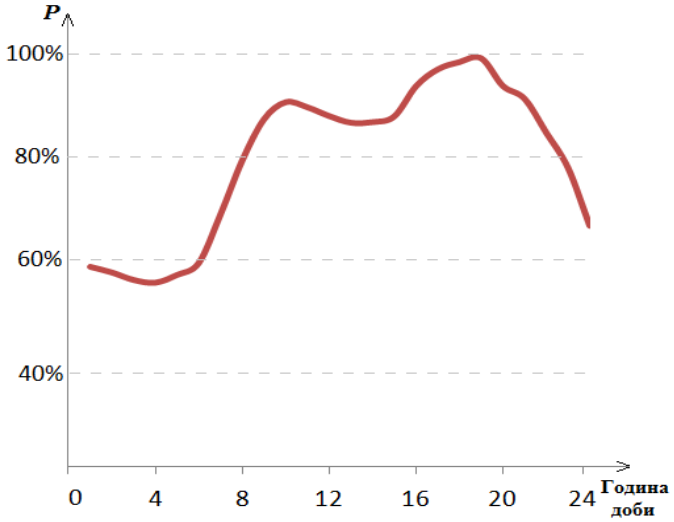


Рис.1 – Графік навантаження енергосистеми

Перераховані вище проблеми приводять до встановлення істотно більшої вартості електроенергії в години пікового навантаження в енергосистемі і в кінцевому результаті - до більш високої середньодобової ціни на електроенергію для кінцевого споживача. Так, вартість електроенергії в пікові години в різних країнах світу може перевищувати вартість електроенергії в години базового навантаження більш ніж у 8 разів [4].

Можливість рознести в часі виробництво і споживання електроенергії шляхом її накопичення у великих масштабах - один з найбільш ефективних шляхів вирішення проблеми покриття піків споживання. Одним з найбільш поширених способів акумулювання є застосування гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС). Електростанції цього типу мають ряд переваг: високу маневреність агрегатів і порівняно високий ККД (близько 75 %). Однак вони мають і певні недоліки. Крім високих капітальних вкладень, ГАЕС вимагають ще й особливих гірничо-геологічних умов для їх спорудження [5]. Тому нерозумно говорити про ГАЕС, як про ідеальне вирішення проблеми акумулювання електроенергії.

Інноваційне рішення в цьому питанні запропонували у Великобританії. Йдеться про кріогенні акумулюючі електростанції (КАЕС). Вони мають потенціал стати реальною альтернативою ГАЕС, оскільки мають схожі енергетичні характеристики, а також ряд переваг.

Мета та завдання статті - розглянути технологію кріогенного акумулювання електроенергії, де в якості енергоносія використовується зріджене повітря; описати особливості технології та здійснити порівняння з іншими існуючими та потенційними накопичувачами електроенергії.

Результати дослідження. Існує безліч систем акумулювання енергії, які можуть запасати електроенергію у вигляді теплової, механічної та електричної енергії (рисунок 2). Вже зараз можна виділити ряд тенденцій, які, ймовірно, вплинуть на розвиток застосування накопичувачів енергії :

- Тенденції щодо збільшення ефективності використання енергоресурсів та розвитку інтелектуальних мереж (Smart Grids). Застосування накопичувачів дозволяє економити як первинні енергоресурси, згладжуючи профіль завантаження генеруючих потужностей, так і ресурс електромережевого обладнання, знижуючи пікове навантаження на підстанціях.
- Розвиток відновлювальних джерел енергії (сонячних і вітрових електростанцій). У разі великої частки непостійних ВДЕ в енергосистемі (більше 10 %), відмінності між добовим графіком вироблення електроенергії відновлюваними джерелами і графіком її споживання вимагають додаткового узгодження, яке може бути реалізовано за рахунок систем накопичення енергії [2].
- Збільшення обсягів нерегульованої електроенергії виробленої на блоках атомних електростанцій згідно з «Енергетичною стратегією України до 2030 року» [6].

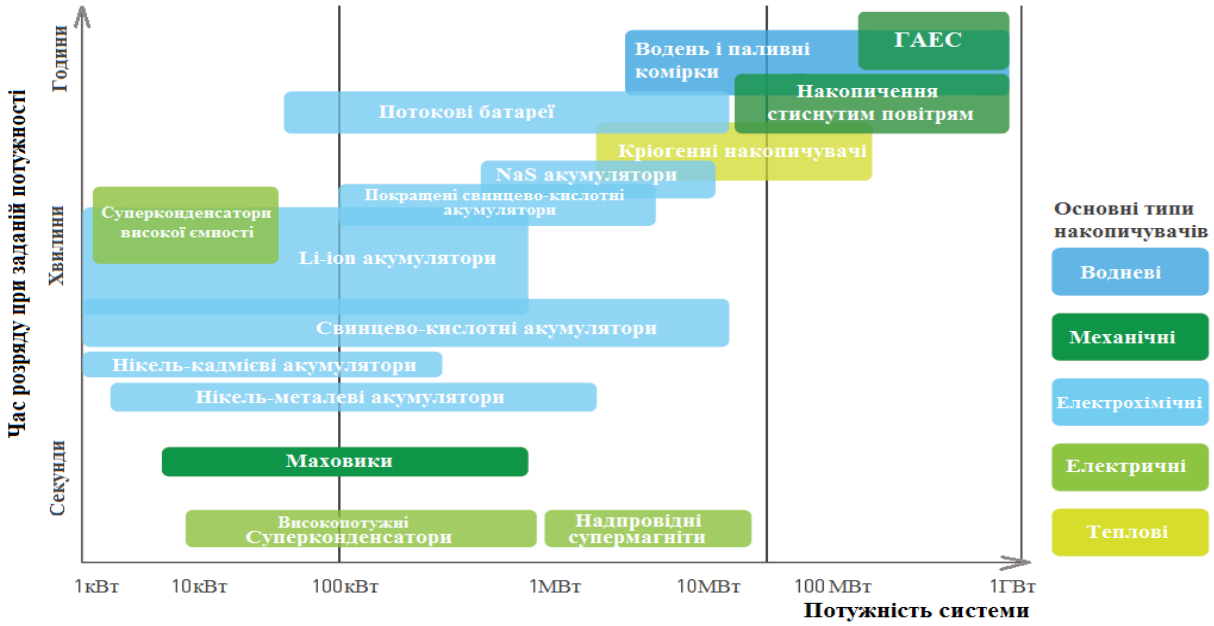


Рис. 2 - Основні типи накопичувачів електроенергії та їх енергетичні параметри

Баланс потужності енергосистеми України характеризується дефіцитом як маневрених, так і регулюючих потужностей; частка гідроелектростанцій, які забезпечують основний обсяг маневрених потужностей, у загальному балансі потужностей не перевищує 9% за оптимального рівня у 15% [6]. В результаті блоки ТЕС і ТЕЦ, спроектовані для роботи в базовому режимі, використовуються для підтримки змінної частини графіка навантаження енергосистеми.

Існує безліч технологій накопичення енергії на ранніх стадіях розробки, що пропонують широкий спектр можливостей - від посекундного управління якістю електроенергії в електричній мережі до нагрівання води, що зберігається в підземних сховищах на протязі сезонів. Однак, найцінніша область - це мережеве накопичення, що здатне зберігати електроенергію протягом годин в масштабі десятків - сотень мегават - що відповідає добовій зміні виробництва і споживання енергії. І саме цю нішу, нині монополізовану ГАЕС, можуть зайняти нові технології на основі кріогенного накопичення електроенергії, де в якості енергоносія використовується зріджене повітря.

Ідея, що повітря, яким ми дихаємо може перетворитися в рідину на перший погляд незвична, але вчені знали як виділити складові із рідкого повітря протягом понад століття

(рисунок 3), а газова промисловість в даний час виробляє тисячі тонн рідкого азоту і рідкого кисню кожен день. Тим не менше, ці гази не повинні бути відокремлені після зрідження, в цьому випадку в результаті отримаємо рідке повітря. Ряд технологій в даний час розробляються для використання рідкого повітря, однак його основне застосування – накопичення електроенергії.

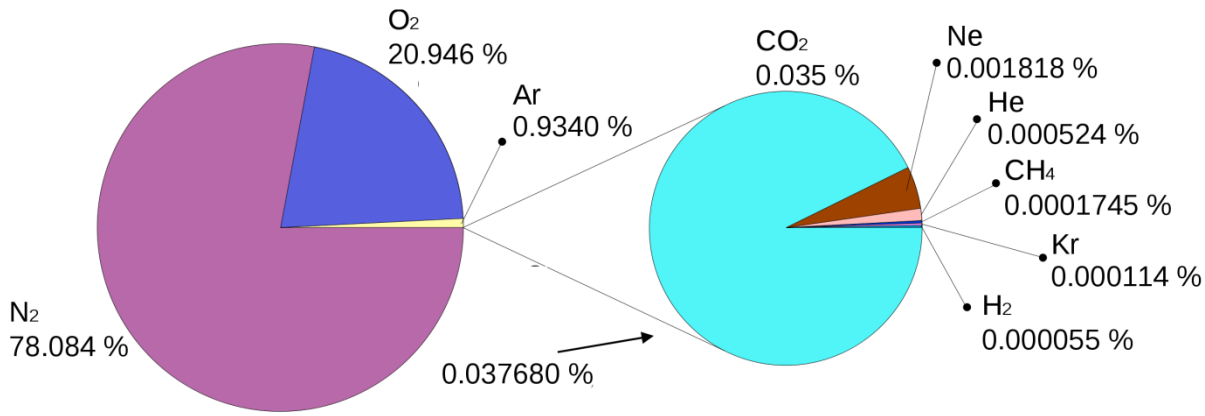


Рис. 3 - Основні складові повітря

Повітря може бути перетворено на рідину шляхом охолодження до температури приблизно -196°С з використанням типового промислового устаткування. Близько 700 літрів повітря перетворюються в 1 літр рідкого повітря, який потім може бути збережений у ізольованій посудині за відсутності тиску. Коли тепло знову вводиться в рідке повітря воно закипає і перетворюється назад в газ, розширюючись в об'ємі у 700 разів. Це розширення може бути використано поршневим двигуном або турбіною, щоб виконувати корисну роботу. Основні можливості для його застосування: в зберіганні електроенергії, транспорті і використанні відпрацьованого тепла.

Так як температура кипіння рідкого повітря (-196°С) набагато нижче температури навколишнього середовища, саме середовище може забезпечити все тепло, необхідне, для кипіння рідкого повітря. Однак низька температура кипіння також означає, що процес розширення може бути поліпшений шляхом додавання низькосортного тепла (до +100°С), використання якого для інших технологій завдання доволі важке і, водночас, значно покращує використання енергії [7]. Є безліч джерел низькосортного тепла, що втрачається по всій економіці країни - від електростанцій до автомобільних двигунів [8].

Вже були кілька спроб використання рідкого повітря або рідкого азоту як енергетичного напряму протягом минулого сторіччя японськими компаніями Mitsubishi Heavy Industry та Hitachi [9, 10], на жаль, без комерційного успіху. Проте, технологічні досягнення і еволюція ринку на початку цього століття, схоже, зробили це практично та економічно можливим.

Навесні 2010 року у Великобританії була запущена пілотна КАЕС потужністю 300 кВт та ємністю 2,5 МВт*год. За словами головного технолога проекту збірка станції зайняла всього 2 місяці, тому що абсолютно все використане на ній обладнання є серійним. Творці КАЕС відзначають, що при нагріванні зрідженого повітря атмосферним повітрям в мережу повертається лише 50 % від тієї енергії, що раніше пішла на зріджування повітря. Проте використання додаткового тепла від будь-якого промислового чи енергетичного об'єкта, збільшує ККД до 70 %. В квітні 2014 року уряд Великобританії виділив 8 мільйонів фунтів на фінансування наступного етапу демонстраційного проекту [11].

Аналіз показує, що якщо відношення пікових та непікових цін на електроенергію

становить 2,5 або вище, рідке повітря може стати економічно привабливою пропозицією для власників джерел неповністю утилізованого тепла. У країнах з недостатньою первинними генеруючими потужностями, такі як Південна Африка і Таїланд, пікові ціни на електроенергію можуть бути в 8 разів вище ніж непікові, навіть на сьогоднішній день [12]. У країнах або регіонах зі значним ростом відновлюваних джерел енергії, таких як Німеччина, Техас і Великобританія, ціни на електроенергію можуть ставати негативними у періоди сильного вітру і низького попиту; у зв'язку з залежністю від погоди і переривчастістю відновлюваних джерел очікується збільшення різниці цін у найближчі десятиліття [4]. За деякими прогнозами, пікова/непікова вартість в таких країнах може бути істотно вищою, ніж 2,5 протягом наступних двох десятиліть [4].

Порівняння технологій накопичення електроенергії. Хоча накопичення має явні переваги перед іншими формами балансування, більшість з наявних в даний час технологій зберігання електроенергії страждають від цілого ряду технічних і фінансових обмежень (показано в таблиці 1.1).

Таблиця 1.1 - Порівняння технологій накопичення електроенергії

Технологія	Низькі капітальні витрати	Тривалий термін служби	Низькі експлуатаційні витрати	Швидкий час пуску (секунди)	Висока ємність зберігання	Географічні обмеження	Стадія розвитку технології
ГАЕС	Ні	Так	Так	Ні	Так	Так	Розвинута
Стиснуте повітря	Так	Так	Так	Ні	Так	Так	Розвинута
Стиснуте повітря - адіабатний процес	Так	Так	Так	Ні	Так	Так	Розробка
Кріогенні рідини	Так	Так	Так	Ні	Так	Ні	Демонстраційний проект
Маховики	Ні	Так	Ні	Так	Ні	Ні	Розвинута / Демонстраційний проект
Суперконденсатори	Ні	Ні	Ні	Так	Ні	Ні	Розробка
Надпровідні магніти	Ні	Так	Ні	Так	Ні	Ні	Розробка
Акумулятори	Ні	Ні	Так	Так	Ні	Ні	Розвинута
Паливні комірки	Ні	Так	Так	Так	Так	Ні	Розробка

ГАЕС - золотий стандарт великомасштабного накопичення електроенергії. На даний момент встановлена потужність накопичувачів енергії в світі становить близько 122 ГВт , з них на ГАЕС припадає майже 99 % [2]. Технологія ГАЕС передбачає значний обсяг капіталовкладень в будівництво і його тривалість. Зацікавленій громадськості, у той же час, невідомі коректні розрахунки їх окупності, оскільки ГАЕС у абсолютному вимірі є збитковим об'єктом [13]. Як показують приклади з Ташлицькою ГАЕС та Дністровською ГАЕС, такі розрахунки або невідомі громадськості, або викликають сумнів, через недосконаліть методик розрахунку. Також, не враховуються збитки, завдані навколишньому середовищу та місцевому населенню, басейнам річок тощо, як у процесі будівництва, так і внаслідок введення в експлуатацію ГАЕС [13]. Однак основним недоліком цієї технології є те, що ГАЕС вимагають особливих гірничо-геологічних умов для їх спорудження.

Зберігання енергії в стиснутому повітрі (CAES) теоретично підходить для великомасштабного розосередженого зберігання енергії. Тим не менш, на даний час по всьому світу існують лише дві великих станції CAES, що знаходяться в експлуатації, і обидві залежать від турбін на природньому газі. «Адіабатичні» технології CAES, що дозволили б обійтися без необхідності використовувати природний газ все ще перебувають в зародковому стані. Великомасштабні CAES вимагають відповідних геологічних умов залягання солі - в яких створюються печери для зберігання повітря - процес, який може зайняти до п'яти років і вимагає високих капітальних витрат. Малі CAES знаходяться на стадії розробки вже більше десяти років з обмеженим прогресом.

Електрохімічні акумулятори - ще одне потенційне рішення без будь-яких географічних обмежень. Тим не менш, вони капіталомісткі і, як правило, мають більш короткий термін служби, ніж механічні системи, такі як ГАЕС (10-15 років у порівнянні з 25-40 років). Більш короткий термін служби збільшує економічні та екологічні витрати, пов’язані з необхідністю утилізації та переробки матеріалів і компонентів.

Маховики - вважаються надійною технологією, зі значним терміном служби і відносно низькою вартістю на кіловат потужності. Проте, через значний саморозряд, маховики набагато більш ефективні для передачі високої потужності протягом секунд або хвилин, ніж для зберігання великих обсягів енергії протягом більш тривалого терміну, і це обмежує їх роль в енергомережі частотним регулювання.

У підсумку можна зробити висновок, що зберігання енергії має значні переваги в порівнянні з іншими формами балансування мережі, однак більшість з наявних в даний час технологій зберігання страждають від цілого ряду технічних і економічних недоліків. Для енергомережі, необхідна технологія, які буде в змозі об'єднати високу номінальну потужність і велику ємність зберігання енергії ГАЕС, але без географічних обмежень; швидкий час пуску, але без викидів; а також низькі витрати, високу ефективність і тривалий термін служби. І саме такою технологією може стати кріогенне накопичення енергії.

Висновок

Завдяки можливості серійного виготовлення та незалежності від умов розміщення, КАЕС можуть стати реальною альтернативою ГАЕС - дешевою і водночас мобільною. Сукупність цих факторів та гарних техніко-економічних показників, відкривають широкі перспективи для використання КАЕС при регулюванні графіків навантаження енергосистеми. Однак на даний момент ця технологія не отримала широкого розголосу та знаходиться на стадії демонстраційних проектів. Їй необхідна значна інформаційна та урядова підтримка, а також подальші дослідження областей використання рідкого повітря, здешевлення та удосконалення технології.

Список використаних джерел

1. Гуртовцев А.Л. Гидроаккумулирующие электростанции. // ЭЛЕКТРО, 2007. №1, стр. 43-48.
2. Накопители энергии в большой энергетике. Power review #5 powered by BRANAN, 2010, - 4 с.
3. Брызгалов В.И., Гордон Л.А. Гидроэлектростанции: Учеб. пособие // Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 541 с.
4. Liquid Air in the energy and transport systems: Opportunities for industry and innovation in the UK. Full Report, ISBN: 978-0-9575872-2-9, 2013, 72 p.
5. Синюгин В. Ю. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике // М. : Энас, 2008. - 352. - (1) .
6. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. // від 24.07.2013 № 1071,

стр. 27, 55.

7. R. C. McKenna. Spatial modeling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK, // R. C. McKenna et al., Energy Policy 38, 2010, pp. 5878-5891

8. The role of pumped and waste heat technologies in a high efficiency sustainable energy future for the UK, C. N. Markides, Applied Thermal Engineering, 2013.
In press, available online at dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.02.037

9. “Development of generator of liquid air energy storage system”, Mitsubishi Heavy industries, Ltd., Technical Review Vol.35 No.3 (Oct. 1998)

10. Patent application “Cold heat reused air liquefaction/vaporization and storage gas turbine electric power system”, US| 2001/0004830A1, Hitachi, Publication date :28.06.2001

11. https://www.gov.uk/government/news/8-million-boost-for-energy-storage-innovation

12. Tariffs and Charges Booklet 2011/12 // Eskom, web resourse http://www.eskom.co.za/CustomerCare/TariffsAndCharges/Documents/Tariff_brochure_20112.pdf

13. Канівська гідроакумулююча електростанція: ризики проекту. // Доповідь Національного екологічного центру України // CEE Bankwatch Network – 2007, стр – 8.

УДК 621.317

ГАЛАБІЦЬКИЙ П.М., *студент*, науковий керівник: **КОЦАР О.В.**, *к.т.н., доцент*
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»

ГАЛАБИЦЬКИЙ П.М., *студент*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА, НТУУ «КПІ»

GALABITSKYI P.M., *Student*, Research Supervisor: **KOTSAR O.V.,** *Ph.D., Ass. Prof.*
INSTITUTE OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT, NTUU «KPI»

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

IMPROVING ACCURACY LOAD FORECASTING OF CONSUMERS ELECTRIC POWER

Анотація. *Прогнозування електричного навантаження є одним з найбільш важливих напрямів досліджень в ринковій електроенергетиці. Будь-які відхилення від планових значень призведуть до неминучого збільшення вартості електроенергії для учасника ринку, який припустився таких відхилень. Тому завдання підвищення точності існуючих методів для достовірного прогнозування попиту на електричну потужність є одним з першочергових в умовах РДДБР.*

Ключові слова: прогнозування, електричне навантаження, експоненціальне згладжування, модель, помилка.

Аннотация. *Достоверное прогнозирование электропотребления является неотъемлемым условием эффективного функционирования либерализованных рынков электрической энергии. Любые отклонения от согласованных значений приведут к неизбежному увеличению стоимости электроэнергии для участника рынка, который допустил такие отклонения. Поэтому задача повышения точности существующих методов для достоверного прогнозирования спроса на электрическую мощность является одной из первоочередных в условиях внедрения в Украине РДДБР.*

Ключевые слова: прогнозирование, электрическая нагрузка, экспоненциальное сглаживания, модель, ошибка.

Annotation. *Forecasting of electric load is one of the most important areas of research in the electricity market. Any deviation from the planned values will lead to an inevitable increase in the cost of electricity market participants, who had made such deviations. Therefore, the task of improve the accuracy of existing methods for reliable prediction of demand for electrical power is a priority in RDDBR.*

Keywords: forecasting, electrical load, exponential smoothing, model, error.

Мета дослідження

Метою досліджень є вдосконалення методів прогнозування попиту на електричну потужність (електроенергію) на ринку «доба наперед» в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку.

Вступ

Середньострокове (на добу наперед) прогнозування електроспоживання є сьогодні одним з найбільш важливих напрямків досліджень в електроенергетиці. Підвищення точності прогнозних оцінок режимів електроспоживання забезпечує заощадження енергоресурсів та, відповідно, підвищення енергоефективності і зменшення шкідливих викидів. У зв'язку з переходом до нової моделі оптового ринку електричної енергії (ОРЕ) – ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР), до складу якого входить ринок «доба наперед» (РДН), вимоги щодо точності прогнозування значно зросли [1, 2].

Тому роботи, що пов'язані з розробкою методів і алгоритмів прогнозування електроспоживання, а також їхнім удосконаленням з метою застосування в автоматизованих системах контролю, обліку та керування енерговикористанням (АСКОЕ) та системах підтримки прийняття рішень (СППР) в електроенергетиці є конче актуальними [3, 4].

В [5] йдеться про застосування двох способів, за допомогою яких можна підвищити точність прогнозування:

- кластеризація і подальше прогнозування;
- консенсус-прогноз.

Застосування кластеризації, тобто розбиття часового ряду на гомогенні відрізки, в задачах прогнозування було вперше запропоновано Russel Fogler в 1974 році [6]. Прогнозування часових рядів в [6] запропоновано здійснювати в два етапи:

1. Кластеризація.
2. Прогнозування всередині кластера.

Такий підхід є комбінацією двох різних моделей часових рядів: перша модель визначає власне кластер, друга – реалізує прогнозування всередині кластера. На сьогоднішній день такий підхід є надзвичайно популярним.

В огляді методів і моделей прогнозування електричного навантаження [7] наводиться таблиця, із зазначенням таких комбінацій моделей:

- нейронні мережі + нечітка логіка;
- нейронні мережі + ARIMAX;
- нейронні мережі + регресія;
- нейронні мережі + генетичний алгоритм + нечітка логіка;
- регресія + нечітка логіка.

Метою цієї роботи є дослідження застосування першого способу задля покращення точності прогнозування на прикладі дослідження 1776 початкових 30-хвилинних усереднених значень обсягів електричного навантаження підприємства цементної промисловості за період з 1.10.2013р. по 6.11.2013р., яке використовує сухий спосіб виробництва цементу. Часовий ряд значень електричного навантаження наведений на рис. 1.

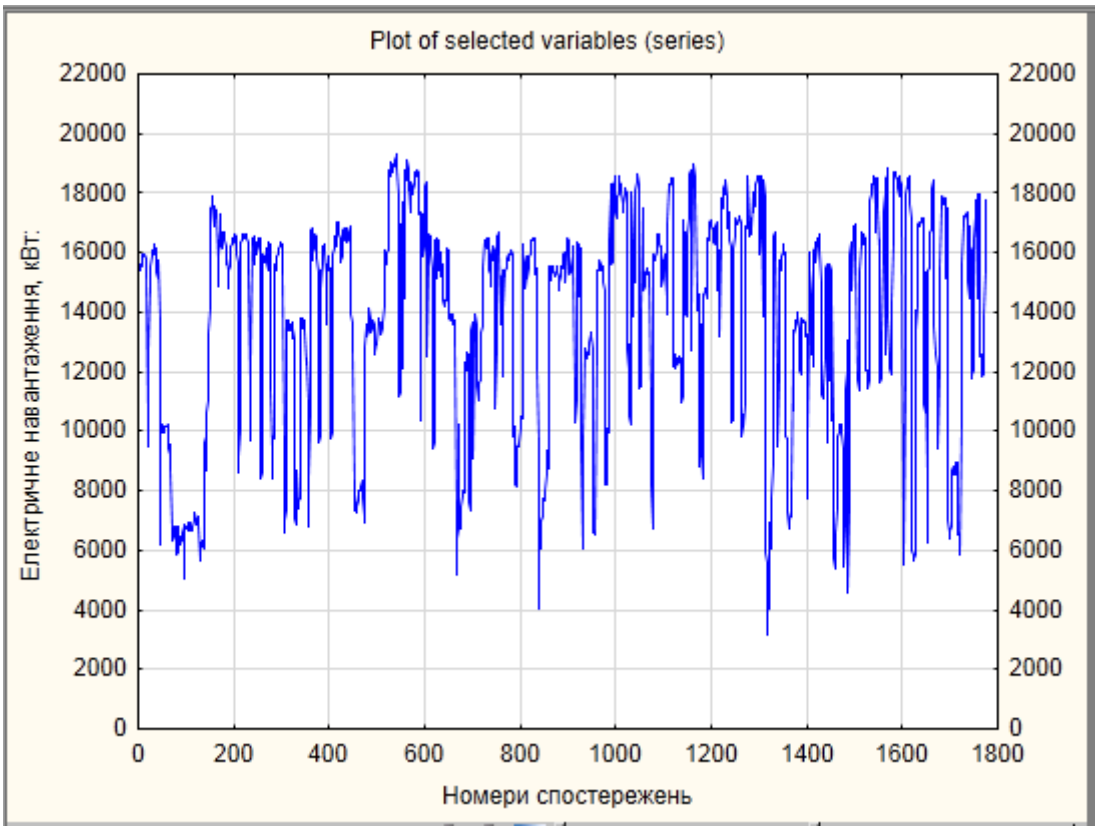


Рис.1. Часовий ряд значень електричного навантаження підприємства

Кластеризація – об'єднання в групи схожих об'єктів – є одним з фундаментальних завдань в галузі аналізу даних. На сучасному етапі кластеризація часто виступає першим кроком під час аналізу даних. Після виділення схожих груп застосовуються інші методи прогнозування, при цьому для кожної групи розробляється окрема модель [8].

Сьогодні відома достатньо велика кількість методів розбиття груп об'єктів на кластери – кілька десятків алгоритмів і ще більше їхніх модифікацій [12]. Кластеризація проводилася у програмному пакеті STATISTICA [8]. Цей програмний пакет використовується для статистичного аналізу, розроблена компанією StatSoft, яка реалізує функції аналізу даних, управління даних, візуалізації даних із залученням статистичних методів. У модулі ***Cluster Analysis*** пакету реалізуються такі методи кластеризації:

• з'єднання (деревоподібна кластеризація), **Joining (tree clustering)**;

• метод k–середніх **(k- means clustering);**

• двовхідне об'єднання **(Two - way joining)**.

В цьому дослідженні використовувався метод k–середніх, який згідно [11] є найбільш популярним методом кластеризації. Метод k–середніх – це метод кластерного аналізу, метою якого є поділ m спостережень (з простору R^n) на k кластерів, при цьому кожне спостереження відноситься до того ж самого кластеру, до центу (центроїду) якого воно є найближчим. В якості міри близькості використовується Евклідова відстань [12]:

$$\rho(x,y) = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{p=1}^{n} (x_p - y_p)^2}\ , \qquad (1)$$

де: $x, y \in R^n$

Отже, розглянемо ряд спостережень $(x^{(1)}, x^{(2)}, ..., x^{(m)}), x^{(j)} \in R^n$. Метод k–середніх розділяє m спостережень на k груп (або кластерів), де $k \leq m$, щоб мінімізувати сумарне квадратичне відхилення точок кластерів від центрів цих кластерів:

$$\min[\sum_{i=1}^{k} \sum_{x^{(j)} \in S_j} \left\| x^{(j)} - \mu_i \right\|^2], \quad (2)$$

де: $x^{(j)} \in R^n$, $\mu_i \in R^n$, μ_i – центр для кластера.

Якщо міра близькості до центроїда визначена, то розбиття об'єктів на кластери зводиться до визначення центроїдів цих кластерів. Число кластерів k попередньо задається дослідником.

Розглянемо початковий набір k середніх (центроїдів) $\mu_1 ... \mu_k$ в кластерах $S_1, S_2, ... S_k$. На першому етапі центроїди кластерів вибираються випадково або за певним правилом (наприклад, вибрати центроїди, максимізуючи початкові відстані між кластерами).

Відносимо спостереження до того кластеру, середнє значення якого (центроїд) відповідає найближчому значенню центру того чи іншого кластеру. Кожне спостереження належить тільки до одного кластеру, навіть якщо його можна віднести до двох і більше кластерів. Потім центроїд кожного і-го кластера пере обчислюється за таким правилом [9]:

$$\mu_j = \frac{1}{S_j} \sum_{x^{(j)} \in S_i} x^{(j)} \quad (3)$$

Таким чином, алгоритм k–середніх полягає в повторному обчисленні на кожному кроці центроїда для кожного кластера, отриманого на попередньому кроці. Алгоритм зупиняється, коли на наступному кроці значення μ_j не змінюються:

$$\mu_j^{\text{крок } t} = \mu_j^{\text{крок } t+1} \quad (4)$$

Важливо: Невірний вибір початкового числа кластерів k може призвести до некоректних результатів. Саме тому під час використання методу k–середніх важливо спочатку виконати перевірку відповідного числа кластерів для досліджуваного набору даних. Тому ще раз підкреслимо деякі особливості методу k–середніх [9]:

- в якості метрики використовується Евклідова відстань;
- число кластерів попередньо обирається дослідником;
- якість кластеризації залежить від початкового розбиття.

Застосуємо кластерний аналіз для прогнозування попиту на електричну потужність на РДН. Дослідимо, яким чином впливає збільшення загальної кількості кластерів на точність прогнозування. Початкову множину будемо розбивати спочатку на 2 кластери, а потім поступово будемо збільшувати кількість кластерів кожного разу на 1 позицію. Кластеризацію будемо виконувати за методом k–середніх, що обгрунтовано раніше. Для прогнозування застосуємо метод експоненціального згладжування [13].

Для початку здійснимо прогнозування без застосування кластеризації за допомогою методу експоненціального згладжування.

Також попередньо був проведений спектральний аналіз Фур'є (для виявлення сезонної складової часового ряду електроспоживання), результати аналізу наведено на рис 2.

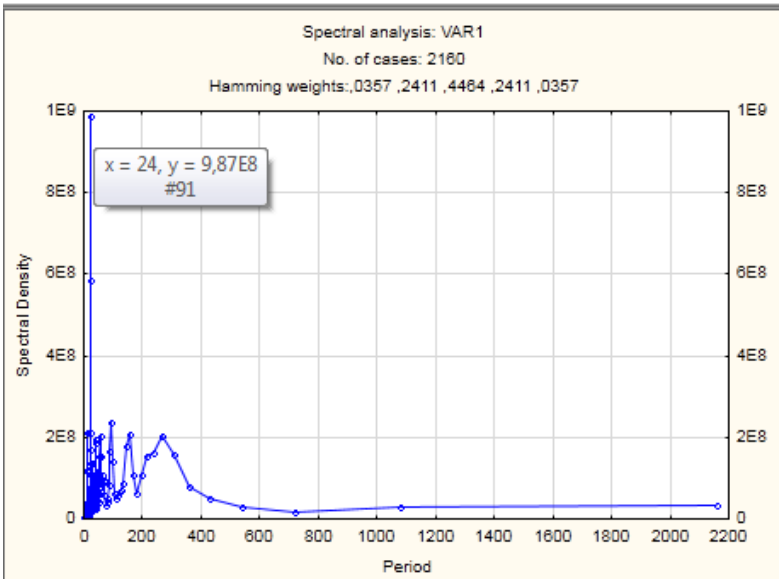


Рис.2. Спектральна щільність часового ряду електричного навантаження

Після здійснення прогнозування (результати наведено на рис.3) отримали середню абсолютну відсоткову помилку MAPE – 7,63%. MAPE - середня абсолютна помилка у відсотка:

$$MAPE = \frac{1}{N} \cdot \frac{\left| Z(t) - \hat{Z}(t) \right|}{Z(t)} \cdot 100\% \quad (5)$$

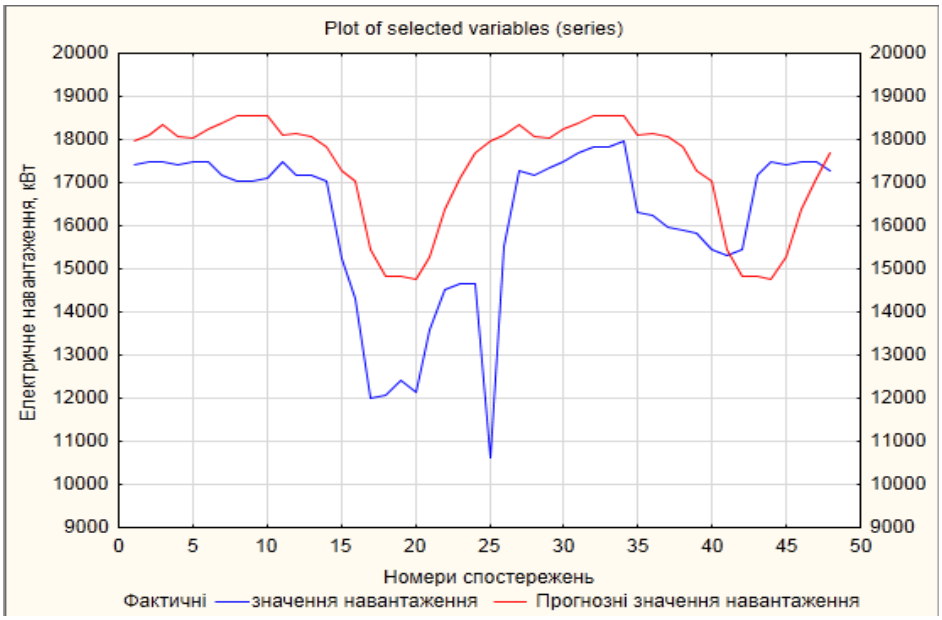


Рис.3. Результати прогнозування без застосування кластеризації

В [10], наприклад, наводиться оптимальна похибка прогнозування навантаження в енергосистемі Великобританії – 2% при прогнозуванні на наступну добу. Тому наступним кроком буде здійснена кластеризація за методом k – середніх. На початку задамося числом кластерів, яке дорівнюватиме 2. Графічні результати кластеризації наведено на рис. 4.

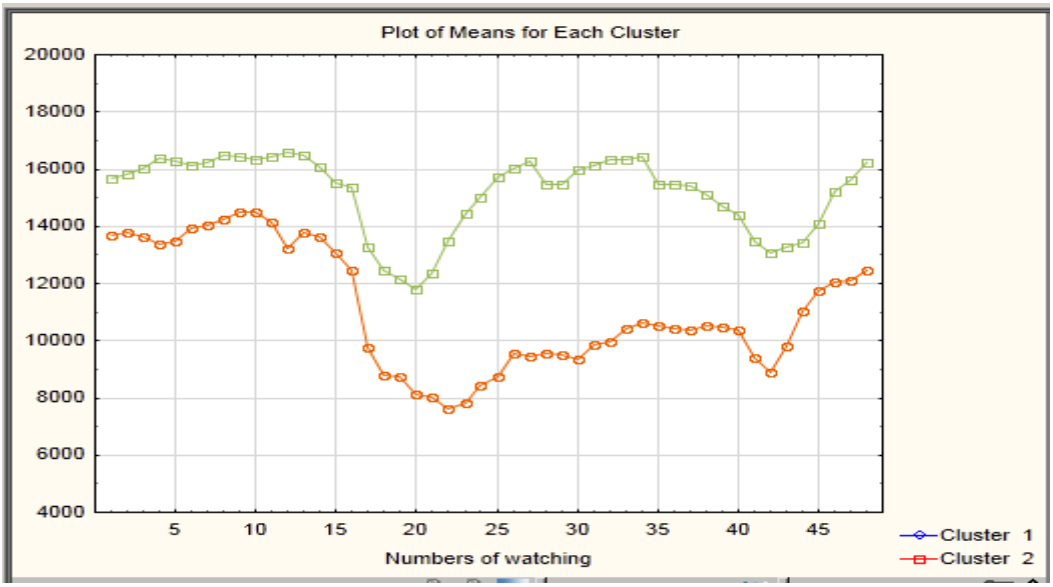


Рис.4. Кластери часового ряду електричного навантаження

Наступним кроком буде прогнозування всередині кластера. Наступна доба, згідно даних, отриманих від підприємства, буде відноситися до кластеру під номером 1. Провівши аналіз часового ряду на основі кластеру 1, і на його базі проводилося прогнозування. Для даного прогнозу MAPE склала 10,56%. Тобто, при розбитті нашої передісторії на 2 кластери помилка прогнозування зросла на 2,93%.

Далі з кожним кроком кількість кластерів збільшувалась на 1, і проводився аналіз зміни MAPE прогнозування. Кінцева кількість зіставила 8 кластерів (так як представлена передісторія з технічної сторони не дозволить розбиття на більшу кількість кластерів) Зводимо результати дослідження у табл.1. Результати досліджень наведено на рис.5:

Таблиця 1. Кількість кластерів і відповідні їм MAPE.

Кількість кластерів	**MAPE**
2	10,587
3	8,891
4	17,197
5	9,453
6	6,069
7	6,125
8	6,687

Згідно представленої таблиці бачимо різні скачки MAPE під час збільшення кількості

кластерів за період передісторії. Розбиття часового ряду включно до 5 кластерів не призводить до покращення точності прогнозування. Після розбиттям часового ряду на 6 кластерів, бачимо покращення точності прогнозування, на рис.5, у порівнянні із прогнозування без застосування кластерного аналізу.

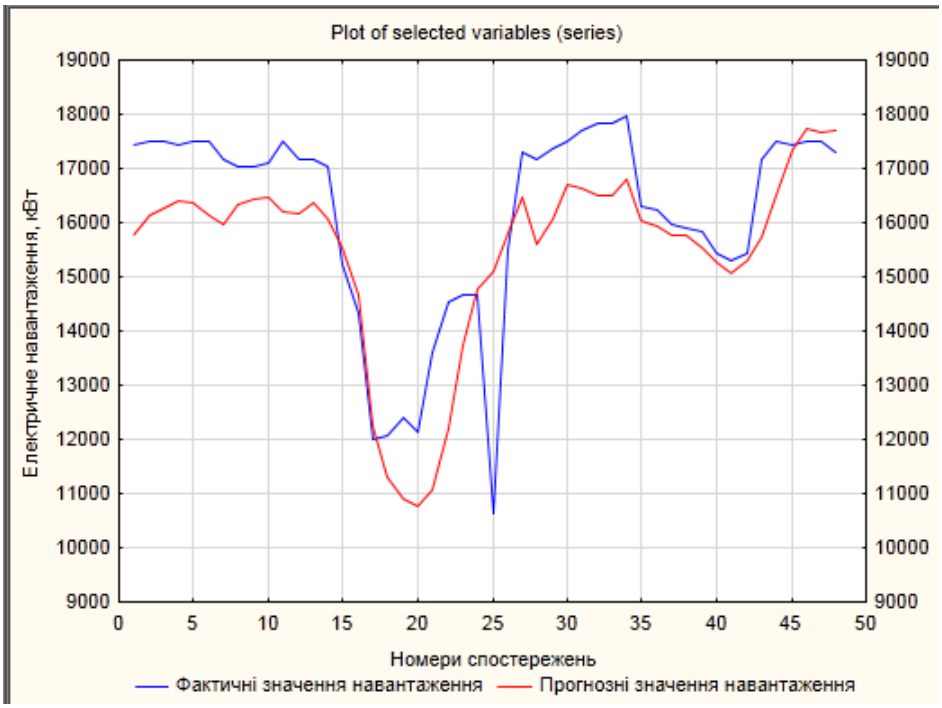


Рис.5. Результати прогнозування із розбиттям передісторії на 6 кластерів

Висновки

Таким чином, після проведеного дослідження можна сказати, що для даного підприємства, а також представленої передісторії є доцільним застосування кластеризації. Доведено та обгрунтовано раціональне використання розбиття нашого часового ряду на 6 кластерів, що призвело до зменшення MAPE із значення у 7,63% до 6,07%. Розбиття передісторії проводилося максимально лише на 8 кластерів, що зумовлено технічною стороною кластеризації - діапазоном передісторії. Проте не можна сказати, що і в подальшому буде доцільним застосування розбиття на 6 кластерів, адже можлива зміна режиму роботи підприємства, зміна технічного обладнання, кліматичних параметрів тощо. Тому слід проводити періодичні дослідження, які б стосувалися визначення раціонального числа кластерів для наявної передісторії електроспоживання.

Література

1. Про засади функціонування ринку електричної енергії України / Закон України // Офіційний сайт Верховної Ради України, 24.10.2013 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/663-vii

2. Праховник А.В., Коцар О.В. Методологія керування режимами електроспоживання в умовах енергоринку // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29784 від 05.08.2009р. – 16 с.

3. Коцар О.В. Застосування АСКОЕ для керування режимами електроспоживання в умовах функціонування ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2010 р. – С.97 – 102.

4. Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2011 р. – С.121 – 130.
5. Чугуева И. Два способа повысить точность прогноза // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.mbureau.ru/blog/dva-sposoba-povysit-tochnost-prognoza
6. A pattern recognition model for forecasting
7. A Computing Model of Artificial Intelligent Approaches to Mid - term Load Forecasting : a state - of - the - art - survey for the researcher
8. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компютере // Учеб. пособие – Москва, 2000 – 384с.
9. Кластеризация: метод k-средних // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.statistica.ru/theory/klasterizatsiya-metod-k-srednikh/
10. The art of forecasting demand // Global Energy Business. 2002. V. 4. № 2.
11. K-means // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://znaimo.com.ua/K-means
12. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учебное пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ФОРУМ, 2008. — 464 с. — (Высшее образование).
13. Everette S. Gardner, Jr., Exponential smoothing: The state of the art – Part II //2005 – 81c.

УДК 621.317

ГАЛАБІЦЬКИЙ П.М., *студент*, науковий керівник: **КОЦАР О.В.**, *к.т.н., доцент*
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»

ГАЛАБИЦЬКИЙ П.М., *студент*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА, НТУУ «КПІ»

GALABITSKYI P.M., *Student*, Research Supervisor: **KOTSAR O.V.,** *Ph.D., Ass. Prof.*
INSTITUTE OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT, NTUU «KPI»

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ПОТУЖНІСТЬ В УМОВАХ РИНКУ «ДОБА НАПЕРЕД»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ В УСЛОВИЯХ РЫНКА «СУТКИ НАПЕРЕД»

IMPROVE THE METHODS OF FORECASTING THE DEMAND FOR ELECTRIC POWER IN A MARKET «DAY AHEAD»

Анотація. *Достовірне прогнозування електроспоживання є невід'ємною умовою ефективного функціонування лібералізованих ринків електричної енергії. Відповідно до правил функціонування РДДБР кваліфіковані споживачі – суб'єкти ринку повинні щодобово узгоджувати з оператором ринку «доба наперед» плани погодинного електроспоживання наступної доби. Будь-які відхилення від узгоджених значень призведуть до неминучого збільшення вартості електроенергії для учасника ринку, який припустився таких відхилень. Тому завдання достовірного прогнозування попиту на електричну потужність є одним з першочергових в умовах запровадження в Україні РДДБР.*

Ключові слова: прогнозування, електричне навантаження, експоненціальне згладжування, модель, помилка.

Аннотация. *Достоверное прогнозирование электропотребления является неотъемлемым условием эффективного функционирования либерализованных рынков электрической энергии. Согласно правилам функционирования РДДБР квалифицированные потребители - субъекты рынка должны ежесуточно согласовывать с оператором рынка «сутки наперед» планы почасового электропотребления на сутки. Любые отклонения от согласованных значений приведут к неизбежному увеличению стоимости электроэнергии для участника рынка, который допустил такие отклонения. Поэтому задача достоверного прогнозирования спроса на электрическую мощность является одной из первоочередных в условиях внедрения в Украине РДДБР.*

Ключевые слова: прогнозирование, электрическая нагрузка, экспоненциальное сглаживания, модель, ошибка.

Annotation. *Significant forecasting electricity consumption is an essential condition for the effective functioning of the liberalized electricity market. According to the rules of functioning BCM&BM skilled consumers - market actors have saved continuously*

coordinate with the operator of "day ahead" market their plans hourly power consumption next day. All deviation from the agreed value will lead to an inevitable increase in the cost of electricity market participants, who had made such deviations. The task of reliably forecasting the demand for electrical power is a priority in terms of implementation in the Ukraine BCM&BM.

Keywords: forecasting, electrical load, exponential smoothing, model, error.

Мета досліджень

Дослідження факторів впливу на результати середньострокового прогнозування попиту на електричну потужність (електроенергію) з метою вдосконалення методів прогнозування електричного навантаження.

Вступ

Перехід до перспективної моделі конкурентного ринку електроенергії, а саме до ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР), безперечно зумовлює актуальність задачі підвищення точності та надійності середньострокового (на добу наперед) прогнозування сумарного електричного навантаження (СЕН) кінцевих споживачів електроенергії. Цю задачу доцільно розв'язувати через удосконалення математичних моделей, а також існуючих методів прогнозування, враховуючи вплив на СЕН таких технологічних факторів як:

- виробничі плани;
- технологічні режими функціонування струмоприймачів;
- характер роботи потужних струмоприймачів;
- плани ремонтів електротехнічного устаткування;
- інші фактори, що впливають на режими електроспоживання.

У більшості опублікованих робіт, присвячених проблемам прогнозування електричного навантаження, зокрема [1, 2], практично відсутня інформація щодо використання під час розв'язання завдань прогнозування надзвичайно важливих технологічних параметрів підприємств – кінцевих споживачів електроенергії. Під час прогнозування, зокрема, не враховуються планові ремонти електротехнічного устаткування, зміни у технологічних лініях, а також коливання структури та обсягів виробництва підприємства на інтервалі передісторії. Разом з тим такі коливання спричиняють змінення часового ряду значень електричного навантаження, тобто ряд розбивається на різні за довжиною і параметрами групи. Проведені дослідження показують, що неврахування цих параметрів на інтервалі передісторії привносить систематичну похибку до результатів прогнозування. Особливо це стосується пікових годин доби.

В роботі приділено увагу, зокрема, цій проблемі, а також удосконаленню ієрархічної багатофакторної математичної моделі електричного навантаження для вирішення завдань середньострокового прогнозування шляхом врахування впливу технологічних параметрів підприємства – кінцевого споживача електроенергії та інших впливаючих величин на режими електроспоживання. Додатково досліджено питання щодо вибору оптимальної довжини часового ряду (інтервалу передісторії).

Аналіз точності прогнозування електричного навантаження для обраного кінцевого споживача проводився на базі результатів прогнозування за методом експоненціального згладжування, який часто застосовується для середньострокового прогнозування [3]. Застосування цього методу суттєво скорочує терміни розрахунків та налаштувань самої

моделі [4]. Під час аналізу даних було використано 2688 початкових значень усередненого за 30-хвилинні інтервали електричного навантаження з 1.01 по 25.02 підприємства цементної промисловості, яке використовує сухий спосіб виробництва цементу.

При сухому способі виробництва подрібнені сировинні матеріали висушуються і подрібнюються. Отримана сировинна мука після коригування та усереднення до заданого хімічного складу обпалюється в обертових або шахтних печах. Під час виробництва цементу сухим способом застосовують такі потужні струмоприймачі, як обертові печі з циклонними теплообмінниками, обертові печі, печі з конвеєрними кальцинатором, печі без теплообмінних пристроїв, гранулятори, стрічкові конвеєри, млини. Особливістю сухого способу виробництва цементу, на відміну від мокрого – суттєва економія палива. Питомі витрати сировини залежать від його хімічного складу і зольності палива, і становлять 1,5 - 2,4 т на 1 т клінкеру. Витрати електроенергії на 1 т виробленого цементу складають в середньому 80 - 100 кВт*год. Часовий ряд значень електричного навантаження представлений на рис. 1.

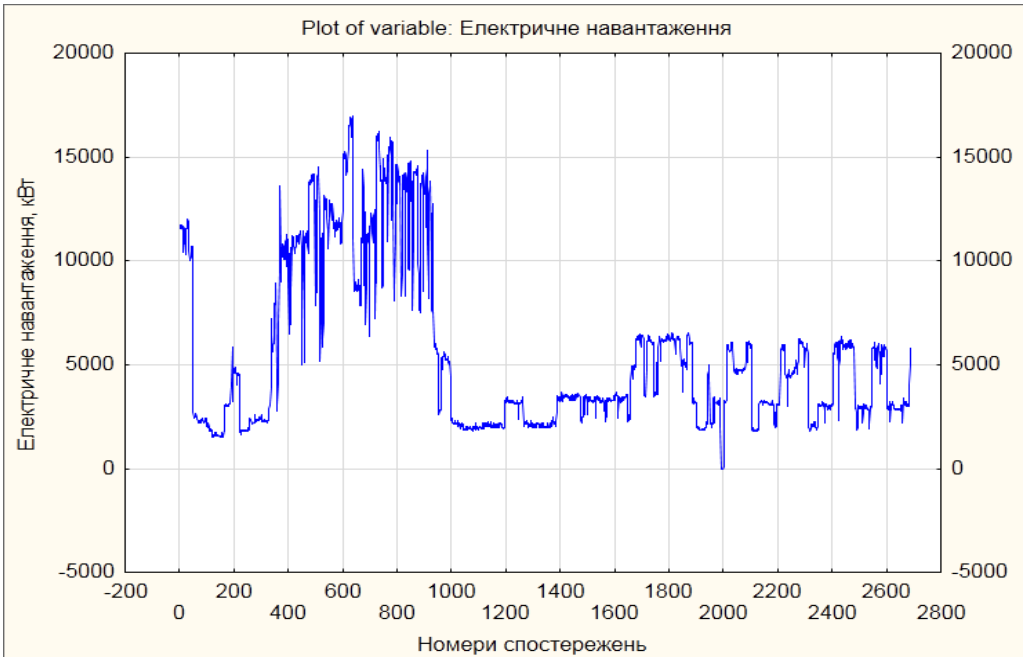


Рис. 1. Часовий ряд значень електричного навантаження

Виконаємо візуальний аналіз добових графіків електричного навантаження підприємства. На досліджуваному інтервалі підприємство працювало в різних режимах. Тому є доцільним розбиття часового ряду на окремі ділянки, які характеризуються власними, специфічними саме для них характеристиками. Це підприємство у період з 1.01 по 25.02 перейшло від режиму повного завантаження до режиму підтримки функціонування, для якого характерно лише підтримання сталої температури повітря в цеху, підтримка технологічного обладнання в роботоспроможному стані, а також споживання електричної енергії на господарські потреби.

Щоб вірно сформулювати передісторію, на базі якої буде здійснюватися прогнозування, виконаємо кластеризацію часового ряду [5]. На цей час відома величезна кількість алгоритмів кластеризації. Їхня різноманітність пояснюється не тільки різними обчислювальними методами, але й різними концепціями, що лежать в основі процедури

кластеризації [6].

Кластеризація виконана у програмному пакеті STATISTICA [4], який застосовується для статистичного аналіз, реалізує функції аналізу даних, керування даними, візуалізації даних із залученням статистичних методів.

В цьому дослідженні використовувався метод k- середніх [5]. Застосування саме цього методу обумовлено тим, що користувач задає число кластерів, а оскільки у представленого часового ряду електричного навантаження виявлено наявність трьох яскраво виражених режимів роботи підприємства протягом досліджуваного періоду, це скорочує час налаштування прогнозної моделі.

Результати кластерного аналізу наведено в табл.1 і на рис.2.

Таблиця 1 Результати кластерного аналізу

Cluster Number	Euclidean Distances between Clusters (Spreadsheet2) Distances below diagonal Squared distances above diagonal		
	No. 1	No. 2	**No. 3**
No. 1	0,000	41209920	86471860
No. 2	6419,496	0	8579337
No. 3	9299,024	2929	0

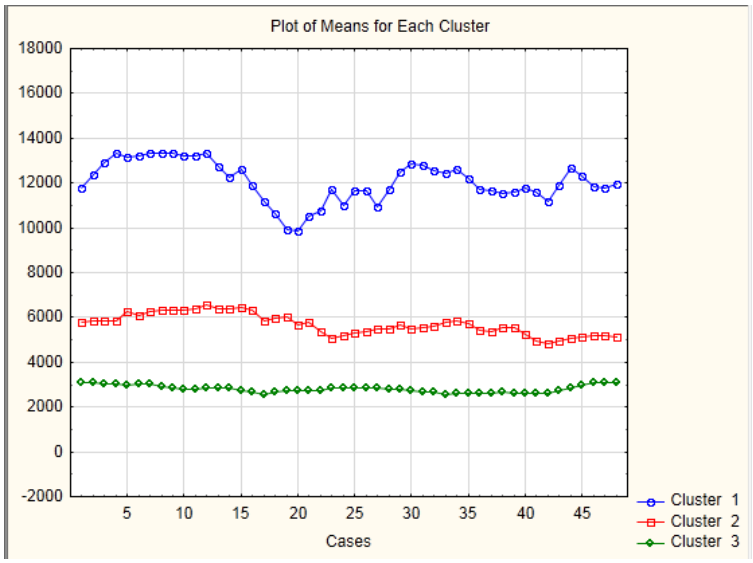


Рис.2. Розбиття на кластери часового ряду значень електричного навантаження

За результатами кластерного аналізу можна зробити висновки про розбиття наявного часового ряду значень електричного навантаження підприємства протягом досліджуваного періоду на три кластери із такими характеристиками:

— кластер 1 із середнім значенням в 12053 кВт*год;

— кластер 2 із середнім значення в 5963 кВт*год;

— кластер 3 із середнім значення в 3102 кВт*год.

Також після візуального аналізу тенденції, що наведена на рис.3, можна віднести наступну добу до кластеру 2. Тому з метою підвищення точності прогнозування подальше прогнозування здійснюватиметься на базі саме цього кластеру.

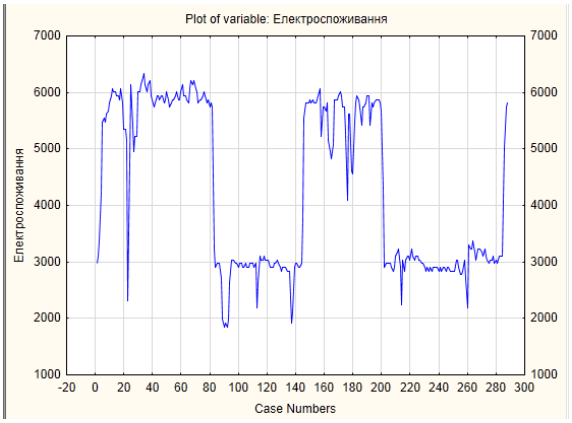


Рис. 3. Тенденція часового ряду значень електричного навантаження

Перейдемо безпосередньо до аналізу часового ряду електричного навантаження,, що сформований після кластеризації (кластер 2). Аналіз часового ряду електричного навантаження підприємства виявив певні його особливості. Ряд містить яскраво виражений добовий сезонний цикл тривалістю 24 періоди. Також спостерігаються цикли в межах доби тривалістю 8 і 12 періодів, що зумовлено характером технологічного циклу. Тижневий цикл тривалістю 168 періодів проявляється слабко, оскільки підприємство працює без вихідних. Крім того, ряд містить «провали», які виникли під час виведення в ремонт частини електротехнічного устаткування підприємства. Під час оброблення вихідних даних було згладжено провали із збереженням добового циклу.

Прогнозування за допомогою експоненціального згладжування здійснювалося в програмному пакеті STATISTICA [4]. Під час ідентифікації моделі, оцінюванні її параметрів і перевірки на адекватність за допомогою аналізу залишків був зроблений висновок про доцільне застосування сезонної моделі. В якості оцінки точності прогнозування використовувався традиційний показник MAPE (Mean Absolute Percentage Error – середня абсолютна відсоткова помилка) [4]:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|$$

де: A_t – фактичне значення ; F_t – прогнозне значення.

Перейдемо до результатів прогнозування. Середня абсолютна відсоткова помилка прогнозування за допомогою цього метода на досліджуваному часовому ряді значень електричного навантаження підприємства склала 15,3%. Результати порівняння прогнозних і фактичних значень наведено на рис.4.

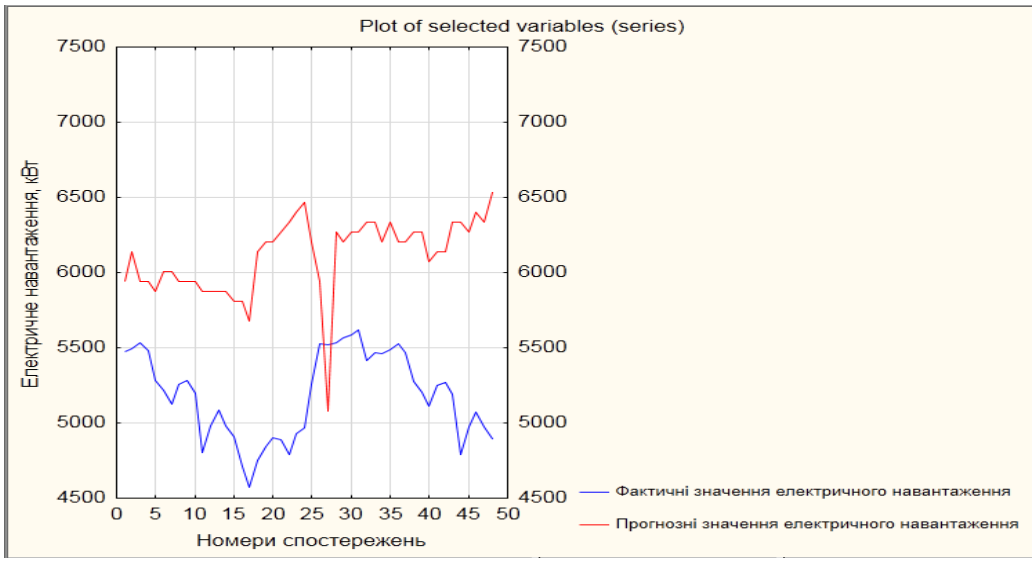


Рис.4. Порівняння прогнозних та фактичних значень електричного навантаження підприємства на добовому інтервалі часу

Звичайно, такі результати прогнозування є незадовільними. Але це можна пояснити тим, про що ми наголошували раніше – неврахуванням технологічних параметрів роботи підприємства на досліджуваному інтервалі часу. Розглянемо графік електричного навантаження підприємства в період з 23.02 по 26.02, який наведено на рис. 5.

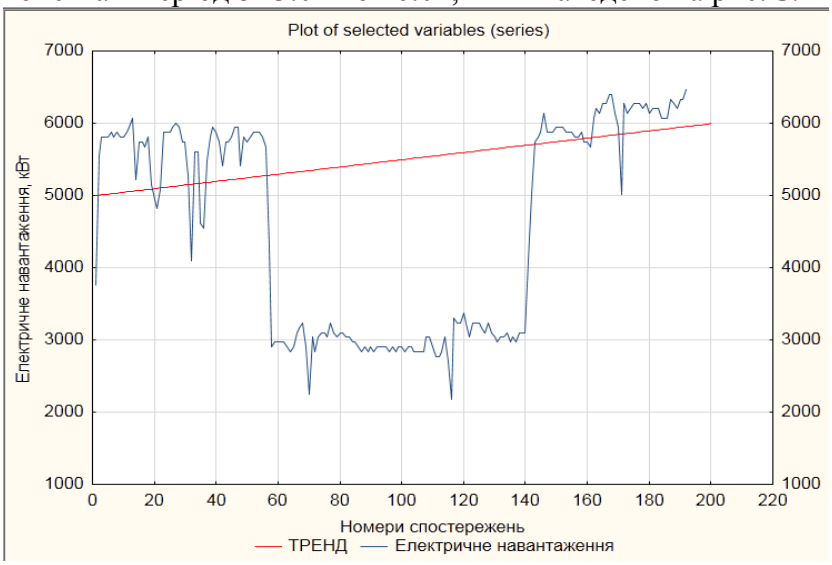


Рис.5. Графік електричного навантаження підприємства протягом досліджуваного періоду 23.02 по 26.02

Як видно з наведеного графіка, віднесення графіка навантаження за 26.01 до кластеру 2 виявилося вірним рішенням, і здійснювалось тільки на основі спостережень, без врахування технологічного режиму на наступну добу. Але цікаве те, що ми бачимо певне зростання загального рівня електричного навантаження, яке проявляється у присутності лінійного тренду (рис.5). Також помітний провал посеред робочого дня, який не відтворений прогнозною моделлю.

Проведемо коригування прогнозної моделі:

1. З метою вірного формулювання бази даних (БД) для прогнозування врахуємо запланований режим роботи підприємства наступної доби. На даному етапі була сформована БД передісторії, а також реалізована кластеризація із розбиттям часового ряду на 3 кластери. Це дозволило не здійснювати попередній аналіз усього інтервалу передісторії задля вивчення режимів роботи підприємства, а також робити припущення щодо режиму, у якому буде працювати підприємство наступної доби.
2. Врахуємо лінійне збільшення загального навантаження підприємства. Після отримання інформації від підприємства про те, що воно буде плавно переходити до режиму повного завантаження, було скориговано прогнозну модель – додано лінійний тренд. Це призвело до зменшення середньої абсолютної відсоткової помилки прогнозування до 7,21%.
3. Врахуємо вплив погодних умов на залишкову компоненту часового ряду. Також була проведена сезонна декомпозиція часового ряду із подальшим аналізом залишкової компоненти з метою виявлення її зв'язку із погодними умовами. Була побудована регресійна модель залишкової компоненти, що вкінці додавалась до результатів прогнозування. Це призвело до зменшення середньої абсолютної відсоткової помилки прогнозування до 5,5 %.
4. Внесемо поправку результатів прогнозування у зв'язку із можливим проведенням ремонту електротехнічного устаткування.

Також було отримано інформацію щодо планового відключення цементного млину у період із 12.00 до 13.00 з метою перевірки його технічних параметрів, що не було враховано у попередній моделі. Це дозволило знизити середню абсолютну відсоткову помилку прогнозування до 4,86%. Результати прогнозування наведено на рис. 6.

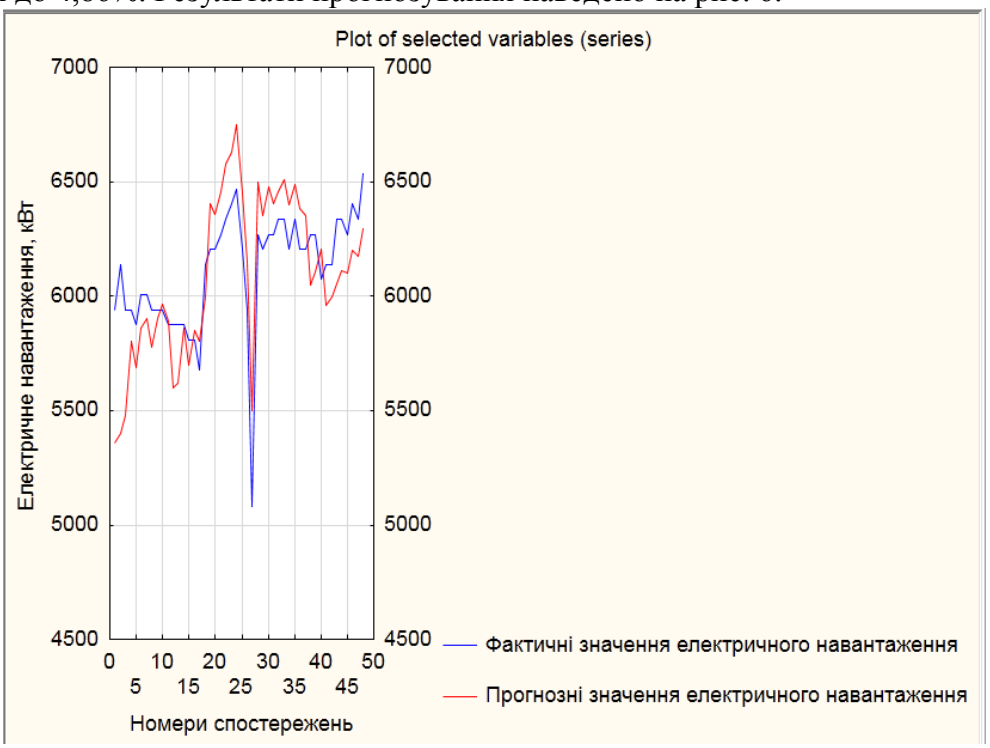


Рис.6. Порівняння прогнозних та фактичних значень електричного навантаження підприємства на добовому інтервалі часу після коригування прогнозної моделі

Висновки

Середня абсолютна відсоткова помилка прогнозування після коригування параметрів

прогнозної моделі на досліджуваному часовому ряді значень електричного навантаження підприємства за вищезазначеними параметрами склала 4,86%. Після внесення вищевказаних коригувань вдалося зменшити помилку прогнозування на 10,44%. За одержаними результатами можна стверджувати, що для підвищення точності і достовірності прогнозування необхідно:

- Заздалегідь володіти інформацією щодо того, в якому режимі буде працювати підприємство наступної доби, аби вірно сформулювати БД для прогнозування.
- Заздалегідь володіти інформацією щодо збільшення виробничих потужностей підприємством, або навпаки їхнього зниження.
- Мати плани ремонтів електротехнічного устаткування.
- Мати прогнозні значення факторів, що впливають на режими електроспоживання

Література

1. Н.Э.Готман , Г.П.Шумилова, Т.Б.Старцева «Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. Сыктывкар 2008г.
2. Everette S. Gardner, Jr., Exponential smoothing: The state of the art – Part II //2005 – 81c.
3. Черненко П. О., Мартинюк О. В, Заславський А. І. Моделювання і прогнозування електроспоживання та екстремальних значень електричного навантаження енергооб'єднання. – Енергетика та електрифікація. – 2009. − №11. − С. 24–34.
4. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компютере // Учеб. пособие – Москва, 2000 – 384с.
5. Галабіцький П.М., Коцар О.В. «Підвищення точності прогнозування навантаження споживачів електричної енергії»
6. Сети STATISTICA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.statsoft.ru/tv/screen-video/neural-networks/.

УДК 620.91: 620.92

Б.І. БАСОК (докт.техн.наук, проф.)[1], **М.С. ЖОВНІР** (магістрант)[2], **І.Г. ЗАСЕЦЬКИЙ**[1].
[1] Інститут технічної теплофізики НАН України
[2] Національний технічний університет України «КПІ»

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Б.И. БАСОК (докт.техн.наук, проф.)[1], **М.С. ЖОВНЕР** (магистрант)[2], **И.Г. ЗАСЕЦКИЙ**[1].
[1] Институт технической теплофизики НАН Украины
[2] Национальный технический университет Украины «КПИ»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

B.I. BASOK (Dr.Sci.Tech., prof.)[1], **M.S. ZHOVNER** (master student)[2], **I.G. ZASETSKIY**[1].
[1] Institute of Engineering Thermophysics of NASU
[2] National Technical University of Ukraine "KPI"

POWER SUPPLY OF HOUSES BASED ON RENEWABLE SOURCES

В статті наведені можливі шляхи електрозабезпечення житлових будинків на основі відновлюваних джерел енергії. Представлені чисельні характеристики в області відновлюваної енергетики та надано стислий огляд електрогенеруючого обладнання на українському та світовому ринках.

В статье приведены возможные пути электроснабжения жилых домов на основе возобновляемых источников энергии. Представлены численные характеристики в области возобновляемой энергетики, приведен краткий обзор электрогенерирующего оборудования на украинском и мировом рынках.

The article presents possible ways of power supply residential buildings based on renewable energy sources. Represented numerical characteristics in the area of renewable energy and provided a brief overview of some power generation equipment for Ukrainian and international markets.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, альтернативні джерела енергії, енергоефективний будинок, будинок «нуль енергії».

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, альтернативные источники энергии, энергоэффективный дом, дом «ноль энергии».

Keywords: renewable energy, alternative energy sources, energy-efficient house building " a zero-energy building ".

Вступ. Прагнення досягти економії енергоносіїв органічного походження при одночасному зменшенні впливу на навколишнє середовище, особливо в умовах глобального потепління клімату, спонукає до пошуків нових підходів в будівництві енергоефективних будівель і споруд. Одним з таких підходів є створення будинків «нуль енергії» («a zero-energy building») та використання для їх живлення відновлюваних джерел.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є створення ефективної системи електрозабезпечення будинку на основі відновлюваних джерел. Для досягнення зазначеної мети було проаналізовано світову практику використання відновлюваних та альтернативних джерел в системах електрозабезпечення будівель; здійснено огляд альтернативних джерел світових та українських виробників; запропоновано ефективну схему електрозабезпечення будинку на базі відновлюваних та альтернативних джерел.

Аналіз втрат теплової енергії, за даними МЖКГ України, наглядно демонструє, що в будівлях втрачається 30-45%, при транспортуванні по зовнішнім системам – 15-25%, втрати

на котельнях складають до 15%. Найбільша частина втрат припадає на будівлі. Крім того, на цей сектор припадає до 24% викидів парникових газів. У європейських країнах ведеться послідовна політика підвищення енергоефективності будівель. Про це свідчить, зокрема, визначення для будівлі максимальної допустимої величини споживання енергії на рік. У 1997 році вона становила 180-200 кВт×год/м^2, в 2002 – 100-140 кВт×год/м^2, в 2006 – 75-100 кВт×год/м^2 (нині прийнято для України). Однак, підвищення енергоефективності будівель різного призначення є недостатнім при існуючих тенденціях зміни клімату, зростання цін на первинні енергоносії та підвищення вимог до мікроклімату приміщень, де люди живуть і працюють. Близько 90% свого часу людина проводить в будівлях. При цьому 30% будівель в Європі не забезпечують здоровий мікроклімат.

Одним із шляхів комплексного вирішення проблеми енергоефективності будівель та інженерних систем їх енергозабезпечення є створення будівель з нульовим енергетичним балансом (будівля «нуль енергії»). У 2010 році Європейська комісія та Парламент переглянули Директиву енергетичного функціонування будівель. Відповідно до нової редакції, після 2019 року всі адміністративні будівлі повинні бути «з майже нульовим споживанням енергії» («Nearly Zero Energy Buildings»). Будівля «з майже нульовим споживанням енергії» це – будівля, яка має дуже низькі потреби в енергоспоживанні, які значною мірою покриваються енергією від відновлюваних джерел на місці або поблизу від об'єкта.

На сьогоднішній день продовжує зростати актуальність використання відновлюваних джерел енергії для електрозабезпечення житлових будівель, в тому числі і для України. Для кліматичних умов України найбільш характерним є використання сонячної та вітрової енергетики, як найбільш зручних та економічно доцільних способів генерації електричної енергії.

Найбільш ефективною схемою електрозабезпечення будинку в кліматичних умовах України є гібридна схема живлення сонце-вітер (рис. 1).

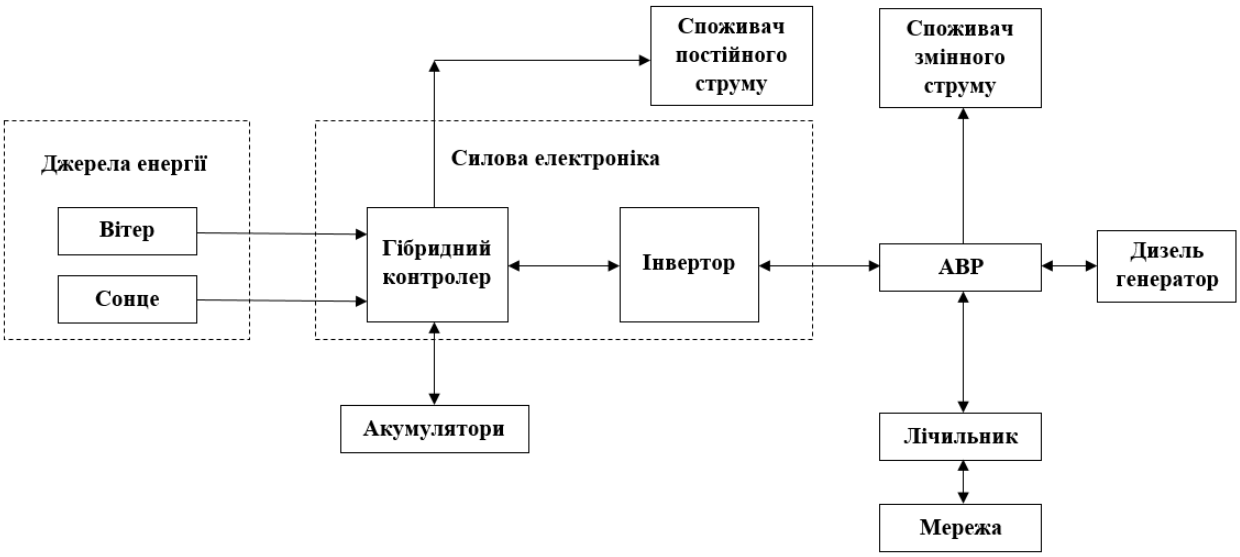


Рисунок 1 – Принципова схема електрозабезпечення на базі відновлюваних джерел енергії

Схема зображена на рис.1 дозволяє створити повністю автономну систему. Коли є сонце, зазвичай рідко дме сильний вітер. І навпаки, коли є сильний вітер – рідко світить сонце. Також вітер, на відміну від сонця, дме і вночі. Тому така система дозволяє

здійснювати практично безперебійне живлення за рахунок відновлюваних джерел енергії. Для резервування також можна підключити ще АВР та дизель-генератор, тоді система буде практично повністю безперебійна. При комбінуванні різних джерел енергії в одній системі виникає можливість побудувати таку систему електропостачання, яка необхідна за показниками потужності, безперебійності та ціни.

При використанні вітроустановок в житловому секторі слід враховувати, що при висоті щогли більше 30 м необхідні спеціальні дозволи для роботи агрегату. Висоту щогли трохи менше 30 м можна вважати оптимальною для встановлення вітроагрегатів малої потужності так, як зі зміною висоти вартість щогли, установки вітроагрегату, як і збільшення виробітки електричної енергії, зростає нелінійно.

На теперішній момент, хоча економічно доцільно використовувати вітроенергетичні установки великої потужності, ринок вітрогенераторів невеликої номінальної електричної потужності (2-20 кВт) представлений великою кількістю виробників. Що стосується українського ринку, найбільш типовими виробниками горизонтальних вітроустановок малої потужності є: Flamingo, Windelectric, Winder, Eurowind. Серед закордонних виробників, станом на 2013 рік, можна виділити: ARI Green Energy, Aeolos Wind Turbine, Aerosmart, Aircon, Alterm Power Limited, Aventa, Bergey Windpower, Braun Windturbinen GmbH, Craftskills, Eagle Windpower OY, Earth Tech Energy Systems, East Wind Power, Easy Wind, EC Industry Group, Eoltec, EOLYS Ressources et Energies, Evance Wind, First Renewable Energy Group Limited, First Wind Turbine Manufacturing, FlexiEnergy, Fortas Windenergy, Hannevind Vindkraft, Hopeful Wind Energy Technology, HPM America, Huamin Wind Power, Huaya, Kestrel Wind Turbines, Moratec, Nikko, Proven Energy,Prowin, Qingdao Longteng Energy Equipment, Qingdao Zeyu Wind Generator, Redriven Power Inc., Renewable Engineered Systems, Senwei Energy Technology, Sonkyo Energy, SUN ECO Solar&Wind Power, Tairui Windpower, The Windfactory, Ventera Energy Corp, Wind Turbine Industries.

За даними JRC European Commission на території України середній сумарний річний прихід сонячної інсоляції складає близько 1400 кВт×год/м^2 (максимальний прихід сонячної інсоляції на Землі складає 2500 кВт×год/м^2). Зелений тариф, встановлений НКРЕ України для приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання об’єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та/або фасадах будинків, будівель та споруд, величина встановленої потужності яких не перевищує 10 кВт, та введені в експлуатацію з 01 квітня 2013 року по 31 грудня 2014 року – 389,34 коп/кВт×год (без ПДВ). З цього можна зробити висновок, що Україна має великі перспективи розвитку сонячної енергетики. Найбільш характерними для українського ринку є сонячні модулі китайського виробника ET Solar.

В Інституті технічної теплофізики НАН України здійснюється зведення об’єкту експериментального будівництва – експериментальний стенд: «Енергоефективний будинок «нуль енергії»» з використанням джерел відновлюваної енергетики. Метою даної роботи є розробка концептуальних підходів, інноваційних технічних рішень і на їх основі створення системи електрозабезпечення експериментального будинку пасивного типу загальною площею до 300 м^2 на території ІТТФ НАН України, і доведення цього будинку до рівня будинків типу «0-енергії» для клімату м.Києва. Завдання проекту - визначення енергетично та економічно доцільного комплексу заходів з оптимізації енергоспоживання будівлі до рівня західноєвропейського будинки типу. «0-енергії», а в подальшому реалізація створення «розумного» будинку і реалізація будинку як Micro Smart Grid 0-Energy системи.

Юридичний статус створеної експериментальної будівлі - це повномасштабний (4 поверхи, п'ятий поверх - горище, опалювальна площа - 266,6 м^2) лабораторно-промисловий стенд для перевірки в реальних кліматичних умовах як окремих будівельних конструкцій,

так і всієї будівлі в цілому, а також сучасних систем енерго- та ресурсозабезпечення. По суті це науково-технічна та технологічна лабораторія теплофізичного та енергетичного профілю для дослідження динаміки експлуатації окремих будівельних матеріалів, окремих будівельних конструкцій і всієї будівлі в цілому, а також тривалого моніторингу експлуатації інженерних систем енергозабезпечення, головним чином на основі відновлюваних та альтернативних енергоресурсів.

В експериментальному будинку реалізуються системи постачання екологічно чистої енергії відновлювальних джерел, перспективні технології автоматизації та інформатизації. Кут нахилу даху будинку 33°. Для Києва кут максимальної річної виробітки становить 35°.

Фото побудованого будинку представлено на рис. 2.

а **б**

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд експериментального будівлі на стадії його будівництва (а) і після термомодернізації (б).

Система електроживлення будівлі складається з двох основних блоків - сонячної електростанції та вітроагроегату. Блок-схема автономної сонячної електростанції встановленою потужністю 10,7 кВт представлена на рис. 3.

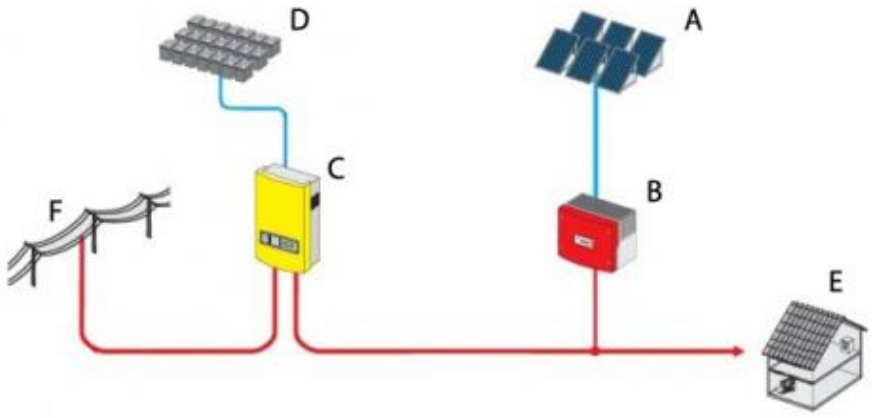


Рисунок 3 – Блок-схема автономної сонячної електростанції

Основними елементами сонячної системи є: фотопанелі (A), інвертор фотопанелей (B), акумуляторні батареї (D) і акумуляторний інвертор (C).

Сонячне випромінювання непостійне в часі, тому виробіток фотопанелей (A) не

завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії та використання її у випадках коли споживання перевищує виробіток використовують акумуляторні батареї (D).

У цій системі фотопанелі (A) підключаються до інвертора (B), генеруючого електроенергію в загальну електричну мережу споживача (E). Ця енергія може використовуватися як безпосередньо споживачами так і витрачатися на зарядку акумуляторних батарей (D) інвертором (C) у разі надмірного вироблення.

Для забезпечення електроенергією системи опалення та накопичення статистичних даних щодо виробітку електроенергії з кристалічних і тонкоплівкових модулів заплановано встановити на скатній покрівлі 22 полікристалічні фотомодулі потужністю 240 Вт і 60 тонкоплівкових фотомодулів з телуриду кадмію потужністю 80 Вт. Розрахунок виробітку сонячної станції виконаний у програмі PVSyst по метеорологічними даними Meteonorm.

Результати розрахунку вироблення наведені в табл. 1. На рис. 4 представлено графік виробітку електричної енергії сонячною електростанцією.

Таблиця 1 – Результати розрахунку виробітку електричної енергії сонячною станцією

	Горизонт. інсоляція, кВт×г/м^2	Температура повітря, С	Інсоляція на 30^0, кВт×г/м^2	Енергія з фотомодулів, кВт×г
Січень	28,0	-4,20	42,4	339
Лютий	48,0	-3,70	70,4	596
Березень	88,0	1,90	109,6	947
Квітень	122,0	8,50	135,7	1163
Травень	185,0	15,20	191,6	1621
Червень	178,0	18,00	176,0	1470
Липень	176,0	19,10	175,6	1459
Серпень	156,0	18,50	170,0	1418
Вересень	101,0	14,10	119,9	999
Жовтень	67,0	8,00	95,5	802
Листопад	29,0	1,30	40,3	317
Грудень	21,0	-2,00	32,6	247

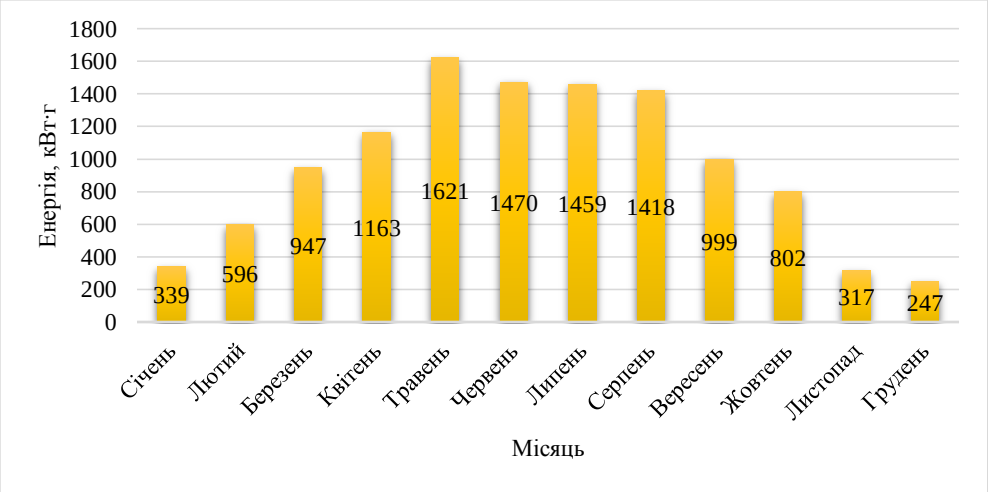


Рисунок 4 – Графік виробітку електричної енергії сонячною електростанцією

Дана система відрізняється високою гнучкістю і масштабованістю, можливістю

підключення будь-яких джерел змінного струму і ефективністю використання сонячної енергії завдяки застосуванню інвертора з високою вхідною напругою (порядку 600 В) і технологією відслідковування точки максимальної потужності в інверторі.

Встановлена потужність станції: 10,7 кВт. Станція розрахована на середнє добове споживання 11 кВт×год. Сумарна ємність акумуляторів: 33,6 кВт×год. Потужність інвертора: 10 кВт.

Для перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного струму напругою 48В для заряду акумуляторних батарей пропонується використання вітрогенератора Fortis Montana встановленою потужністю 5кВт з вбудованим контролером заряду свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Характеристики вітрогенератора наведені нижче:

- Номінальна потужність – 4 кВт;
- Вихідна напруга – 380/220В три фази;
- Стартова швидкість вітру – 2,5 м/с;
- Номінальна швидкість вітру – 8м/с;
- Діаметр вітроколеса – 6,7 м;
- Орієнтація по вітру за допомогою кіля;
- Навітряне положення відносно щогли;
- Висота щогли – 30м.

Розрахунок виробництва електричної енергії вітрогенератором Fortis Montana, встановленим у Києві на висоті 30м, надано Інститутом відновлювальної енергетики.

Таблиця 2 – Результати розрахунку виробництва електричної енергії вітрогенератором

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Енергія кВт×год	300	247	507	283	330	249	205	286	156	261	255	390

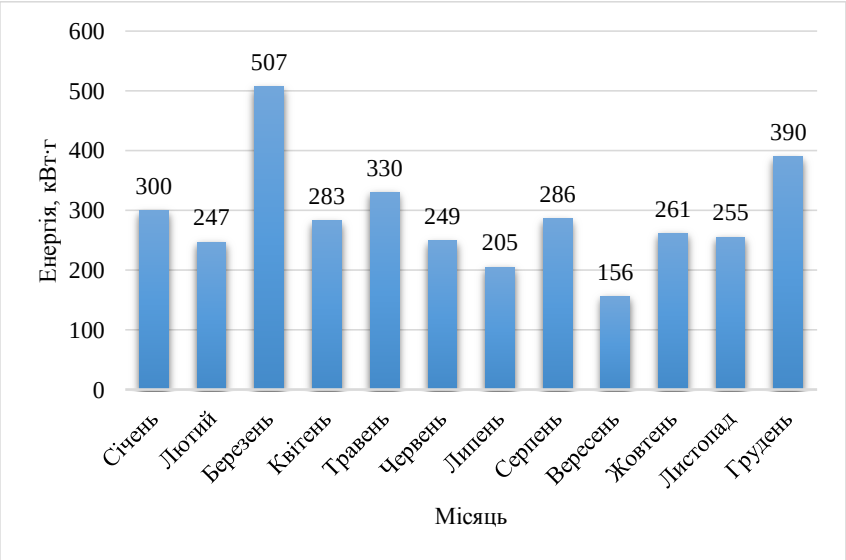


Рисунок 5 – Графік виробітку електричної енергії вітрогенератором

Діаграма розподілу загального виробництва електроенергії гібридною системою (сонячна станція і вітроенергетична установка типу Fortis 5 кВт) в [кВт×год] представлена на рис. 6.

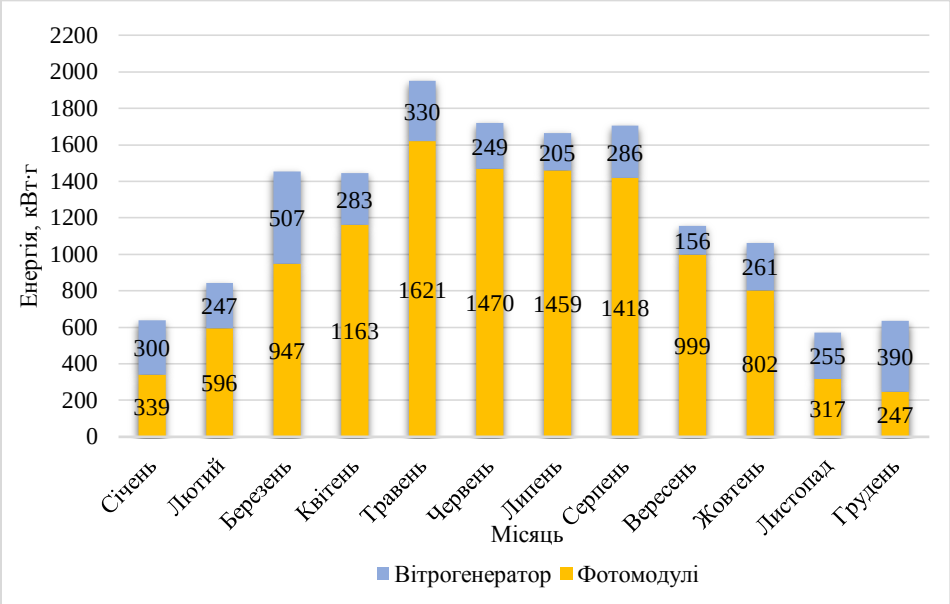


Рисунок 6 – Графік загального виробництва електроенергії сонячною станцією та вітрогенератором

Висновки

Схема електропостачання на базі відновлюваних джерел енергії є достатньо простою, тому при належному менеджменті і достатньому рівні розвитку ринку стане можливим поступово частково заміняти традиційні електрогенеруючі потужності альтернативними, включаючи і житловий сектор.

Дуже важливим при створенні системи електропостачання є правильний підбір обладнання, перш за все виходячи з його техніко-економічних показників, з подальшим намаганням повністю використати весь наявний місцевий потенціал навколишньої відновлювальної енергії.

Створення будинку «нуль енергії» в кліматичних умовах України покаже принципову можливість будівництва об'єктів з нульовим енергетичним балансом. Експлуатація такого будинку дозволить отримати велику кількість науково-практичної інформації для вчених, будівельників, робітників житлово-комунального господарства для створення енергоефективних будівель різного призначення, та покаже доцільність використання джерел відновлюваної енергетики на території України.

Література

1. Долінський А.А., Басок Б.І., Недбайло О.М., Бєляєва Т.Г., Хибина М.А., Ткаченко М.В., Новіцька М.П. Концептуальні основи створення експериментального будинку типу «нуль енергії» // «Будівельні конструкції», збірник наукових праць, вип.77 (2013), с. 222-227.

2. Басок Б.И., Недбайло А.Н., Хибина М.А., Беляева Т.Г. Дом «ноль энергии» на основе использования альтернативных и возобновляемых источни-ков энергии// Украина-Россия-Сколково, Единое инновационное пространство, Материалы Международной конференции, 22-23 мая 2013 года, Киев, Украина, с. 99.

3. Засецкий И.Г., Жовнер М.С. Электрообеспечение объектов жилищного сектора на базе возобновляемых источников энергии // «Промышленная теплотехника, 7, том 35 (2013), с.236-240.

УДК 628.97

Ю.О. Грищук, О.І. Соловей

ВИБІР СВІТЛОДІОДНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ПТАШНИКА
ВЫБОР СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПТИЧНИКА
RANGE OF LED LIGHTING POULTRY HOUSE

У статті розраховано загальне та локальне світлодіодне освітлення для технологічного освітлення пташника. Проведено вибір між загальним і локальним видами освітлення на основі економічних показників.

Ключові слова: загальне та локальне освітлення, світлодіоди, точковий метод розрахунку, капіталовкладення, спожита енергія.

В статье рассчитано общее и локальное светодиодное освещение для технологического освещения птичника. Проведен выбор между общим и локальным освещением на основании экономических показателей.

Ключевые слова: общее и локальное освещение, светодиоды, точечный метод расчета, капиталовложения, потребляемая энергия.

This article is intended general and local lighting LED lighting technology for poultry house. A choice between the general and local lighting types on the basis of economic indicators.

Keywords: general and local lighting, LEDs, point calculation method, investment, energy consumed.

Вступ. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках всіх країн світу, не тільки передових, але й тих, що розвиваються, має виняткове значення. При цьому від успіхів у рішенні цієї проблеми багато в чому залежить майбутнє людської цивілізації не тільки у зв'язку з поступовим вичерпуванням паливних копалин, що йдуть на виробництво електроенергії, але й швидко відбувається забруднення навколишнього середовища викидами в атмосферу шкідливих речовин (діоксидів вуглецю й сірки, а також ртуті), утворених в результаті спалювання палива при виробництві електроенергії. У цей час на електричне освітлення доводиться приблизно 13% всієї виробленої електроенергії, значна частина освітлення доводиться на не ефективні лампи розжарювання.

Інтенсивна технологія виробництва яєць птахів неминуче призводить до ізоляції птиці від природного середовища і утримання її в без віконних пташниках з регульованим внутрішнім мікрокліматом. Тому птахівництво без перебільшень стало найбільш енергоємною галуззю тваринництва, при цьому одним з найбільш енергоємним технологічним процесом є освітлення, на яке витрачається до 50% спожитої електроенергії [1].

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є вибір системи освітлення на основі економічних показників. Завданням дослідження є розрахунок системи освітлення та вибір більш економічної на основі економічних показників, таких як, початкові капіталовкладення та витрати на електроенергію.

Результати досліджень. Розрахунок системи освітлення будемо проводити на основі точкового методу. Загальне локалізоване освітлення, а також загальне рівномірне при наявності суттєвих затінень повинні розраховуватись за точковим методом. Цей же метод використовується при розрахунку освітленості похилих площин та відкритих просторів, а також місцевого освітлення. Дозволяє проводити розрахунок для будь-якої точки. Відбита складова освітленості у точковому методі враховується наближено.

Точковий метод розрахунку освітлення є обов'язковим для розрахунку освітленості негоризонтальних поверхонь, загального локалізованого, евакуаційного, місцевого і зовнішнього освітлення. Він дозволяє розраховувати світловий потік джерела світла,

світильника, ряду світильників [2].

Існує дві інтерпретації методу:

1. Точковий метод з використанням просторових ізолюкс. Використовується для розрахунку від точкових джерел світла (ЛР, ДРЛ, МГЛ), лінійних джерел світла довжина яких не перевищує половини висоти підвісу лампи;
2. Точковий метод з використанням лінійних ізолюкс. Використовується для розрахунку освітлення від лінійних джерел світла довжина яких перевищує половини висоти підвісу лампи.

Розрахунок загального освітлення. Для розрахунків приймаємо типовий пташник, який має розміри 18 х 96 м. З яких на виробничу площу припадає 1566 м^2, площа службових приміщень складає 108 м^2, а площа калориферних – 54 м^2. Стіни – цегла, підлога – бетон, покрівля – шифер. На рисунку 1 зображений спрощений план пташника.

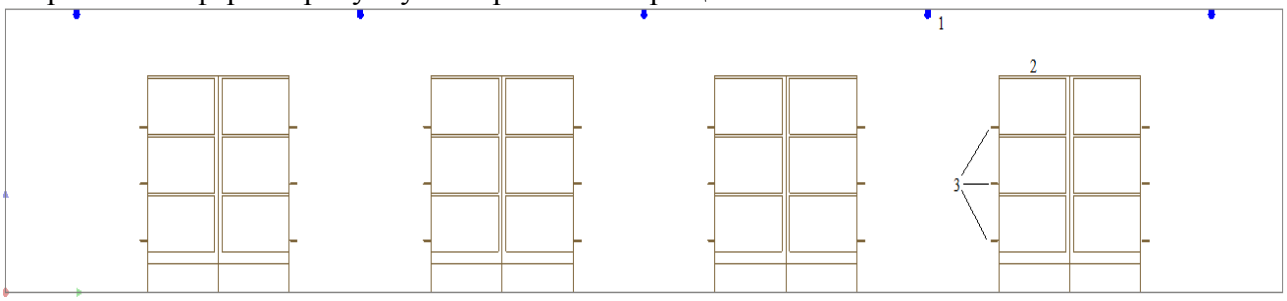


Рисунок 1 – Спрощений план пташника: 1 – ряд світильників, 2 – клітинна батарея, 3 – годівниці

Оскільки клітинні батареї мають висоту 2,2-2,4 м, то можливо розглядати лише 1 секцію. За технологічними вимогами необхідного забезпечити освітленість 50 лк на годівниці нижнього ярусу, яка знаходиться на висоті 0,55 м від підлоги, перпендикуляр від проекції лампи до контрольної точки 1 м. Схематичне розміщення світильників показано на рисунку 2.

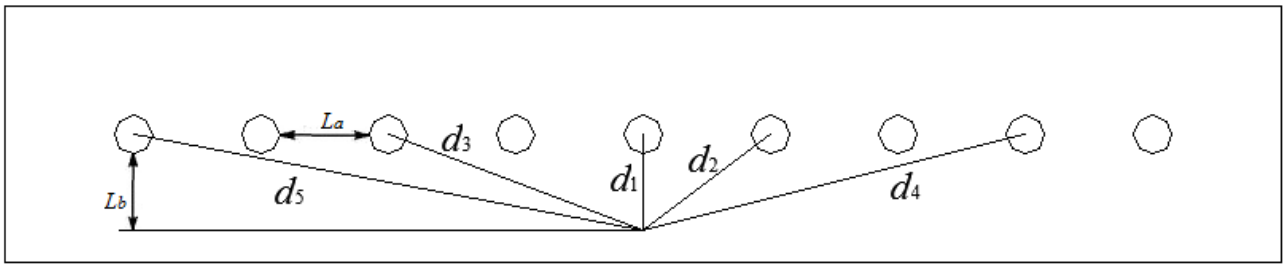


Рисунок 2 – Схематичне розміщення світильників

Відстань між світильниками у ряді:

$$L_a = h \cdot \lambda_e,$$

де λ_e – еквівалентний коефіцієнт, для косинусної кривої сили світла приймається λ_e = 0,96 [3].

Отже

$$L_a = 2,45 \cdot 0,96 = 2,352 \text{ м}.$$

Приймаємо L_a = 2,5 м.

Знайдемо відстані від проекцій світильників до контрольної точки:

$$d_1 = L_b,$$

$$d_2 = \sqrt{L_a^2 + L_b^2},$$

$$d_3 = \sqrt{2 \cdot L_a^2 + L_b^2},$$
$$d_4 = \sqrt{3 \cdot L_a^2 + L_b^2},$$
$$d_5 = \sqrt{4 \cdot L_a^2 + L_b^2}.$$

Отже:

$$d_1 = 1\text{м},$$
$$d_2 = \sqrt{2,5^2 + 1^2} = 2,7\text{ м},$$
$$d_3 = \sqrt{2 \cdot 2,5^2 + 1^2} = 3,7\text{ м},$$
$$d_4 = \sqrt{3 \cdot 2,5^2 + 1^2} = 4,4\text{ м},$$
$$d_5 = \sqrt{4 \cdot 2,5^2 + 1^2} = 5,1\text{м}.$$

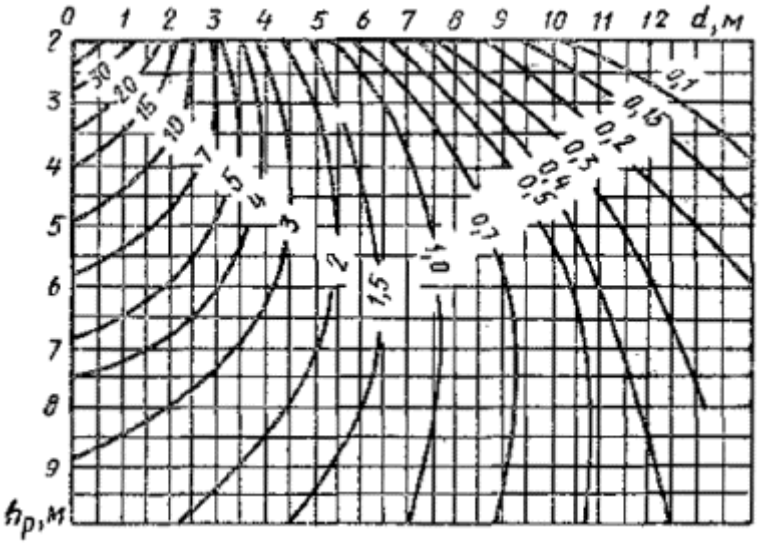


Рисунок 3 – Криві просторових ізолюкс

Маючи значення d, а також значення висоти підвісу світильників h = 2,45 м, згідно кривих просторових ізолюкс (рисунок 3), отримаємо:

$e_1 = 25$ *лк,* $e_2 = 12$ *лк,* $e_3 = 6$ *лк,* $e_4 = 3$ *лк,* $e_5 = 2$ *лк.*

Сумарна освітленість:

$$\sum e = e_1 + 2 \cdot e_2 + 2 \cdot e_3 + 2 \cdot e_4 + 2 \cdot e_5,$$
$$\sum e = 25 + 2 \cdot 12 + 2 \cdot 6 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 71\text{лк}.$$

Визначаємо світловий потік:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_{min} \cdot K_з}{\mu \cdot \sum e},$$

де $E_{min} = 50$ лк – мінімальна освітленість,

$K_з$ – коефіцієнт запасу, приймаємо $K_з = 1,1$[4],

μ - коефіцієнт додаткової освітленості $\mu = 1,2$.

Отже:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1,1}{1,2 \cdot 71} = 645,54\text{ лм}.$$

Приймаємо світильник PHILIPS WT120C LED18S/830 PSU L600, з параметрами:
потужність $P = 7$ Вт,
світловий потік $Ф_л = 650$ лм,
термін служби $T = 50000$ год,
ціна $Ц = 1200$ грн.

Умова перевірки на світловий потік лампи :

$$0{,}9Ф_, \leq Ф_{л,} \leq 1{,}2Ф_,$$
$$580{,}99 \leq 650 \leq 774{,}65.$$

Умова перевірки виконується.

$$N_{св} = \frac{L}{L_а},$$
$$N_{св} = \frac{80}{2{,}5} = 32.$$

Для рівномірного освітлення по всій довжині пташника необхідно встановити 32 світильників.

Локальне освітлення. Під локальним освітленням розуміють розміщення світильників безпосередньо над годівницями на висоті 0,5 м. Розрахункова схема представлено на рисунку 4.

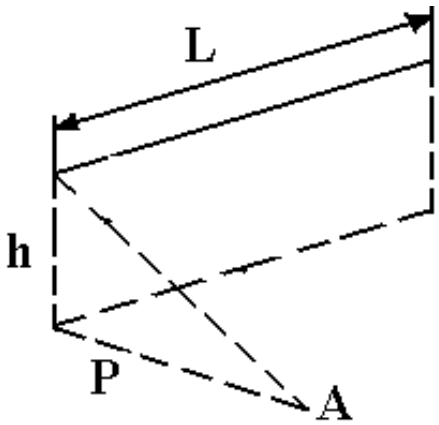


Рисунок 4 – Розрахункова схема

Для ліній що світяться значення ε є функцією відносних розмірів:

$$p' = \frac{p}{h},$$
$$L' = \frac{L}{h},$$
$$p' = \frac{0}{0{,}5} = 0,$$
$$L' = \frac{80}{0{,}5} = 160\,\text{м}.$$

Відносна освітленість ε визначається з кривих лінійних ізолюкс (рисунок 5).

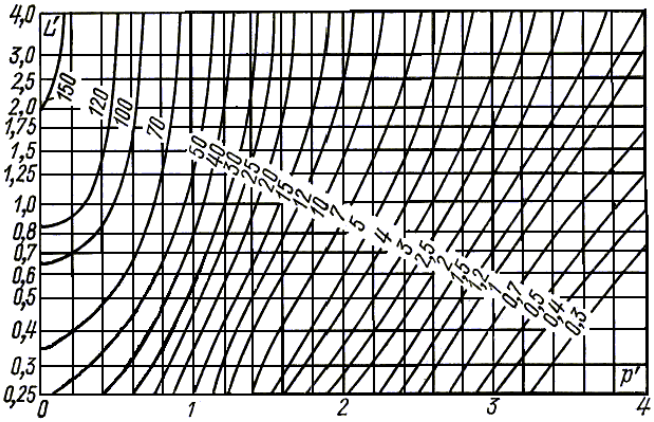


Рисунок 5 – Криві лінійних ізолюкс

Отримуємо:

$$\sum \varepsilon = 150$$

Світловий потік лінії, що світиться:

$$F' = \frac{1000 \cdot E_{min} \cdot K_з \cdot h}{\mu \cdot \sum \varepsilon},$$

$$F' = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}5}{1{,}1 \cdot 150} = 166{,}7 \text{ лм/м}.$$

$$Ф = \frac{F' \cdot L}{N},$$

$$Ф = \frac{166{,}7 \cdot 80}{80} = 166{,}7 \text{ лм}.$$

Приймаємо світлодіодну стрічку HL540L 1M/60LED, з параметрами:
потужність P = 4 Вт/м,
світловий потік $Ф_л$ = 170 лм/м,
термін служби T = 15000 год,
ціна $Ц$ = 24 грн/м.

Умова перевірки на світловий потік лампи :

$$0{,}9Ф, \leq Ф_л, \leq 1{,}2Ф,$$
$$150{,}03 \leq 170 \leq 200.$$

Умова перевірки виконується.
Початкові капіталовкладення на загальне освітлення:

$$К_1 = n \cdot N_{св} \cdot Ц,$$

де n – кількість рядів в птичнику, n = 5,
$N_{св}$ – кількість світильників в 1 ряді,
$Ц$ – ціна 1 світильника.

$$К_1 = 5 \cdot 32 \cdot 1200 = 192000 \text{ грн}.$$

Річні затрати на електроенергію для загального освітлення:

$$П_1 = n \cdot N_{св} \cdot P_{св} \cdot t_{роб} \cdot T,$$

де $P_{св}$ – потужність 1 світильника, кВт,
$t_{роб}$ – тривалість роботи протягом року, $t_{роб}$ = 5110 год,
T – тариф на електроенергію, T = 1,08 грн/кВт·год.

$$П_1 = 5 \cdot 32 \cdot 0{,}007 \cdot 5110 \cdot 1{,}08 = 6181{,}06 \text{ грн},$$

Початкові капіталовкладення на локальне освітлення:

$$К_2 = n \cdot m \cdot l \cdot Ц,$$

де n – кількість ярусів в клітинній батареї, n = 3,
m – кількість клітинних батарей, m = 8,
l – довжина клітинної батареї, l = 80 м,
$Ц$ – ціна 1 м світлодіодної стрічки.

$$К_2 = 3 \cdot 8 \cdot 80 \cdot 24 = 46080 \text{ грн.}$$

Річні затрати на електроенергію для локального освітлення:

$$П_1 = n \cdot m \cdot l \cdot P \cdot t_{роб} \cdot T,$$

$$П_1 = 3 \cdot 8 \cdot 80 \cdot 0,004 \cdot 5110 \cdot 1,08 = 42384,38 \text{ грн.}$$

Висновки. З отриманих результатів зрозуміло, що початкові капіталовкладення в проект загального освітлення переважає капіталовкладення в проект локального освітлення. Проте споживання електроенергії при загальному освітленні в 5 разів менше, що відіграє важливу роль в економічному та екологічному аспекті.

Список літератури

1. Бесулін В.І. Значення і стан птахівництва в Україні та у світі / В.І. Бесулін // Птахівництво і технологія виробництва яєць та м’яса птиці. – Біла Церква, 2003. – С. 8-24.
2. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
3. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
4. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 76 с.

УДК 628.35

О.П. Романець, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Суходоля О.М. д.н. держ. управління, проф

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ БІОЛОГІЧНІЙ ОЧИСТЦІ СТІЧНИХ ВОД

Розглянуто енергетичні процеси біологічної очистки стічних вод та шляхи підвищення ефективності процесів метаноутворення, розглянуто рішення з підвищення виходу метану в складі біогазу за рахунок оптимізації технології.

Ключові слова: *біологічна очистка стічних вод, біогаз, аеробний процес, анаеробний процес.*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрены энергетические процессы биологической очистки сточных вод и пути повышения эффективности процессов метанообразования, рассмотрено решения по повышению выхода метана в составе биогаза за счет оптимизации технологии.

Ключевые слова: *биологическая очистка сточных вод, биогаз, аэробный процесс, анаэробный процесс.*

ENERGY PROCESSES AND TECHNOLOGIES OF BIOCHEMICAL PROCESSES OPTIMIZATION IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

In the paper energy processes of biological wastewater treatment and ways to improve processes of metanogenesis were considered and considered new solution to enhance the release of methane in the biogas by optimizing technology.

Keywords*: biological wastewater treatment, biogas, aerobic process, anaerobic process.*

У сучасних умовах розвитку та зростанні міст і при все більшому зростаючому рівні розвитку промисловості, транспорту та інших галузей діяльності людей, захист навколишнього середовища, дбайливе ставлення до природних ресурсів і раціональне їх використання є одним з найбільш важливих завдань сучасного суспільства. Це особливо актуально щодо використання води.

Зростаюча кількість скидних забруднених вод, наявність в них токсичних речовин сьогодні істотно обмежують здатність водойм до самоочищення і можуть призводити до серйозних екологічних проблем.

Сьогодні річки, озера та інші водойми самостійно вже не можуть подолати зростаюче антропогенне навантаження. Тому, уникаючи серйозних екологічних проблем, ми змушені погоджуватися на спеціальні енергоємні заходи для очищення забруднених стоків до стану, придатного для подальшого використання.

Особливо актуальним у цьому відношенні є питання якості очищення стічних вод, які скидаються у водойми. Очищення стічних вод є досить енерговитратним і, отже, дорогим заходом. [1]

Мета статті полягає у аналізі та виділенні перспективних шляхів збільшення енергетичної ефективності процесу біологічної очистки стічних вод для подальшого дослідження.

При очищенні на різних етапах застосовуються механічний, хімічний і біологічний методи. Біологічне очищення на сьогодні є найефективнішим і найбільш природним способом видалення органічних речовин із стічних вод. Дія біологічних очисних систем

заснована на тому, що певні культури мікробів розкладають і видаляють розчинені органічні та інші забруднюючі компоненти і речовини з розчину. Таким чином, стічна вода містить для них біологічну їжу і поживні речовини, необхідні для життя мікроорганізмів.

Досягнення кінцевих завдань біохімічної обробки органічних відходів і стічних вод базується на комплексному використанні анаеробних і аеробних процесів (рис.1). Їх відмінність полягає в тому , що аеробні процеси протікають за участю строго аеробних мікроорганізмів, у присутності розчиненого кисню, що забезпечується за допомогою енергоємних систем аерації, а анаеробні процеси здійснюється строго - і факультативно анаеробними мікроорганізмами, у відсутності кисню і при цьому, відповідно, немає необхідності в енергоємних системах аерації.[2]

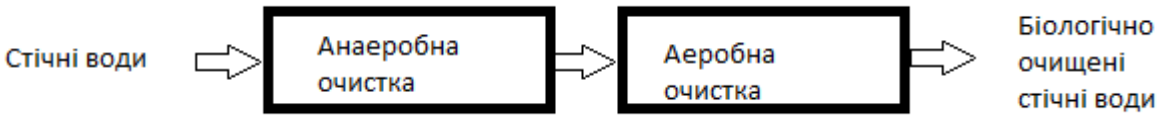


Рисунок 1 - Комбінована анаеробно-аеробна біологічна очистка стічних вод.

Перевага анаеробних процесів над аеробними обумовлюється порівнянням їх енергетичних характеристик (рис.2).

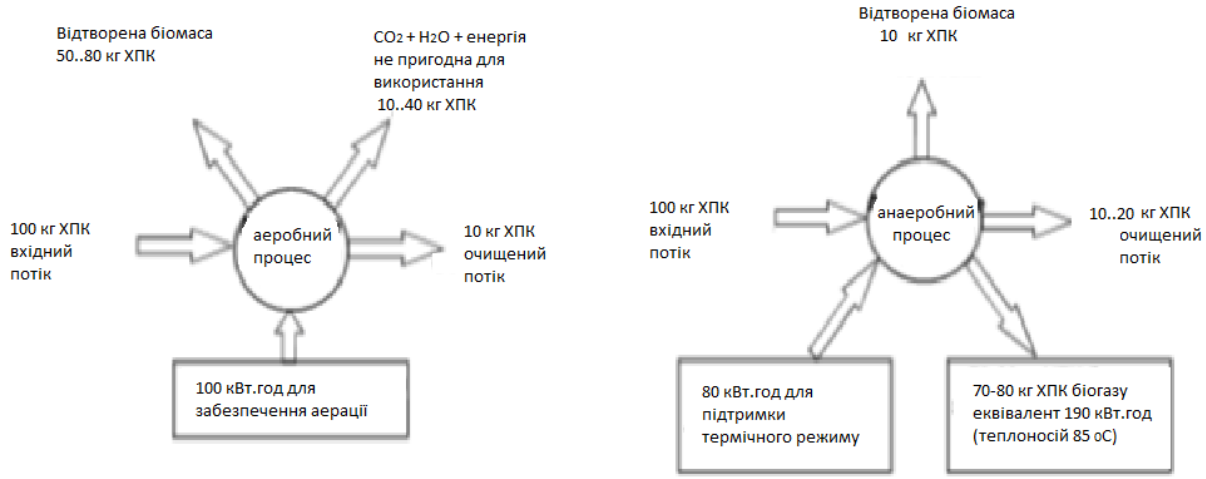


Рисунок 2 - Порівняльна енергетична характеристика аеробних і анаеробних процесів біологічної очистки стічних вод.[3]

Як видно з рис.2, Аеробне очищення споживає приблизно 100 кВт -год на 100 кг ГПК, що міститься у вихідній стічній воді, що витрачається для забезпечення аеробних процесів киснем через систему аерації. На відміну від неї, анаеробне очищення протікає з виділенням біогазу (горючої суміші газів бродіння), еквівалентного 190 кВт -год, який можна перетворити на теплоносій, частина якого витрачається на власні потреби, тобто на підтримку термічного режиму в анаеробних біореакторах; ця кількість енергії дорівнює приблизно 80 кВт -год. Таким чином, в результаті анаеробної біологічної очистки, чистий вихід одержуваної енергії становить: 190-80 = 110 кВт -год на 100 кг ГПК, на відміну від аеробного очищення, яке споживає 100 кВт -год на 100 кг ГПК .

Як було зазначено, анаеробно очищені стічні води містять залишкову кількість неокислених продуктів бродіння, які необхідно видалити , перед скиданням стоків у водойми, аеробним шляхом. Ці залишкові органічні забруднення складають 10 ... 20 кг ХПК/м3 і, можливо, потребуватимуть не 10 ... 20 кВт -год на своє окислення, будучи більш важко розкладними, а в 2 рази більше - 20 ... 40 кВт -год. Навіть у такому випадку, на комбінації анаеробно - аеробних процесів для біологічного очищення стічних вод можна

забезпечити отримання чистої енергії 110-40 = 70 кВт -год на 100 кг ГПК, шляхом її виробництва, утилізуючи біогаз в когенераційних установках. Ця обставина має дуже важливе значення, як для енергозбереження, так і для підвищення надійності та ефективності роботи очисних станцій систем водовідведення, охороною навколишнього середовища від виділень газів бродіння, що має тепличний ефект.[3]

На рис.3 проілюстровано огляд класичного процесу очистки води, стічні води спочатку обробляють пропусканням потоку для осідання. Цей потік води в кінцевому підсумку призводить до двох нових потоків: «очищена» вода і "муловий" потік. Найбільш часто використовується технологія для розділення рідких / твердих речовин, це процес осадження. У зв'язку з явищами гравітації, частинки осідають вниз і, нарешті, виробляються два потоки: освітлений потік частинок і потік концентрованих частинок. Первинний відстійник застосовують безпосередньо для необроблених стічних вод, в результаті виробляється багатий на вуглець первинний мул, тоді як вторинний процес осадження застосовується для відділення біомаси і води.

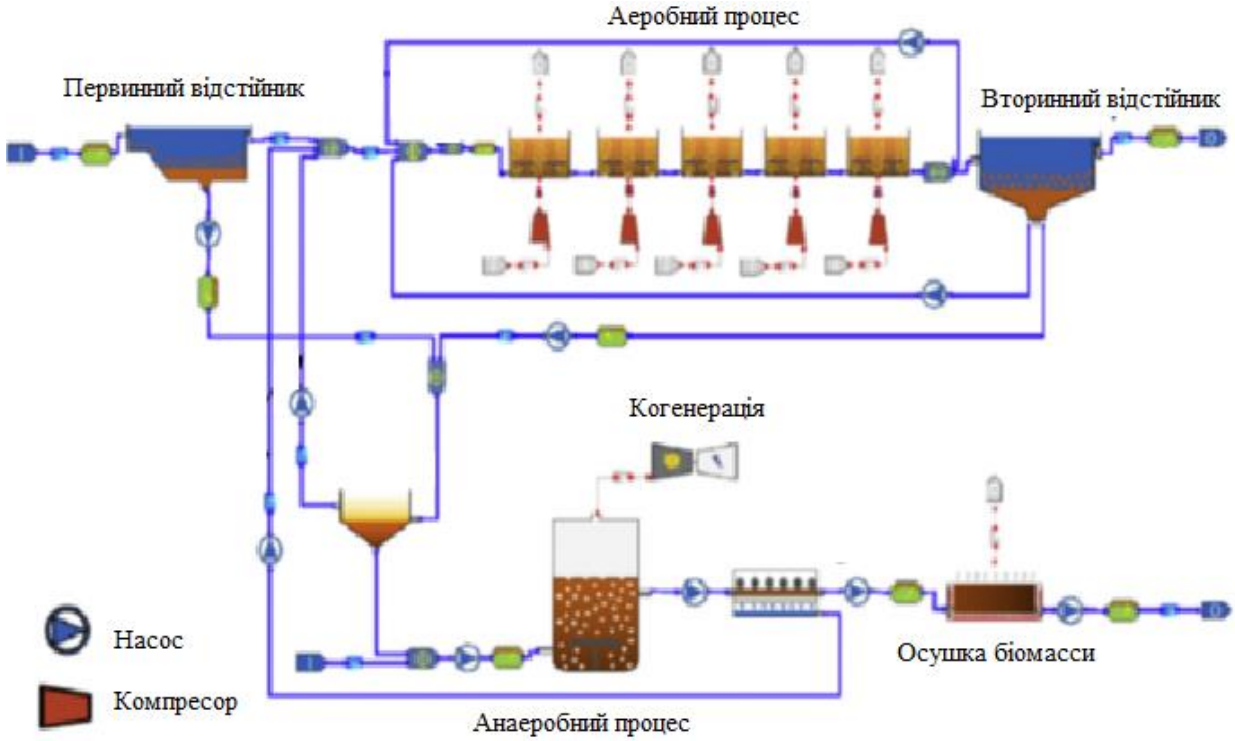


Рисунок 3 - Класичний процес очистки стічних вод. [4]

Існує можливість вдосконалення процесу водоочистки з метою збільшення виходу біогазу. Вченими Ковалев В.В., Унгуряну Д.В., Ковалева О.В. було проведено дослідження впливу водню на біогазовий процес та запропоноване вдосконалення процесу.

Поряд з метаном і вуглекислим газом, водень є супутнім елементом, що виділяється в результаті протікання багатьох біохімічних реакцій. У біохімічної технології він утворюється на ацетогеновій стадії бродіння при розщепленні спиртів і жирних кислот, приводячи до утворення оцтової кислоти, водню і вуглекислого газу.[3]

У процесах метаноутворення бактерії використовують водень також для його трансформації з вуглекислим газом до метану : $CO2 + 4\ H2 \rightarrow CH4 + 2\ H2O$. Однак , у цьому процесі кількість водню , мабуть, що утворюється є недостатнім, внаслідок чого у складі біогазу практично завжди присутня підвищена кількість негорючого вуглекислого газу, що є

продуктом неповного метаногенезу. У зв'язку з цим, запропоновано додаткове введення водню в метаногенний процес в цілях його біохімічної трансформації для підвищення виходу біометану в складі біогазу. Схема модернізованого процесу показана на рис.4.

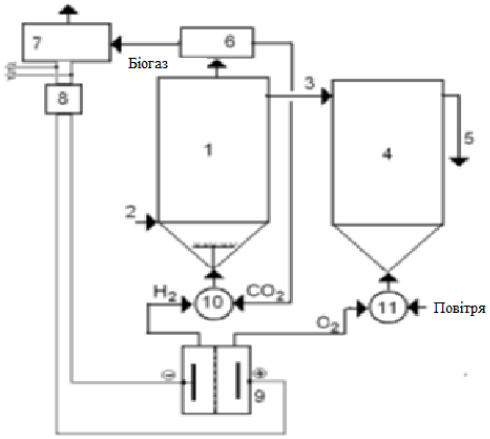


Рисунок 4 - Схема анаеробно-аеробної обробки органічних відходів з системою очищення біогазу, метаногенною конверсією CO2/H2 в CH4 для когенерації теплової та електричної енергії: 1 - метантенк; 2 - введення стічних вод; 3 - система перетікання; 4 - аеробний біореактор; 5 - відведення очищених стічних вод; 6 - система етаноламінових очищення біогазу; 7 - когенераційна установка; 8 - випрямляч; 9 - водневий діафрагмовий електрогенератор водню; 10, 11 - змішувачі газів.[3]

Запропонована технологічна схема включає обладнання для отримання та подачі водню в метаногенний простір. Як джерело водню використовується діафрагмовий електролізер в якому для отримання чистих водню і кисню процес електролізу проводиться у ваннах з розділеними діафрагмою анодного і катодного просторів .

Електрохімічно отриманий водень, дозовано змішується з вуглекислим газом у розрахунковому об'ємному співвідношенні і після виведення біохімічного процесу метаноутворення на робочий режим, отримана газова суміш CO2/H2, подається в метаногенний простір біореактора.[3]

В статті проаналізована оптимізація біологічної очистки стічних вод за допомогою використання водню в механізмі метаногенних процесів, що дало підставу описати нову комбіновану технологію його додаткового дозування спільно з вуглекислим газом, що виділяється в процесах очищення біогазу, для підвищення виходу біометану. Виходячи з енергетичних характеристик, можна сказати, що існує можливість вдосконалення процесу водоочистки з метою зменшення затрат на електричну енергію. Надалі планується дослідити вплив системи аерації на процес отримання біогазу та запропонувати шляхи її вдосконалення.

Література

1. Зинченко, В.В. Возможности энергосбережения при работе городских очистных сооружений / В.В. Зинченко, Ю.Б. Калениченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2004. — №2(61). — С. 103-108.2
2. Унгуряну Д.В. Анаэробное сбраживание и рациональные пути получения биогаза из сточных вод и жидких органических отходов и осадков. // Проблемы и перспективы использования нетрадиционных источников энергии. Тез. докл. РНТК, Кишинэу 19-20 сентября 1989, с. 112-115.
3. Ковалев, В.В. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОГАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ . / В.В.

Ковалев, Д.В. Унгуряну, О.В. Ковалева // Проблемы Региональной Энергетики . 2012. №1. С.102-114.
4. Descoins, Nicolas, S. Deleris, R. Lestienne, E. Trouvé, and F. Maréchal. "Energy efficiency in waste water treatments plants: Optimization of activated sludge process coupled with anaerobic digestion." Energy 41, no. 1 (2012): 153-164.

УДК 621.317

ГАЛАБІЦЬКИЙ П.М., *студент*, науковий керівник: **КОЦАР О.В.,** *к.т.н., доцент*

ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»

ГАЛАБИЦЬКИЙ П.М., *студент*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*

УДК 621.317

ТКАЧЕНКО Д.К., *студент*; науковий керівник: **КОЦАР О.В.**, *к.т.н., доцент*
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»

ТКАЧЕНКО Д.К., *студент*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА, НТУУ «КПІ»

TKACHENKO D.K., *Student***;** Research Supervisor: **KOTSAR O.V.,** *Ph.D., Associate Professor*
INSTITUTE OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT, NTUU «KPI»

СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ В ЛІБЕРАЛІЗОВАНИХ РИНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

МИРОВОЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА В ЛИБЕРАЛИЗОВАННЫХ РЫНКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

WORLD EXPERIENCE OF BILLING DATA COLLECTION AND PROCESSING IN THE LIBERALIZED ELECTRICITY MARKETS

Анотація. *В статті розглянуто досвід організації збирання та оброблення даних комерційного обліку в світових лібералізованих ринках електричної енергії. Виконано аналіз відомих структур систем комерційного обліку електроенергії, контролю енерговикористання та керування режимами електроспоживання. Досліджено методи забезпечення достовірності даних комерційного обліку електроенергії та керування даними вимірювань.*
Ключові слова: *дані вимірювань; лібералізовані ринки, електрична енергія, керування, контроль, режим, енерговикористання, електроспоживання.*

Аннотация. *В статье рассмотрен опыт организации сбора и обработки данных коммерческого учета в мировых либерализованных рынках электроэнергии. Выполнен анализ известных структур систем коммерческого учета электроэнергии, контроля энергопотребления и управления режимами электропотребления. Исследованы методы обеспечения достоверности данных коммерческого учета электроэнергии и управления данными измерений.*
Ключевые слова: данные измерений; либерализованные рынки, электрическая энергия, управление, контроль, режим энергопотребления, электропотребление.

Abstract. *The article describes the experience of organizing the collection and processing of commercial accounting in the world liberalized electricity markets. The article includes the analysis of the known structures of commercial accounting systems, monitoring of energy consumption and power consumption mode control. Methods of ensuring data reliability of electricity metering and data management are investigated as well.*

Keywords: meter data, liberalized markets, electricity, management, control, power consumption mode, power consumption.

Мета дослідження

У цій статті наведено відомості та виконано аналіз світового досвіду щодо формування та керування даними вимірювань. Стаття містить стислий опис національних баз і/або концентраторів даних (Data hub) та інших складових систем збирання та керування даними вимірювань. Заінтересовані сторони повинні мати доступ, а іноді й спільно використовувати дані вимірювань з метою ефективного здійснення продуктивних торгівельних ринкових процесів, зокрема процедури підключення споживачів до електричної мережі та реалізації комерційного обліку електричної енергії. Це також необхідно для удосконалення процесів надання споживачам послуг у секторі електропостачання.

Вступ

Зважаючи на невпинний розвиток смарт-мереж та інтелектуальних вимірювань питання вибору моделі керування даними обліку електроенергії, зокрема комерційного, та вдосконалення регуляторної політики в енергетичному секторі є одними з найважливіших. KEMA (Keuring van Elektrotechnische Materialen te Arnhem) визначає такі ознаки інтелектуальних вимірювань [1]:

- автоматичне зчитування, оброблення та передавання даних вимірювань;
- можливість двостороннього обміну даними із смарт-лічильниками в реальному часі (або з невеликою затримкою);
- підтримка додаткових послуг та можливостей, наприклад, автоматизація будинку, дистанційне вимкнення/ввімкнення поставки або обмеження навантаження;
- дистанційне оновлення попередньо установленого програмного забезпечення (ПЗ) смарт-лічильника з метою надання нових послуг, зміни комунікаційних протоколів тощо.

KEMA наполягає, що вимірювання можуть бути визнані інтелектуальними виключно за наявності всіх вищенаведених ознак. Також важливо зазначити, що впровадження інтелектуальних вимірювань вимагає наявності розвинутої інфраструктури, яка об’єднує смарт-лічильники, що з’єднані комунікаціями із всіма учасниками процесу, та засоби керування даними вимірювань, яка пов’язана із інтелектуальними системами обліку та формування рахунків за користування електричною енергією.

Конкретний набір функцій інтелектуальних вимірювань залежить від місцевих обставин і може мати на меті підвищення якості сервісу, що надаються постачальниками послуг, автоматичне формування рахунків за використання електричної енергії та інших енергоресурсів, дистанційне керування навантаженням, запобігання шахрайству, підвищення рівня автоматизації тощо. Але, якщо йдеться про енергетичні ринки, то завдання керування даними вимірювань, зокрема даними комерційного обліку електроенергії, набуває набагато важливішого значення, оскільки достовірність даних комерційного обліку безпосередньо впливає на справедливість розрахунків в енергоринку. А справедлива ціна на електричну енергію є чи не головною метою запровадження енергетичного ринку.

З огляду на те, що дані обліку можуть бути визнані достовірними лише у разі, якщо вони базуються переважно на даних вимірювань, в подальшому з метою збереження оригінальної термінології джерел інформації терміни «керування даними обліку» і «керування даними вимірювань» будемо вважати рівнозначними.

У більшості країн Європейського Союзу (ЄС) відповідальність за впровадження систем обліку електроенергії (інсталяцію, обслуговування лічильників, керування даними вимірювань тощо) покладається виключно на операторів розподільних мереж (Distribution

System Operator /DSO/)[2]. В окремих випадках, зокрема у Великобританії і Німеччині, ці обов'язки можуть брати на себе інші учасники ринку, наприклад постачальники електроенергії або провайдери систем обліку.

В секторі керування даними вимірювань відбуваються зміни, які в першу чергу стосуються регуляторної політики. У таких країнах, як Австрія, Данія, Італія, Норвегія і Великобританія найближчим часом будуть впроваджені нові правила відповідно до змін у моделі керування даними вимірювань.

Серед діючих підходів до керування даними вимірювань в країнах ЄС слід визначити три принципово різні моделі:

1. ***централізована***: передбачає наявність єдиної бази даних вимірювань в межах ринку електроенергії, яка несе повну відповідальність щодо стандартизації, зберігання, захисту та надання доступу до інформації щодо обсягів енергоспоживання іншим учасникам ринку електроенергії;
2. ***децентралізована («точка-точка»),*** яка полягає у безпосередньому обміні даними вимірювань між уповноваженими учасниками ринку електроенергії;
3. ***частково централізована модель:*** включає в себе наявність єдиного інформаційного центру, водночас не заперечуючи обмін даними вимірювань у децентралізованому порядку.

Централізований підхід

Централізована модель керування даними, як було зазначено вище, використовується у Норвегії та Великій Британії. Розглянемо даний підхід на прикладі ***Великої Британії*** [6]:

Модель ринку і розподіл повноважень

10 листопада 2011 року у Великобританії набули чинності Правила Газо- та Електропостачання для внутрішніх ринків (Electricity and Gas Regulations for Internal Markets). Ці правила забов'язують оператора транзитних мереж (Transmission System Operator/TSO) проходити обов'язкову сертифікацію щодо відповідності вимогам 3-го Пакету документів (зокрема підтвердження, що компанія-TSO відмежована від зацікавленності щодо вирбництва та розподілу енергоносіїв). Також, відповідно до нових правил, було створено Національне Відомоство з Питань Регулювання у Великобританії (National Regulatory Authority for GB), яке отримало повноваження з адміністрування процесу сертифікації для дійсних та майбутніх компаній-TSO.

Інтелектуальні лічильники дозволять отримувати інформацію про обсяги енергоспоживання за кожні півгодини протягом 13-ти місяців. Споживач матиме право контролювати, хто має доступ до даних вимірювань, а також рівень їхньої деталізації. Засоби здійснення обміну даних вимірювань наведені нижче.

Ключовим є рішення уряду, згідно з яким компанії-постачальники будуть відповідальні за впровадження вимірювальних систем (іншими словами, за їхню закупівлю та впровадження). Тим не менш, обмін даними вимірювань буде координуватися централізовано за допомогою нової регульованої структури-постачальника інформаційних систем та зв'язку (Data Communications Company /DCC/). Уряд зазначає, що така схема «пропонує найоптимальнішу модель для впровадження інтелектуальних вимірювальних систем у Великобританії». Зокрема, централізована модель обміну даних поєднує у собі вагоме стимулювання постачальників надавати послуги високої якості споживачам, з широкими можливостями для спрощення і поліпшення виробничих процесів, що спрощує процес переходу споживача від одного постачальника до іншого. За цією схемою, у випадках, коли постачальник, оператор мережі або третя особа має намір отримати доступ до даних вимірювальних систем, здійснити це можливо в два способи:

- Споживач може надати прямий доступ до даних вимірювань, іншими словами, існує

можливість перемістити дані з лічильника на пристрій (наприклад USB), внаслідок чого споживач матиме можливість відправити власні дані електронною поштою, або:
- Компанія-провайдер (DCC) може вилучати і надавати дані вимірювань за запитом відповідної уповноваженої сторони (яка має відповідну згоду або інші права на ці дані). У цьому сенсі, DCC здійснює захист інформації споживача.

Насправді, DCC буде вузькопрофільною структурою. Послуги зв'язку та обробки даних будуть надаватись відповідними постачальниками послуг. В свою чергу DCC буде здійснювати управління цими контрактами. Уряд здійснює закупівлю початкових контрактів на постачання відповідних послуг, які будуть передані в DCC одразу ж після створення даної структури. З метою спрощення надалі поняття DCC поєднуватиме власно структуру та компанії-провайдери послуг, контракти яких будуть підпорядковані цій організації.

Основні принципи:

- Дозволити постачальникам зчитувати щомісячні (або менш деталізовані) дані про обсяги енергоспоживання без згоди клієнта, з метою виставлення рахунків до оплати, а також задля виконання будь-яких існуючих нормативних вимог або ліцензійних зобов'язань;
- Дозволити постачальникам зчитувати щодобові (або менш деталізовані) дані про обсяги енергоспоживання за умови визначеної можливості споживачів ухилятись від таких дій, з будь-якою метою, виключаючи діяльність, пов'язану з маркетингом та продажами;
- Вимагати від постачальників обов'язково отримувати згоду від своїх клієнтів на зчитування півгодинних даних про обсяги енергоспоживання, або на використання даних про енергоспоживання з метою продажу та маркетингу.

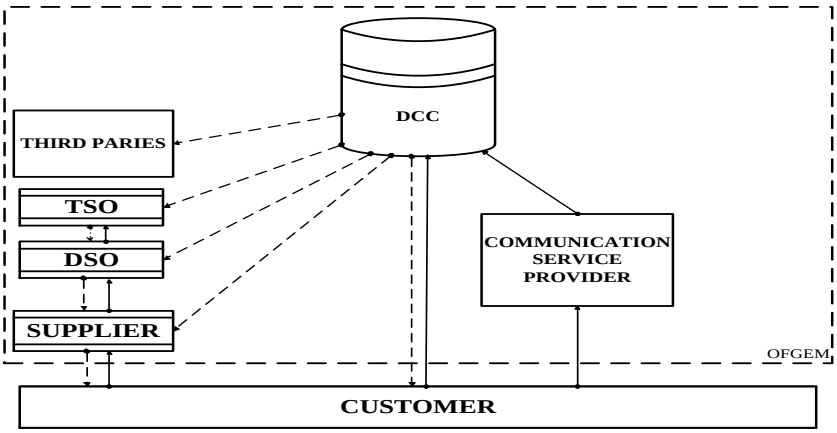


Рис.1. Централізована модель керування даними

Винятки з головних принципів:

Дозволити здійснення спеціальних мір зі считування даних вимірювань без згоди споживача, якщо постачальник має обґрунтовані підозри стосовно крадіжки, або з метою деталізованого комерційного обліку (наприклад, в разі змінення умов оренди; змінення постачальника; змінення тарифного плану), або в разі надсилання споживачу відповідних запитів. Рівень доступу до даних вимірювань в таких випадках має обмежуватись інформацією про щодобове енергоспоживання.

У ролі третіх сторін виступають енергосервісні компанії та незареєстровані, з певних причин, компанії-постачальники електроенергії. Треті сторони матимуть можливість отримувати доступ до даних вимірювань через DCC за наявністю підтвердження з боку

споживача.

Уряд провів попередню фінансову оцінку, згідно до якої встановлено, що за 20-річний період загальна вартість розгортання програми складе £11,3 млрд. Прогнозовані надходження після реалізації програми у побутовому та малому комерційному секторі складатимуть £18,3 млрд. Це означає, що чистий прибуок складе £7,3 млрд. Головну складову прибутків складатимуть надходження, які отримані в результаті зменшення обсягів енергоспоживання та зниженні витрат у промисловому секторі. Витрати та певна частина надходжень буде відображатись на рахунках до сплати споживачів.

Обґрунтування використання централізованої моделі

Нижче наведені деякі переваги та недоліки створення централізованого керування даними вимірювань.

Переваги:

- *ефективність витрат:* Централізація забезпечує істотну економію в масштабі надання послуг зв'язку та обробки даних.
- *покриття важкодоступних точок обліку:* Централізація передбачає комплексні комунікаційні рішення, забезпечуючі повне розгортання системи.
- *безпека даних:* Централізована модель забезпечення зв'язку поліпшує впровадження всебічних, послідовних та остаточних заходів безпеки;
- *інтелектуальні мережі:* Централізована модель керування забезпечує більш широкі можливості для розвитку інтелектуальних мереж з плином часу, в порівнянні з альтернативними децентралізованими моделями побудови комунікаційних систем;
- *позагалузеві послуги за додаткову вартість:* Вповноважений орган керування даними вимірювань обслуговує цілісну систему, розповсюджену в межах енергоринку відповідної держави. Це може дати можливість пропонувати свої послуги іншим галузям промисловості за додаткову плату, тим самим, з часом компенсуючи витрати у секторі енергетики.

Виклики:

- Впровадження монополії у галузі, де процес надання послуг зі зв'язку мав би надаватись шляхом роботи ринку. Негативно впливати можуть наступні фактори:

  а) Вища вартість послуг з впровадження інформаційних систем;

  б) За відсутності тиску зі сторони конкурентів у своїй галузі, послуги відповідального органу керування можуть не відповідати дійсним потребам споживачів.

  в) Витрати на розробку нормативно-правої бази для впровадження моделі.

  г) Єдиний інформаційний центр з доступом до всіх точок обліку вимірювальних даних являє собою єдину ціль для хакерських нападів (однак, переваги, які стосуються безпеки інформації за використання централізованої моделі керування даними, вказано вище).

Децентралізований підхід

Децентралізована модель керування даними використовується у ***Іспанії:***

Модель ринку і розподіл повноважень

Іспанія має досить розвинений ринок електроенергії, який дозволяє побутовим споживачам зробити вибір на користь регульованих цін для кінцевих споживачів. Ринки стали цілком відкритими для конкуренції з 1 січня 2003 року. На ринку електроенергії висока частка роздрібних поставок і розподілу діяльності здійснюється вертикально інтегрованими групами.

Говорячи про роздрібний ринок електроенергії можна сказати, що у 2010 році в Іспанії

нараховувалось 27 мільйонів споживачів, а кінцевий попит на електроенергію складав 244 ТВт*год. Структура ринку характеризується наявністю більш ніж 300 операторів розподільних мереж (DSO), і більше 100 активних постачальників. Також на ринку наявна відносно висока ступінь концентрації: існує три основних компанії, які відповідають за передавання більш ніж 90% енергії в розподільні мережі та забезпечення більш ніж 80% роздрібних поставок. Проте, слід підкреслити, що правовий та функціональний поділ між сферами розподілу і постачання енергії на ринку реалізований в повному обсязі. З точки зору динаміки ринку є історично високий показник споживачів, що залишаються зі своїм постачальником, який залежить від свого територіального DSO (близько 72%), але це ілюструє тенденцію щодо зниження, у той час як показник переходу, що становила близько 7% в 2010 році і більше ніж 10% у 2011 році, зростає (йдеться про споживачів, що переходять від постачальника за регульованим тарифом до постачальника з вільного ринку).

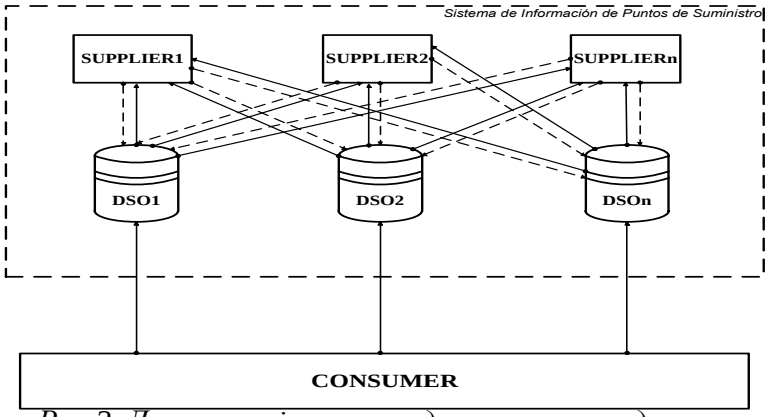


Рис.2. Децентралізована модель керування даними

Нинішня іспанська модель регулювання, що встановлена в Королівському указі 1011/2009, накладає на кожну розподільну компанію зобов'язання підтримувати базу даних всіх точок постачання (точок приєднання), розташованих на її території, яка називається (Sistema de Información de Puntos de Suministro/ SIPS/). Королівським указом 1011/2009 створено організацію, що відповідає за приєднання споживачів, з DSO і постачальниками в якості акціонерів, з такими основними завданнями:

- Моніторинг приєднань, щоб гарантувати, що це відбувається на прозорих, об'єктивних і незалежних засадах.
- Заохочення і контроль обміну інформацією між постачальниками і DSO.
- Пропозиції щодо вдосконалення оперативних процедур і правил, що відносяться до приєднання.
- Підтвердження того, що клієнти дають свою згоду на перемикання.

Організація з питань зміни постачальника (Oficina de Cambios de Suministrador /OCSUM/)має вільний доступ до бази даних точок постачання та має право запросити у DSO і постачальників всю інформацію, що необхідна для забезпечення дотримання встановлених процесів приєднання.

За законом, Національна енергетична комісія Іспанії (Comisión Nacional de la Energía /CNE/) відповідає за дотримання відовідними компаніями правил, пов'язаних з підключенням до іншого постачальника. Крім того, CNE вирішує розбіжності щодо типу і змісту інформації, що підлягає обміну між постачальниками і DSO. Відповідно до цієї моделі регулювання всі зареєстровані постачальники мають право на повний і вільний доступ до даних по точках обліку, приєднаних до SIPS. Щоб підтримувати та

удосконалювати SIPS для DSO та постачальників є юридично обов'язковим розроблення необхідних інформаційних систем, щоб забезпечити: (1) онлайн консультації, без обмежень, з бази даних і (2) отримання та перевірку запитів на приєднання до мереж та інших видів обміну інформацією між постачальниками і DSO.

У грудні 2010 року, Верховний Апеляційний Суд Іспанії оголосив постанову, згідно з якою регламентуючі правила, що містяться в Королівському указі 1011/2009, що стосуються обміну даними, були визнані сумісними з правилами захисту приватної інформації, з метою забезпечення права споживачів змінювати постачальника.

Обґрунтування використання децентралізованого підходу

Пропорційність

В контексті іспанської двосторонньої децентралізованої моделі керування даними вимірювань у поєднанні з регуляторними постановами, спостерігався розвиток внутрішньої бази даних, яка вже використовується DSO. Регуляторні норми є більш демократичними, у порівнянні зі створенням централізованої моделі з єдиною базою даних.

Економічна ефективність

Перехід від існуючої децентралізованої моделі керування до централізованої, яка базується на створенні єдиної бази обміну та зберігання даних, розцінюється DSO як надто дорогий із сумнівною рентабельністю, в першу чергу, звертаючи увагу на витрати, що пов’язані з впровадженням та налагодженням інформаційних систем.

Ефективність керування

Двостороння модель керування даними вимірювань чітко окреслює власників та відповідальних за роботу бази даних. DSO несуть відповідальність за розробку бази даних, а також фінансують побудову інформаційних систем.

Прозорість

Найбільш важливим недоліком децентралізованої моделі є відсутність прозорості і потенційна заангажованість DSO, особливо у випадку їхньої вертикальної інтегрованості з постачальниками. Іспанський досвід свідчить про необхідність запровадження детального регулювання, що має унеможливити дискримінаційну діяльність DSO, які можуть заперечити або зробити доступ до даних більш важким для постачальників, що не входять до складу їхньої струтури.

Частково централізований підхід

Розглянемо даний підхід на прикладі ***Бельгії***:

Модель ринку і розподіл повноважень

З початком лібералізації ринку електроенергії в Бельгії значний акцент було зроблено на юридичний розподіл видів діяльності, що, таким чином, зумовило відсутність вертикально інтегрованих компаній. У кожному регіоні (Брюссельський столичний регіон, Фламандський регіон і Валлонія) та на федеральному рівні законодавство дещо відрізняється, але спільним є те, що оператор розподільних мереж (Distribution System Operator /DSO/) повинен бути незалежним від виробників та постачальників або будь-якої компанії, пов'язаної з виробником чи постачальником. Державний сектор є головним акціонером (від 70% до 100%) DSO.

Регіональні регулюючі органи уповноважені регламентувати всю діяльність DSO, крім встановлення тарифів, що зараз знаходиться в повноваженні федерального органу регулювання. За розподілу діяльності постачальників і операторів мереж була розроблена ринкова модель, яка базується на використанні стандартизованих загальнонаціональних засобів комунікацій для обміну даними вимірювань. Регіональні регулюючі органи є частиною керівного комітету ринкової платформи (постачальники і DSO), який розробляє

детальні правила комунікацій для кожного окремого ринкового процесу.

DSO використовує інформацію про заявки від TSO (Elia / Fluxys) та інформацію про ремонтні роботи в мережі, робочі заявки та прогноз місцевого виробництва для того, щоб підтримувати мережу в робочому стані. В результаті цього, оператор розподільних мереж може посилати сигнали за допомогою інформаційних систем управління даними (Distribution Management System /DMS/; Outage Management System /OMS/) різним пристроям (для ввімкнення, вимкнення, регулювання і зчитування). Підтверджені дані, що отримані від лічильника, використовуються для білінгової оплати і доступні для різних гравців ринку (постачальників) через web-портал (Value-added Network /VAN/). Постачальники використовують цю інформацію для виставлення рахунку клієнтові. Зв’язок з web-порталом (VAN) залежать від індивідуальних особливостей ринкових процесів.

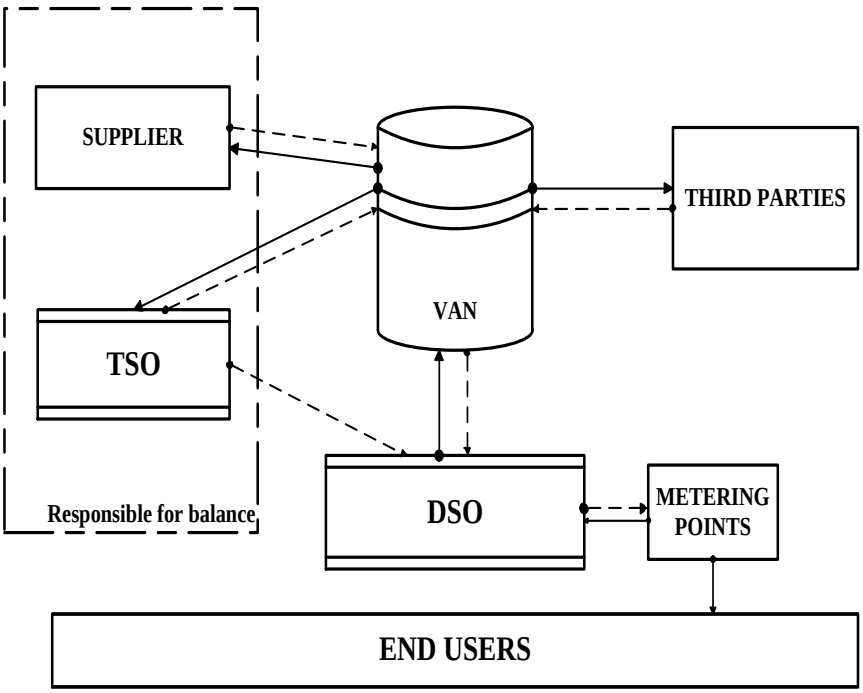


Рис.3. Частково централізована модель керування даними

В цей час DSO уповноважені (в рамках власних правових обов'язків) збирати покази лічильників один раз в рік (а також в деяких випадках, таких як, наприклад, переїзд споживача). Ці покази лічильників використовуються для розрахунку мережевої плати та ціни спожитої енергії в рахунку постачальника. У контексті інтелектуальних лічильників буде доступно багато даних. З цієї точки зору повинне бути розроблене нове законодавство, яке має описувати конкретні цілі та санкціонування для використання даних. Головним принципом є те, що клієнт володіє даними і контролює їх. Дані можуть бути використані тільки за конкретної згоди споживача. Виняток зроблено для специфічних процесів (виставлення рахунків, керування мережею) з юридичним підтвердженням.

Споживачі сьогодні отримують один рахунок, виставлений на підставі перевірених даних лічильника. Постачальник повинен формувати свій рахунок на підставі даних, наданих DSO. Рахунок складається зі сплати за користування мережею та вартості енергії. В цьому ж рахунку постачальник зобов'язаний показати історію споживання за останні три роки. Клієнт може безпосередньо (безкоштовно) попросити DSO видати йому звіт про

споживання енергії за останні три роки (ця можливість повинна забезпечуватись Atrias в майбутньому).
Бельгійський допоміжний ринковий інформаційний обмін (Utility Market Information Exchange /UMIX/) складає протоколи (MIG), до яких регулятори можуть вносити зауваження. Це означає, що MIG може бути адаптований, якщо регулятори вважають, що MIG складений не відповідно до регіонального законодавства. В майбутньому функції UMIX буде виконувати Atrias.
На цей час UMIX організовує ринкові консультації для головних і цільових груп і розробляє UMIG-документації. Зв'язок між DSO і постачальником здійснюється мережею додаткових послуг (Value Added Network/VAN/) за допомогою EDIEL-повідомлень (Electronic Data Interchange for the Electricity /EDIEL/). Тим не менш, постачальники можуть обрати прямий доступ до DSO. Якщо витрати на зв'язок стануть занадто великі, постачальник буде відправляти повідомлення через захищений web-портал, внаслідок чого DSO буде забов'язаний складати угоду з незалежним провайдером VAN послуг.

Висновки

В умовах широкого впровадження смарт-мереж та зростання долі інтелектуальних вимірювань найважливішого значення набувають питання вибору моделі керування даними вимірювань (зокрема даними комерційного обліку електроенергії) та вдосконалення регуляторної політики в державі. Європейська Рада Регуляторів Енергетики (The Council of European Energy Regulators /CEER/) стверджує, що впровадження інтелектуальних систем вимірювань не має бути самоціллю, а скоріше має сприяти створенню ефективно функціонуючого і конкурентноспроможного енергетичного ринку та досягненню поставлених на 2020 рік цілей, що стосуються сектору енергетики та екології, які затверджені у 3-му пакеті документів внутрішніх енергетичних ринків (3-rd Internal Energy Market Package) [3].
Загальний огляд лібералізованих ринків електричної енергії деяких країн ЄС наведено у *таблиці 1*.

Джерела:

1. KEMA: Smart meter test laboratories. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.dnvkema.com

2. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.energy-regulators.eu

3. 3rd Internal Energy Market Package. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://ec.europa.eu

Таблиця 1

Країна	***Зона відповідальності***								
	Керування приладами обліку				**Керування даними вимірювань**				
	Закупівля	***Програмування Налагодження***	***Інсталяція***	***Обслуговування***	***Зчитування***	***Обробка/ передача***	***Зберігання***	***Перевірка***	***Отримання доступу***
Австрія	Оператори мереж	Оператори мереж	Оператори мереж	Оператори мереж	Оператори мереж	CSA	DSO	CSA	Споживач; Постачальник.
Бельгія	DSO	DSO	DSO	DSO	DSO	Data hub (“Atrias”)	DSO	Data hub (“Atrias”)	Споживач; Постачальник.
Великобританія	Постачальник; МАР; Оператори мереж	Постачальник; МОР; Оператори мереж	Постачальник; МОР; Оператори мереж	Постачальник; МОР; Оператори мереж	Data hub (“DCC”); Споживач	Data hub (“DCC”);	Data hub (“DCC”); Споживач	Data hub (“DCC”);	Оператори мереж; Постачальник
Іспанія	DSO; Постачальник	DSO; Постачальник	DSO; Постачальник	DSO; Постачальник	DSO; Споживач	DSO	DSO; Постач аль-ник	DSO; Постач аль-ник	Постачальник
Італія	Оператори мереж; Споживач	Оператори мереж	Оператори мереж	Оператори мереж	Оператори мереж	DSO; Поста - чальник	Оператори мереж; Постач аль-ник	Оператори мереж; Постач аль-ник	Постачальник; Споживач
Німеччина	DSO МОР	DSO МОР	DSO МОР	DSO МОР	МОР	МОР DSO	DSO	TSO; Постач аль-ник	Постачальник; TSO; Споживач
Норвегія	DSO	DSO	DSO	DSO	DSO	Data hub (“Nubix”)	Data hub (“Nubix”)	Data hub (“Nubix”)	Постачальник; Споживач

УДК 621.316

К.Р. Гречкосій, П.О. Замковий, Калінчик В.П.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КРІОГЕННИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

У статті розглянуто доцільність та перспективи використання в галузі чорної металургії України кріогенних систем акумулювання електричної енергії. Оцінено можливий економічний ефект від впровадження таких систем накопичення енергії, а також перспектива їхнього використання для вирівнювання добового графіку навантаження ОЕС України.

Ключові слова: чорна металургія, кріогенне акумулювання електроенергії, КАЕС, рідке повітря, термін окупності, вирівнювання графіку навантаження енергосистеми.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

В статье рассмотрена целесообразность и перспективы использования в этой области криогенных систем аккумулирования электрической энергии. Оценен возможный экономический эффект от внедрения таких систем накопления энергии, а также перспектива использования для выравнивания суточного графика нагрузки ОЭС Украины.

Ключевые слова: черная металлургия, криогенное аккумулирования электроэнергии, КАЭС, жидкий воздух, срок окупаемости, выравнивание графика нагрузки энергосистемы.

THE PERSPECTIVES OF CRYOGENIC ENERGY STORAGE IN UKRAINE INDUSTRY

The article deals with the feasibility and prospects of cryogenic accumulation systems. The estimation of possible economic effect from the implementation of energy storage, and their influence on the curvature of the daily load profile of national grid was held.

Keywords: metallurgy, cryogenic energy storage system, LAES, CAES, liquid air, payback period, grid balancing, peak-shaving.

Вступ. Чорна металургія є однією з найбільших та найважливіших галузей важкої промисловості України. Вона споживає близько четверті усієї електричної енергії, що виробляється в країні [1]. Україна є одним із лідерів країн-виробників металів у світі і займала до 2008 року 7 місце за обсягом виробництва сталі, і 3 місце — за обсягом експорту металопродукції. Однак сьогодні в галузі відбувається певний спад, який частково пов’язаний зі зростанням тарифів на електроенергію.

Характерною особливістю для підприємств чорної металургії є рівномірний графік навантаження, це пов’язано з особливостями технологічного процесу. Виробничі процеси металургійних підприємств досить складні, насичені енергетичними агрегатами, тут переміщуються величезні потоки сировини, матеріалів, відходів, напівфабрикатів, газів, які мають велику температуру. Аварійна зупинка, чи перерва в електропостачанні неприпустима, вона може призвести не тільки до псування сировини а й виходу з ладу громіздкого та дорогого обладнання, а отже, зупинки усього процесу виробництва [2].

Виробництво чорних металів є дуже енергоємним процесом, частка електричної енергії в собівартості такої продукції становить до 30% [2], тому її ціна сильно залежить від встановленого тарифу за електроенергію. Переважна більшість підприємств чорної

металургії купують електричну енергію за тарифом, диференційованим за періодами часу, що передбачає наявність нічної та пікової тарифних зон, відношення між ставками яких становить 5 разів [3] (тарифні коефіцієнти вказані у табл.1.1). Така різниця в ставках тарифу дає можливість для суттєвої грошової економії у випадку, якщо частину споживання енергії змістити у період нічного провалу. Цього можна досягти двома шляхами. Перший – це переорієнтування процесу виробництва під нічний графік роботи, що у випадку підприємств металургії не можливо. Другий шлях – використання систем акумуляції електричної енергії в нічний період, для подальшого її збереження та генерації у часи пікового навантаження. Саме він є найбільш перспективним.

Таблиця 1.1 – Тарифні коефіцієнти диференційовані за періодами доби [4]

Тарифні зони	**Тризонний облік**	
	Межі	***Коефіцієнт***
Пікова	с 08-00 до 11-00 с 20-00 до 23-00	1,68
Напівпікова	с 07-00 до 08-00 с 11-00 до 20-00 с 23-00 до 24-00	1,02
Нічна	с 24-00 до 07-00	0,35

Мета та завдання статті – розглянути перспективи використання кріогенних систем накопичення електричної енергії в промисловості України на прикладі чорної металургії, оцінити економічні аспекти впровадження проекту та його вплив на добовий графік навантаження ОЕС України.

Результати дослідження. Найпоширенішими системами, які використовують в Україні, для накопичення великих об’ємів електроенергії є гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС). У таких систем найбільший серед аналогів ККД (70-80%). Однак, ГАЕС мають суттєві недоліки, що заважає їх більш широкому впровадженню [5]. Серед них:

- Великі капіталовкладення;
- Довгий термін будівництва;
- Тривалий термін окупності;
- Необхідність відчуження під водосховища великих територій;
- Прив’язка до особливостей рельєфу та наявності достатніх водних ресурсів;
- Доцільність побудови лише для великих потужностей.

Найкращою альтернативою ГАЕС можуть стати кріогенні акумулюючі електростанції (КАЕС). В основі їхньої роботи полягає те, що повітря може бути перетворено на рідину шляхом охолодження до температури приблизно -196°С з використанням типового промислового устаткування. Близько 700 літрів повітря перетворюються в 1 літр рідкого повітря, який потім може бути збережений у ізольованій посудині за відсутності тиску. Коли тепло знову підводиться до рідкого повітря воно закипає і перетворюється назад в газ, розширюючись в об'ємі у 700 разів. Це розширення може бути використано поршневим двигуном або турбіною, щоб виконувати корисну роботу [10].

Маючи ККД дещо нижчий за показники ГАЕС, кріогенні накопичувачі позбавлені їхніх недоліків. Такі системи можуть бути побудовані у будь-якій місцевості та не мають прив’язки до рельєфу і водних ресурсів, також не вимагають таких капіталовкладень та займають невелику площу. До того ж, кріогенні установки високоманеврені - вихід з нульової генерації на повну потужність займає не більше 20 хвилин [6]. Ще одним

аргументом на їх користь є швидкість будівництва установки. Перша (демонстраційна) установка була змонтована у м. Слау, Британія, за 3 місяці[7]. Завдяки цьому, кріогенні накопичувачі можуть бути зведені на кожному металургійному підприємстві окремо.

Вплив на добовий графік навантаження ОЕС України. Обладнання усіх великих заводів чорної металургії кріогенними накопичувачами дасть змогу заощадити значну кількість коштів за рахунок перенесення частини споживання електроенергії з пікових зон у період нічного провалу. Таким чином, накопичена за нічним тарифом електроенергія буде використовуватися заводом під час періоду пікового навантаження. Враховуючи частку чорної металургії в загальному споживанні електроенергії по Україні, КАЕС можуть зробити вагомий внесок у вирівнювання добового графіку навантаження енергосистеми.

На наступних рисунках зображено графіки навантаження ОЕС України до та після введення в експлуатацію на підприємствах чорної металургії кріогенних накопичувачів загальною потужністю 1 ГВт.

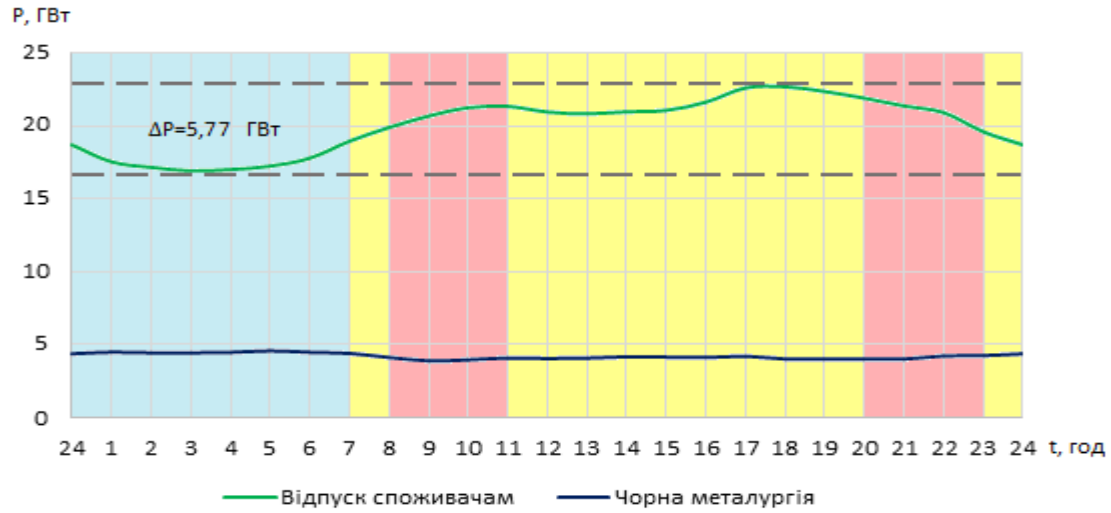


Рисунок 1 – Добовий графік навантаження ОЕС України у режимний робочий день 21.12.2011

На рис.1 загальна відпущена споживачам електроенергія позначена зеленим кольором, енергія спожита підприємствами чорної металургії, синім кольором. Відповідно блакитним, жовтим і червоним кольорами позначено нічну, напівпікову та пікову тарифні зони.

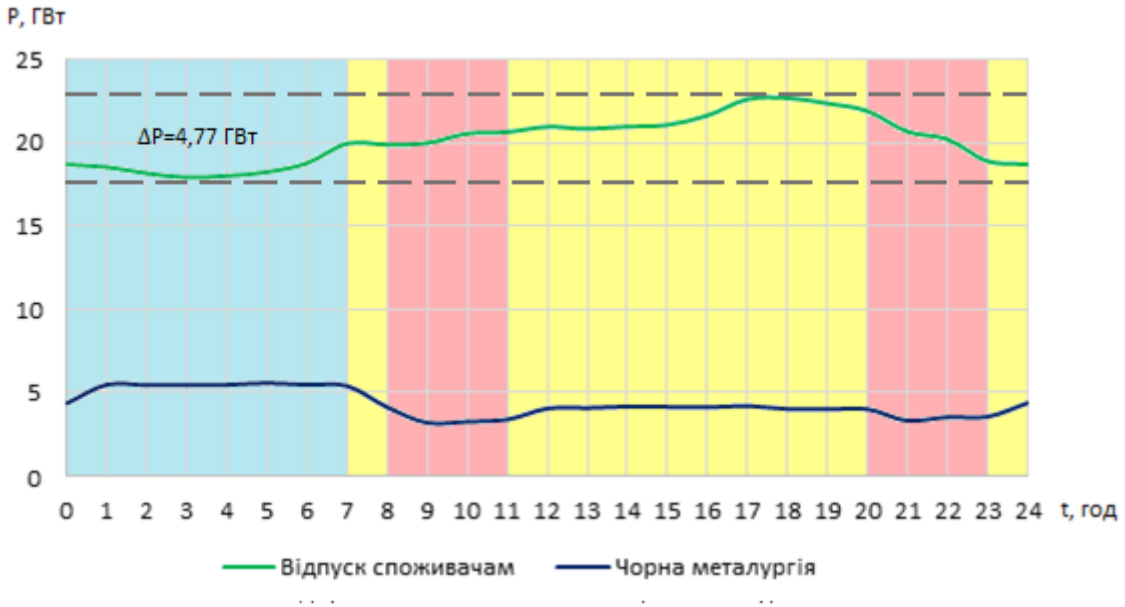


Рисунок 2 – Добовий графік навантаження ОЕС України після впровадження кріогенних накопичувачів

Рис.2 зображує прогнозований графік навантаження ОЕС України після введення в експлуатацію КАЕС. Помітно, що це спричинить вагомий вплив на графік відпуску електроенергії споживачам, і суттєво змінить його кривизну.

На рисунках можна побачити, що проміжок часу, який відповідає пікової тарифній зони не співпадає з реальним піком навантаження енергосистеми, це ускладнює вирівнювання графіку навантаження за допомогою накопичувачів, які працюють на «перекриття» пікових годин за диференційованим тарифом.

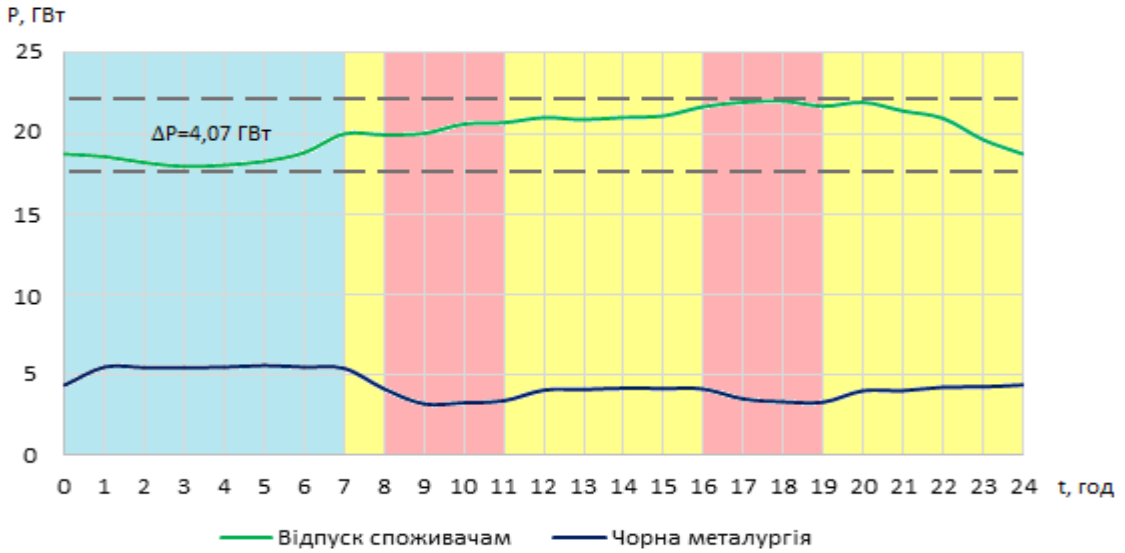


Рисунок 3 – Добовий графік навантаження ОЕС України після впровадження накопичувачів та коректування тарифних зон

Для більш ефективного вирівнювання графіку добового навантаження необхідно перенести вечірню пікову тарифну зону, на проміжок часу з 16:00 до 19:00. У цьому випадку

вигода від використання накопичувачів для підприємств не зменшується.

Таблиця 1.2 – Тарифи на електроенергію для споживачів (крім населення) на травень 2014 року [4]

Категорії споживачів	**Тарифи без ПДВ**	
	1 клас 35 кВ і вище	**2 клас до 35 кВ**
Промислові і прирівняні до них споживачі з приєднаною потужністю 750 кВА і більше	85,00	108,20

Економічні аспекти впровадження кріогенних систем накопичення електроенергії. Керуючись даними наданими компанією «Highview Power Storage» [8], яка побудувала в Британії дослідну установку, вартість впровадження кріогенних накопичувачів загальною потужністю 1 ГВт на підприємствах чорної металургії становитиме близько 8 млрд. грн. Маючи ефективність на рівні 60% [7], вони дозволять підприємствам отримати сумарну річну економію в 1,82 млрд. грн.

Враховуючи, що тенденція росту цін за електроенергію в Україні в середньому становить 9%, а ставка дисконту знаходиться на рівні 18% [9], термін окупності такого проекту становитиме, приблизно, 5 років і 11 місяців.

Таблиця 1.3 – Порівняння вартості зведення ГАЕС і КАЕС [8]

Система	**Зрілість технології**	**Номінальна потужність**	**Час життя проекту**	**Капітальні витрати**
ГАЕС	Комерційна	100-5000 МВт	30-60 років	€1,000-1,300/кВт
Кріогенний накопичувач (КАЕС)	Демонстраційна	10-250 МВт	>30 років	€500/кВт

Для підвищення ефективності накопичувачів у режимі генерації можна підігрівати рідке повітря за допомогою тепла промислового об’єкту. Тому, наявність на підприємствах великої кількості тепла, яке не утилізується, дає можливість його використання у кріогенних накопичувачах. Це дасть змогу довести ККД установки до 70% [6].

Уже зараз, на існуючій в Україні технологічній базі, виробляється все необхідне для побудови таких кріогенних накопичувачів. Усі складові вільно продаються на ринку. Використовуючи вітчизняні комплектуючі можна досягти відчутного зниження вартості КАЕС.

Висновок. Кріогенні системи накопичення електричної енергії, в умовах сучасної України, можуть стати ефективним засобом економії грошових коштів для підприємств чорної металургії. Завдяки модульній конструкції та використанню існуючих технологій такі системи можна впроваджувати вже сьогодні. Крім того, КАЕС зможуть зробити вагомий внесок у вирівнювання графіку добового споживання ОЕС України. Це дозволить зменшити навантаження на генеруючі потужності у період пікового споживання та полегшити проходження нічного провалу навантаження.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт НЕК «Укренерго» [Електронний ресурс]: Аналіз структури споживання електричної енергії в Україні за 2012 рік – Режим доступу:

http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=117509&cat_id=35380 – Назва з екрана.

2. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. – 6 изд.// М АКАДЕМКНИГА, 2002. стр. 172-175.

3. Щодо цін на електроенергію для металургійних підприємств: Лист НКРЕ України від 09.07.2001 №05-30-09/1665.

4. Офіційний сайт ПАТ «Одесаобленерго» [Електронний ресурс]: Тарифи травень 2014 – Режим доступу: http://www.oblenergo.odessa.ua/index.php/ru/tarify-dlya-yuridicheskikh-lits-arkhif/994-tarifi-traven-2014 - Назва з екрана.

5. Гуртовцев А.Л. Гидроаккумулирующие электростанции. // ЭЛЕКТРО, 2007. №1, стр. 43-48.

6. Популярная механика [Електронний ресурс]: Продавцы воздуха: Криоэнергетика / Санников В.А. – Режим доступу: http://www.popmech.ru/article/11066-prodavtsyi-vozduha/ - Назва з екрана.

7. Перспективы использования аккумулирующих электростанций в энергетике России Суровцев Н. О., научный руководитель кандидат экономических наук Возовик В.П. Сибирский Федеральный Университет.

8. Liquid Air in the energy and transport systems: Opportunities for industry and innovation in the UK. Full Report, ISBN: 978-0-9575872-2-9, 2013, 41 p.

9. Ліга.Фінанси: Депозити – Режим доступу: h– Назва з екрана.

The role of pumped and waste heat technologies in a high efficiency sustainable energy future for the UK, C. N. Markides, Applied Thermal Engineering, 2013.

УДК 621.311

СКІБЧИК В.Ю., *студентка*, науковий керівник: **КОЦАР О.В.**, *к.т.н., доцент*
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»

СКИБЧИК В.Ю., *студентка*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА, НТУУ «КПІ»

SKIBCHYK V.Y., *Student***,** Research Supervisor: **KOTSAR O.V.,** *Ph.D., Ass. Prof.*
INSTITUTE OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT, NTUU «KPI»

ОЦІНКА ГЕНЕРУВАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ ЩОДО ПОКРИТТЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ПОТУЖНІСТЬ В ОРЕ

ОЦЕНКА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА УКРАИНЫ ПО ПОКРЫТИЮ СПРОСА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ В ОРЭ

EVALUATION OF GENERATING POTENTIAL OF UKRAINE SUPPORT THE DEMAND FOR ELECTRIC POWER IN THE ELECTRICITY MARKET

Анотація. *В статті досліджено показники графіку навантаження ОРЕ України. Проаналізовано потенціал генеруючих потужностей України щодо покриття електричного навантаження ОРЕ. Запропоновано шляхи узгодження попиту і пропозиції на електричну потужність через керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів із залученням мінімально необхідного обсягу генеруючих потужностей для покриття електричного навантаження в ОРЕ України.*

Ключові слова: *електрична потужність, електричне навантаження, енергія, керування, контроль, попит, пропозиція, ринок електроенергії, режим електроспоживання.*

Аннотация. *В статье исследованы показатели графика нагрузки ОРЭ Украины. Проанализировано потенциал генерирующих мощностей Украины по покрытию электрической нагрузки ОРЭ. Предложены пути согласования спроса и предложения на электрическую мощность через управление режимами электропотребления конечных потребителей с привлечением минимально необходимого объема генерирующих мощностей для покрытия электрической нагрузки в ОРЭ Украины.*

Ключевые слова: *электрическая мощность, электрическая нагрузка, энергия, управление, контроль, спрос, предложение, рынок электроэнергии, режим электропотребления.*

Abstract. *The article investigates the performance of the load curve of the electricity market of Ukraine. Analyzed the potential generating power of Ukraine to cover the electrical load of the electricity market. The ways of matching demand and supply for electrical power through electrical consumption mode control of end-users with the involvement of the minimum required amount of generating capacity to meet the electrical load in the Ukraine electricity market.*

Keywords: *electrical power, electric load, energy, handling, control, demand, supply, electricity market, electrical consumption mode.*

Мета дослідження

Метою досліджень є аналіз електрогенерувального потенціалу України та розробка шляхів мінімізації обсягів генеруючих потужностей, що залучаються до покриття електричного навантаження в ОРЕ України, через керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів.

Вступ

Одним з головних завдань ринку електричної енергії є узгодження попиту і пропозиції на електричну потужність. Перехід Оптового ринку електроенергії (ОРЕ) України від моделі «єдиного покупця» («пулу») до ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР) вимагає вирішення цього завдання інструментами енергоринку в реальному часі. Разом з тим, повинні бути враховані сучасні світові тенденції, які спрямовані на мінімізацію використання викопного палива, зокрема для виробітку електроенергії. Вирішення цього завдання передбачає, зокрема, пошук шляхів покриття електричного навантаження кінцевих споживачів через залучення нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) [1] та керування режимами електроспоживання [2-5].

Розглянемо типовий графік навантаження ОРЕ (рис.1) та оцінимо електрогенерувальний потенціал України щодо покриття такого графіку.

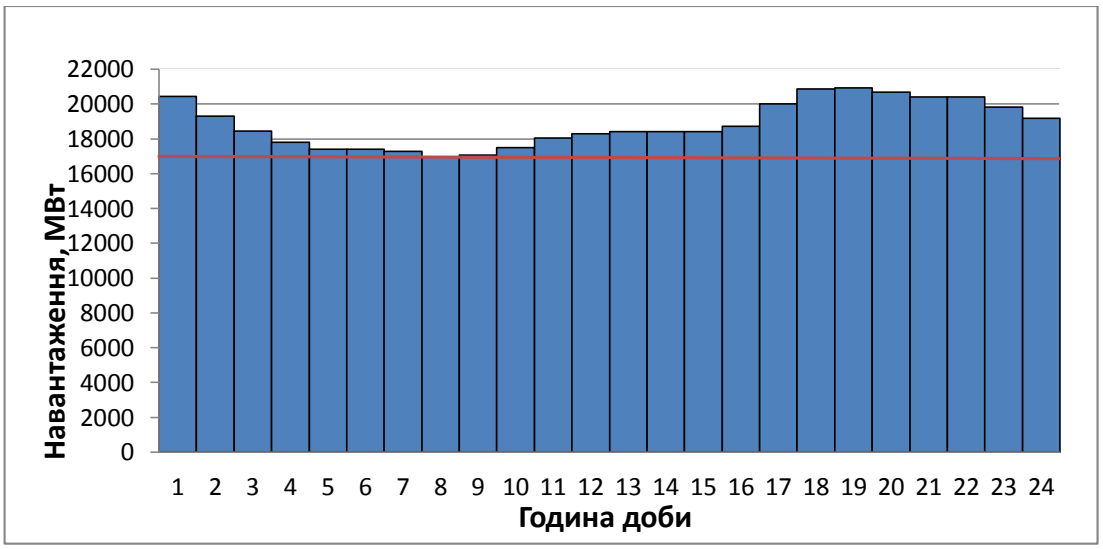


Рис. 1 Графік навантаження ОРЕ України

Відокремимо базову (незмінну) та змінну частини цього графіку. Загальновідомо, що базове навантаження покривається базовими блоками електричних станцій, до яких відносяться в першу чергу блоки атомних електростанцій (АЕС) та базові блоки теплових електростанцій (ТЕС). Змінна частина графіку покривається переважно маневровими блоками ТЕС. Для покриття пікових навантажень залучаються гідроелектростанції (ГЕС) та гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС). Зауважимо, що вартість «маневреної» електроенергії більша за вартість «базової» електроенергії.

Для покриття базової частини досліджуваного графіка навантаження ОРЕ необхідно залучити близько 17000 МВт базових потужностей. В Україні функціонують 15 енергоблоків на 4 АЕС сумарною потужністю 13888 МВт. Всі 15 діючих енергоблоків відносяться до водо-водяних енергетичних реакторів (ВВЕР), з яких: 2 – ВВЕР-440 потужністю 440 МВт і 13-ВВЕР-1000 потужністю 1000 МВт (табл.1). ВВЕР – це пристрій

для одержання енергії за рахунок керованої реакції поділу ядра, в якому теплоносієм і сповільнювачем служить вода під тиском. В середньому одночасно працюють 12 енергоблоків. Отже, за рахунок АЕС можна покрити близько 11440 МВт навантаження.

Енергоблоки з реакторами ВВЕР-440, ВВЕР-1000 (табл.1) мають маневрені властивості, які в принципі дозволяють АЕС в окремі періоди працювати в режимі змінних навантажень. Проте, можливість зупинки енергоблоків на 5 – 8 годин у нічний час під час зменшення навантаження в енергосистемі, а також щоденних глибоких (на 70% і більше) розвантажень визначається наявністю запасу реактивності реакторів. На АЕС з реакторами ВВЕР до моменту заміни палива запас реактивності повністю вичерпується, тому (якщо енергоблок не зупинено) його потужність починає самовільно знижуватися аж до повного затухання, через що маневрені характеристики АЕС з реакторами ВВЕР не є постійними в часі. Саме тому блоки АЕС не використовуються для покриття змінної частини графіка навантаження.

Табл.1 Типи енергоблоків на українських АЕС

Назва	Енерго-блоки	Реактор	Потужність, МВт	Початок будівництва	Ввід в роботу
Запорізька АЕС	1	ВВЕР-1000	1000	1980	1984
	2	ВВЕР-1000	1000	1981	1985
	3	ВВЕР-1000	1000	1982	1986
	4	ВВЕР-1000	1000	1983	1987
	5	ВВЕР-1000	1000	1985	1989
	6	ВВЕР-1000	1000	1986	1995
Рівненська АЕС	1	ВВЕР-440	440	1973	1980
	2	ВВЕР-440	440	1973	1981
	3	ВВЕР-1000	1000	1980	1986
	4	ВВЕР-1000	1000	1986	2004
Хмельницька АЕС	1	ВВЕР-1000	1000	1981	1987
	2	ВВЕР-1000	1000	1985	2004
	3	ВВЕР-1000	1000	1986	план — 2018
	4	ВВЕР-1000	1000	1987	план — 2020
Південноукраїнська АЕС	1	ВВЕР-1000	1000	1977	1982
	2	ВВЕР-1000	1000	1979	1985
	3	ВВЕР-1000	1000	1985	1989
	4	ВВЕР-1000	1000	1987	законсервовано

Відповідно до Закону України «Про електроенергетику» [6] Головний оператор зобов’язаний викупити весь обсяг «зеленої електроенергії», що виробляється НВДЕ. «Зелена» енергетика в Україні представлена вітровими електростанціями (ВЕС), сонячними електростанціями (СЕС) та електростанціями на біомасі.

В Україні працюють близько 12 ВЕС, які за рік виробляють приблизно 650000 МВт·год електричної енергії. За рахунок ВЕС можна покрити близько 190 МВт базової частини графіка навантаження. Інтегрування значних потужностей ВЕС до об’єднаної енергосистеми (ОЕС) України вимагає визначення безпечних рівнів впровадження

вітрової енергетики. Зростання частки ВЕС ускладнює можливості регулювання енергобалансу в силу випадкового характеру вітрової енергії. Одним із проблемних питань є збільшення потреби в регулюючих потужностях, здатних компенсувати раптові зміни виробітку електроенергії ВЕС. Важливими факторами при цьому є швидкість і амплітуда змін, їхня узгодженість з добовими графіками споживання електроенергії і роботи інших електростанцій. Інша проблема масштабного використання ВЕС – узгодженість добового графіка роботи: так, в години максимального споживання енергії важлива здатність ВЕС покривати пікові навантаження; навпаки, при мінімумі споживання наявність потужності від ВЕС обмежить маневрені можливості традиційних електростанцій, що призведе до необхідності їхнього зупинення і погіршення економічних показників [7]. Швидкість вітру змінюється протягом доби, відчуває сезонні та інші зміни. Відповідно змінюється потужність, що виробляється ВЕС, мають місце збільшення і зменшення їхньої частки в загальному навантаженні енергосистеми. Тому, для підтримки частоти струму необхідно мати у складі енергосистеми запас резервних потужностей. Найпростіше це завдання вирішується при спільній роботі на енергосистему вітрових і гідравлічних станцій, у тому числі ГАЕС. Надлишкова енергія, яка виробляється ВЕС в години мінімального споживання енергосистемою, може акумулюватися закачуванням води в розташований вище басейн. Можна використовувати її, закачуючи стиснене повітря в підземні резервуари [8].

Україна має близько 60 СЕС, що за рік виробляють приблизно 563000 МВт·год електроенергії та до 10 електростанцій на біомасі, які виробляють приблизно 75000 МВт·год за рік. За рахунок сонячних станцій можна покрити 92 МВт навантаження, а за допомогою електростанцій на біомасі – 8 МВт.

Отже, за рахунок «зеленої енергетики» можна покрити близько 290 МВт навантаження. Для покриття решти базової частини графіка навантаження, а саме 5270 МВт потужності, можуть бути залучені базові блоки ТЕС у складі 18 блоків 14-х ТЕС. Сумарна потужність всіх блочних ТЕС України становить приблизно 26390 МВт [9]. Характеристики цих станцій представлені в табл.2.

Табл.2 Характеристики блочних ТЕС, підпорядкованих Міністерству енергетики та вугільної промисловості України

Назва станції	Потужність енергоблоків (проектна), МВт	Роки введення в експлуатацію	Перемаркована потужність енергоблоків, МВт
Луганська	8 x 200 + 1 x 100	1961-1969	8 x 175
Старобешівська	10 x 200	1961-1967	10 x 175
Слов'янська	1 x 720	1967-1971	1 x 720
Вуглегірська	4 x 300 + 3 x 800	1972-1977	
Курахівська	1 x 200 + 6 x 210	1971-1975	
Зуєвська	4 x 300	1981-1988	
Придніпровська	4 x 150 + 4 x 300	1958-1965	4 x 285
Криворіжська	10 x 300	1965-1973	10 x 282
Запоріжська	4 x 300 + 3 x 800	1972-1979	
Зміївська	6 x 200 + 4 x 300	1960-1969	6 x 175 + 3 x 275 + 1 x 325
Трипільська	6 x 300	1969-1972	
Ладижинська	6 x 300	1970-1971	
Добротвірська	2 x 150 + 3 x 100	1963-1964	
Бурштинська	12 x 200	1965-1969	8 x 195 + 4x185

Маневреві блоки ТЕС використовуються для покриття змінної частини графіка навантаження. Під маневреністю ТЕС, як і окремих енергоблоків, зазвичай розуміють здатність виконувати добовий графік навантаження, форма якого може змінюватися в достатньо широких межах залежно від періоду року, дня тижня та особливостей конкретної енергосистеми. Це поняття охоплює також сукупність таких вимог до турбін, що входять до складу енергоблоків ТЕС [9]:

- забезпечення пусків і зупинок з будь-якого теплового стану з мінімальними витратами часу та палива;
- можливість стійкої роботи в широкому діапазоні навантажень з найбільш високими швидкостями навантаження і розвантаження;
- можливість отримання додаткової потужності (понад номінальне значення) для покриття пікових і напівпікових навантажень в енергосистемі без зниження техніко-економічних показників;
- можливість забезпечення режиму регулювання частотних характеристик електроенергії мережі, коли число коливань навантаження в межах діапазону регулювання різко зростає;
- здатність нести завдане навантаження під час відхилень від номінальних значень розрахункових параметрів системи (частоти мережі, початкових і кінцевих параметрів пари, температури живильної води, витрати пари тощо);
- здатність тривалої (у період нічного провалу навантаження до 5-6 годин) роботи в моторному режимі або в режимі синхронного компенсатора;
- здатність забезпечувати завдане навантаження або переходити на знижене (майже до навантаження власних потреб), а також можливість короткочасних (на кілька секунд) відключень навантаження з подальшим миттєвим відновленням потужності під час різних аварійних ситуацій в енергоблоці.

Для забезпечення стійкої роботи енергосистеми під час позапланових відключень блоків, у тому числі і АЕС, у ремонтних і аварійних ситуаціях, а також при помилках прогнозування електроспоживання покриття графіка навантаження забезпечується тільки енергоблоками ТЕС. При цьому парк блокового устаткування ТЕС України в основному представлений «базовими» блоками. Робота пиловугільних і газо-мазутних блоків у змінних режимах приводить до зниження їх економічності, збільшуються питомі витрати палива на виробіток електроенергії, підвищуються витрата тепла й електроенергії на власні потреби блоків і ТЕС у цілому при роботі в нестаціонарних режимах. Крім того, робота блоків у змінних режимах супроводжується інтенсивним зношуванням устаткування ТЕС. Слід мати на увазі, що реалізація маневрових можливостей енергоблоків значною мірою залежить від умов паливопостачання ТЕС, що необхідно враховувати при виборі добового графіка навантажень ТЕС і окремих енергоблоків. Україна належить до країн з дефіцитом власних природних вуглеводневих ресурсів. Більшу частину енергоресурсів Україна імпортує з інших країн, зокрема з Росії та Туркменістану.

Для покриття електричного навантаження ОРЕ також залучаються теплоелектроцентралі (ТЕЦ) в період їхньої роботи. Особливістю ТЕЦ є те, що вона виробляє не тільки електроенергію, але й є джерелом теплової енергії в централізованих системах теплопостачання. В зв'язку з цим ТЕЦ працюють тільки в опалювальний період (з 15 жовтня по 15 квітня), коли є потреба в гарячій воді для забезпечення гарячого водопостачання та опалення житлових та промислових об'єктів. В Україні працюють 26 ТЕЦ (табл.3), сумарною електричною потужністю близько 4190 МВт і тепловою – 11400 Гкал/год.

Табл.3 Характеристики ТЕЦ України

ТЕЦ	Встановлена потужність		Рік введення в експлуатацію
	електрична, МВт	теплова, Гкал/год	
Харківська ТЕЦ-5	540	1420,0	1986
Київська ТЕЦ-5	700	1874,0	1974-1976
Київська ТЕЦ-6	750	2070,0	1982-1984
Вінницька	10,0	78,0	1954-1987
Чернівецька	8,0	120,0	1952-1959
Кам‘янець-Подільська	6,0	38,0	1960-1974
Дніпродзержинська	61,6	313,0	1931-1940
Кіровоградська	15,0	84,0	1959-1981
Миронівська	260,0	210,0	1953-1956
Краматорська	150,0	458,0	1936-1977
Сєвєродонецька	270,0	906,0	1956-1977
Лисичанська	15,0	203,0	1932-1989
Черкаська	200,0	648,0	1961-1969
Чернігівська	210,0	409,0	1961-1974
Сімферопольська	278,0	164,2	1958-1961
Камиш-Бурунська	30,0	179,9	1951-1952
Сакська	12,0	97,7	1955-1987
Севастопольська	54,5	141,2	1937-1957
Львівська	31,1	155,0	1930-1954
Одеська	68,0	205,0	1954-1984
Миколаївська	40,0	110,0	1949-1958
Херсонська	80,0	350,0	1956-1967
Харківська ТЕЦ-2 («ЕСХАР»)	74,0	160,0	1952-1957
Харківська ТЕЦ-3	62,0	293,0	1944-1970
Кременчуцька	255,0	671,0	1965-1969
Охтирська	12,0	44,0	1959-1960

Для покриття пікових навантажень використовуються ГЕС і ГАЕС, адже їх особливістю є висока маневреність. Так, пуск гідроагрегатів із зупиненого положення в турбінному режимі із синхронізацією та повним набором потужності становить 1–2 хв., а під час обертання на холостому ході – 15–30 с. Зміна потужності гідроагрегата або його зупинка вимагають кілька секунд. В умовах значної нерівномірності добових графіків навантаження в об’єднаних енергосистемах саме ГЕС і ГАЕС, що володіють більшим діапазоном регулювання, високими швидкостями зміни навантажень, мінімальним часом набору навантаження, пуску й зупинки агрегатів, виконують найважливіші завдання [10]:

- покривають найбільш складну пікову й напівпікову частини графіка навантажень. Під час цього ГЕС і ГАЕС у разі покриття пікової частини графіка навантаження в середньому працюють 2–5 годин на добу, а напівпікової частини графіка – 5–15 годин на добу;
- під час роботи в насосному режимі ГАЕС заповнює провальну частину графіка навантажень, знижуючи його нерівномірність, і забезпечує оптимізацію структури потужностей, що генерують, в енергосистемі за рахунок збільшення потужності базових ТЕС і АЕС;
- виконують функції аварійного та навантажувального резервів енергосистеми;

- використовуються в якості джерел реактивної потужності.

В цілому ГЕС і ГАЕС забезпечують підвищення ефективності та надійності роботи енергосистем. В Україні працюють близько 50 ГЕС і ГАЕС, які виробляють приблизно 14 500 000 МВт·год електричної енергії за рік.

Розглянувши і оцінивши генеруючі потужності можна зробити висновок, що Україна цілком забезпечена базовими потужностями.

Оцінимо графік навантаження ОРЕ. При розрахунковому аналізі графіків навантаження використовують такі показники:

- середнє значення графіка;
- середньоквадратичне значення;
- дисперсія графіка навантаження;
- коефіцієнт форми;
- коефіцієнт максимуму;
- коефіцієнт заповнення графіка навантаження;
- коефіцієнт нерівномірності.

Середнє значення графіка навантаження визначимо за формулою:

$$P_{\text{с}} = \frac{\sum_{k=1}^{24} P_k}{24} = 18847,29 \text{ МВт}.$$

Середньоквадратичне значення, яке ще називається стандартом, знаходиться так:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{24} P_k^2}{24}} = 18891,11 \text{ МВт}.$$

Одним із показників нерівномірності графіка навантаження є його дисперсія, яка визначається як різниця квадратів середньоквадратичного значення і середнього значення:

$$DP = P_{\text{ск}}^2 - P_{\text{с}}^2 = 18891,11^2 - 18847,29^2 = 1653566,62 \text{ МВт}^2.$$

Коефіцієнт форми графіка знаходиться діленням його середньоквадратичного значення на середнє:

$$K_{\text{ф}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{с}}} = \frac{18891,11}{18847,29} = 1,002.$$

Коефіцієнт максимуму дорівнює відношенню максимуму навантаження до середнього значення графіка:

$$K_{\text{м}} = \frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{с}}} = \frac{20935}{18847,29} = 1,11.$$

В розрахунках графіків навантаження застосовується також коефіцієнт заповнення графіка навантаження, що дорівнює відношенню його середнього значення до максимального:

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{м}}} = \frac{18847,29}{20935} = 0,9,$$

тобто коефіцієнт заповнення є величиною оберненою до коефіцієнта максимуму.

Коефіцієнт нерівномірності дорівнює відношенню мінімального значення навантаження до максимального:

$$K_{\text{н}} = \frac{P_{\min}}{P_{\text{м}}} = \frac{16960}{20935} = 0,81.$$

Отже графік ОРЕ України має нерівномірність, яка характеризується такими показниками: коефіцієнт форми $K_{ф} = 1,002$, коефіцієнт максимуму $K_{м} = 1,11$, коефіцієнт заповнення графіка навантаження $K_{з} = 0,9$, коефіцієнт нерівномірності $K_{н} = 0,81$.

Потенційно, покриття графіка навантаження ОРЕ забезпечується енергоблоками АЕС (в середньому 12 енергоблоків сумарною потужністю до 11440 МВт, що складає для наведеного графіка близько 67% базового навантаження), базовими блоками теплових станцій (для наведеного графіка – 5270 МВт, що становить приблизно 31% базового навантаження), а також нетрадиційнми та відновлювальними джерелами енергії (/НВДЕ/ в середньому 290 МВт, що складає близько 2% базового навантаження наведеного графіка ОРЕ). Змінне навантаження повинно покриватися маневровими блоками ТЕС, а також генераторами ГЕС і ГАЕС. Проте для маневрування потужністю часто використовують базові енергоблоки, що призводить до негативних наслідків, зокрема їхнього прискореного зношення, перевитрат ПЕР та збільшення шкідливих викидів.

З наведеного графіка навантаження ОРЕ видно, що в базовому режимі вироблено близько 407000 МВт·год, що становить 90% загального обсягу електричної енергії, виробленої в Україні цієї доби. В режимі маневрування потужністю вироблено близько 45300 МВт·год або 10% загального обсягу електричної енергії, виробленої в Україні цієї доби. Враховуючи невелику частку електричної енергії, виробленої в режимі маневрування потужністю, альтернативою залучення генеруючих потужностей для покриття змінної частини графіка навантаження слід розглядати стимулювання споживачів до зменшення нерівномірності графіка навантаження. Адже нерівномірність виробітку й споживання електроенергії в часі призводить до погіршення режимів роботи енергосистеми та збільшення питомих витрат палива, що врешті решт негативно відбивається на екології довкілля. Не слід також забувати про те, що собівартість електроенергії, виробленої маневровими енергоблоками, значно перевищує собівартість виробітку електроенергії базовими енергоблоками, які мають високу інерційність.

Джерела

1. Праховник А.В. Малая энергетика: Распределенная генерация в системах электроснабжения. Монография. - К.: Освіта України. - 2007. - 464с.
2. Праховник А.В., Коцар О.В. Методологія керування режимами електроспоживання в умовах енергоринку // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 29784 від 05.08.2009р. – 16с.
3. Праховник А.В., Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку // Энерг. и электрификация, 2010. – №2 – С.42 – 52.
4. Коцар О.В. Застосування АСКОЕ для керування режимами електроспоживання в умовах функціонування ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку / Перша міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'10)» - Свалявський р-н, Закарпатська обл., Україна, 14 червня 2010 р. // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2010 р. – С.97 – 102.
5. Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку / Друга міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'11)» – Закарпатська обл., Україна, 7-10 червня 2011 р. // Праці Інституту

електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2011 р. – С.121 – 130.
6. Про електроенергетику: Закон України від 16 жовтня 1997 р. № 575/97-ВР.
7. Кузнецов Н.П. Влияние географической дисперсии ветровых электростанций на режим их работы/ Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 17 (139) 2013. – Научно-технический центр «ТАТА», 2013.
8. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003.-79 с.
9. Повышение энергоэффективности работы турбоустановок ТЭС и ТЭЦ путем модернизации, реконструкции и совершенствования режимов их эксплуатации/ Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко, В. Н. Голощапов, и др.: Под общ. ред. ак. Ю. М. Мацевитого; НАН Украины, Институт проблем машиностроения. - Киев: Наук. думка, 2008. - 366 с.
10. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє [Електронний ресурс]: Науково-пізнавальне видання, 2012-2013. – Режим доступу: http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/ part-2/section-2/2-8. – Назва з екрана.

УДК 620.9.01

Листопадська Т.В., Ковальчук А.М.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛОТИ ПОВІТРЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ

Анотація. В даній статті розглянуто проблему нереалізованого потенціалу енергозбереження системи вентиляції та охолодження повітря на прикладі навчальної аудиторії. Запропоновано встановлення рекуператора теплоти для системи вентиляції та кондиціювання повітря. Це перспективні технології, які допомагають економити кошти та енергоресурси, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Зроблені висновки щодо ефективності використання установки у системах вентиляції.

Ключові слова: опалення, вентиляція, кондиціонування та охолодження повітря, параметри навколишнього повітря, опалювальний період, період охолодження, мікроклімат приміщення, повітрообмін, рецеркуляція повітря, енергетична ефективність, енергозбереження.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУПЕРАТОРА ТЕПЛА ВОЗДУХА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ , ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема нереализованного потенциала энергосбережения системы вентиляции и охлаждения воздуха на примере учебной аудитории. Предложено установки рекуператора тепла для системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Это перспективные технологии, которые помогают экономить средства и энергоресурсы, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Сделаны выводы относительно эффективности использования установки в системах вентиляции.

Ключевые слова: отопление, вентиляция, кондиционирование и охлаждение воздуха, параметры окружающего воздуха, воздухообмен, рекуперация воздуха, энергоэффективность, энергосбережение.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF THE RECUPERATOR AIR HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING

Annotation: This article deals with the problem of unrealized potential saving ventilation and cooling air sample classroom. Proposed installation of heat recovery system for ventilation and air conditioning. This promising technologies that help save money and energy, reduce the negative impact on the environment. Conclusions about the effectiveness of the use of the installation in ventilation systems.

Key words: heating, ventilation, air conditioning and refrigeration , the parameters of the ambient air , air , air heat recovery , energy efficiency , energy saving.

Вступ

Відбирати тепло з повітря технічно, в загальному, простіше, ніж з ґрунту або води. Повітря - універсальний теплоносій доступний всюди. Він не потребує побудови додаткових колекторів для збору тепла.

Взимку зовнішнє повітря, яке має температуру, наприклад -20°С нагрівається до 20°С (згідно [2]) і потрапляє в приміщення. Відпрацьоване нагріте повітря, з температурою 20°С просто викидається на вулицю. Для того щоб нагріти 1000 м^3 повітря на 40 градусів потрібно затратити 14,4 кВт теплової енергії. А літом, коли працюють кондиціонери, на вулицю викидається охолоджене повітря, а в приміщення подається гаряче з температурою + 30-40,

яке знову потрібно охолоджувати, затративши значну кількість енергії.

Отже, традиційна вентиляція – це невиправдано високі фінансові затрати на нагрів приточного повітря взимку і на охолодження влітку. Тому все більшою популярністю для використання енергії витяжного повітря використовують рекуператор тепла.

Постановка задачі

В сучасних будівлях в зимовий період значна кількість теплоти витрачається на нагрів, а влітку на охолодження припливного повітря. Зростання цін на енергоносії стимулює інтерес до утилізації теплоти в системах вентиляції і кондиціювання повітря. Чи існує рішення?

Опис можливості використання теплоти відпрацьованого повітря шляхом встановлення установки з рекуператором в системах кондиціювання та вентиляції.

Ефективне енергозбереження та збалансований припливно-витяжний повітрообмін у приміщенні забезпечують системи вентиляції з теплообмінниками-утилізаторами різних типів, які дозволяють використати теплоту повітря, що видаляється з приміщення для нагрівання холодного зовнішнього повітря, що надходить у приміщення.

Збільшення уваги до енергоефективності систем вентиляції та забезпечення умов мікроклімату в приміщеннях спричинило появу в Україні нових систем утилізації теплоти вентиляційного повітря, до яких відносяться вентиляційне обладнання Lossnay, створене корпорацією Mitsubishi Electric, яка відома своїми розробками в області вентиляції та кондиціювання. Дана установка представляє собою канальну вентиляційну установку, яка складається з теплообмінника з перехресним плином теплоносіїв, припливного і витяжного вентиляторів (рис. 1.1), системи автоматики, байпасного пристрою та фільтрів.

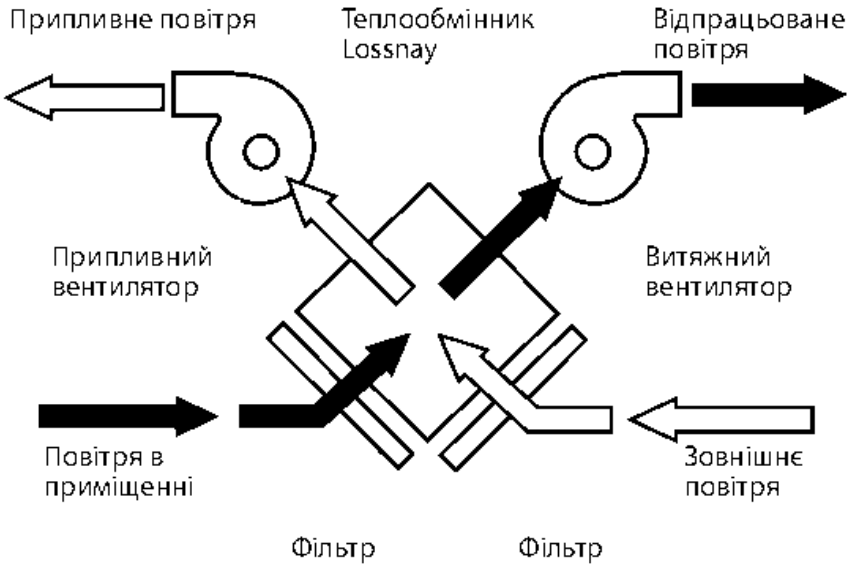


Рис. 1.1 Принципова схема установки Lossnay

Дана установка також має автоматизований блок управління для збору і зберігання даних, подальший аналіз і систематизація яких дозволить ефективно використовувати рекуперацію тепла повітря.

Порівняння затрат на вентиляцію.

Порівняння енергозатрат на нагрів приточного повітря в холодний період року вентиляції без рекуперації тепла та з рекуперацією тепла на прикладі виробничого цеху.

Вихідні дані:

Об'єм приточного повітря в цех -16000 м3/год

Тривалість опалювального періоду для м. Києва – 189 діб

Температура приточного повітря в холодний період року +16°С

Характер роботи цеху – цілодобовий

Ціна газу для підприємств на II квартал 2014 року становить 4 020 грн/1000 м^3

Середня реальна теплотворна здатність природного газу – 8,5 кВт/м^3

Варіант 1-вентиляція без рекуперації тепла.

Розрахунок потужності повітронагрівача приточної вентиляції розраховується за формулою:

$Q = L_b \cdot Cp \cdot \rho \cdot (T_r - T_0)$ (Вт), де

L_b - об'єм приточного повітря (м^3/год),

Cp - теплоємність повітря (Вт год/кг К),

ρ - густина повітря (кг/м^3),

T_r - температура приточного повітря (К),

T_0 - розрахункова температура зовнішнього повітря в холодний період року (К)

$Q = 16000 \cdot 0,28 \cdot 1,2 \cdot (16 - (-22) = 204,288$ кВт.

При нормативній середньомісячній температурі в холодний період для м. Києва в -1,1 °С споживана повітронагрівачем теплова потужність складе:

$Q = 16000 \cdot 0,28 \cdot 1,2 \cdot (16 - (-1,1) = 91,929$ кВт.

Вартість 1кВт тепла для нагріву приточного повітря гарячою водою від котельної становить $4020 грн / 1000 м^3 / 8,5 кВт/м^3 = 0,473$ грн.

Вартість нагріву приточного повітря за опалювальний період становить:

$Q = 0,473 \cdot 189 \cdot 24 \cdot 91,929 = 197236,24$ грн.

Варіант 2 - вентиляція з рекуперацією тепла

Середня ефективність пластинчатого перехресно-точного рекуператора продуктивністю 16000 м3/год в холодний період року становить 59%.

При нормативній середньомісячній температурі в холодний період для м. Києва в -1,1 °С споживана повітронагрівачем теплова потужність в установці з рекуперацією складе:

$Q = 16000 \cdot 0,28 \cdot 1,2 \cdot (16 - (-1,1)) \cdot (1 - 0,59) = 37,691$ кВт.

Вартість нагріву приточного повітря за опалювальний період в установці становить:

$Q = 0,473 \cdot 189 \cdot 24 \cdot 37,691 = 80867,09$ грн.

Економія на нагрів приточного повітря завдяки рекуперації тепла за опалювальний період становитиме:

$E = 197236,24 - 80867,09 = 116369,15$ грн.

Порівнюючи ціни на газ за останні роки, можна зробити висновок, що ріст ціни складає близько 20% щороку.

Розрахунок економії коштів на нагрів приточного повітря напротязі ступних 3 років показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Рік	Енергозатрати на нагрів приточного повітря вентиляцією без рекуперації, грн	Ріст ціни на газ за рік, %	Енергозатрати на нагрів приточного повітря вентиляцією з рекуперацією, грн	Економія на нагрів приточного повітря вентиляцією з рекуперацією, грн
2015	343 213,56	20	140 717,37	202 496,19
2016	411 856,27	20	168 860,84	242 995, 43
2017	494 227,52	20	202 633,01	291 594, 51

Висновки

Розглянутий метод рекуперації теплової енергії в системах вентиляції та кондиціювання повітря має своїм завданням істотне скорочення енергоспоживання, а також зниження навантаження на навколишнє середовище. В даний час рекуперація отримала широке поширення в більшості європейських країн, деякі з яких, як, наприклад, Швейцарія, законодавчим чином забороняють розробку і реалізацію проектів систем вентиляції, що не використовують ті чи інші засоби рекуперації теплової енергії. Основними факторами все більш зростаючого інтересу в Україні до систем рекуперації тепла є:

. зростання цін на енергоносії;

. обмеження на встановлену потужність (наприклад, в центральних районах великих міст);

. державна політика в галузі енергозбереження;

. ряд нових стандартів і технічних вимог, що регламентують проектування, виготовлення і використання енергозберігаючого обладнання.

Економічна обгрунтованість застосування рекуператорів взагалі і пластинчатих теплообмінників зокрема більш ніж очевидна в умовах відносно суворого українського клімату, оскільки вона безпосереднім чином залежить від температурного контрасту. Чим більше різниця температур повітря зовні і всередині будівлі, тим більше що досягається економічний ефект.

Література:

1. М.К.Безродний, М.А. Галан. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьовано //Енергетика: економіка, технології,екологія. – 2012. - №1. – С.103-110.

2. ДБН В 2.6-31, ДСТУ-Н Б А.2.2-5

3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Енергозбереження будівель і споруд» Київ, «Політехніка», 2010

4. *Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания*

5. *М. Е. Дискин, канд. техн. наук, «КЛИМАТВЕНТМАШ» Мацевитий Ю.М., Чиркин Н.Б., Богданович Л.С., Клепанда А.С.* Внедрение теплонасосных установок // экотехнологии и ресурсосбережение. — 2008. — № 3. — С. 4—10.

6. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://farex.ua/ru/products/vent/energo_vent/centr_vent/
7. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.ekosystem.lviv.ua/p-priceViallant
8. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://ekoshop.kiev.ua/04/rekuperator-tepla-ventylyatsyonnoho-vozduha-–-effektyvnoe-enerhosberezhenye-yly-neopravdannoe-rastochytelstvo.htm
9. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://attilanet.ru/sozdanie-sistemy-ventilyacii-dlya-detskogo-sada.html

УДК 517.4:621

М.Ю. Кудрицький, Т.М. Лутчин, А.В. Волошко

ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ОБЛІКОВИХ ДАНИХ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА
ВОССТАНОВЛЕНИЕ УТЕРЯННЫХ УЧЕТНЫХ ДАННЫХ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
RECOVERY OF ACCOUNTING DATA OF ENERGY CONSUMPTION ON THE CHEMICAL ENTERPRISE

На прикладі даних обліку і витрати енергоресурсів цеху з виробництва аміаку визначені помилки математичних моделей при використанні всього обсягу вибірки залежностей середньогодинного споживання електроенергії P, кВт·год від даних вироблення аміаку на годину A, т.

Ключові слова: відновлення даних, помилка моделі, n-факторні моделі.

На примере данных учета и расхода энергоресурсов цеха по производству аммиака определены ошибки математических моделей при использовании всего объема выборки зависимостей среднечасового потребления электроэнергии P, кВт·ч от данных выработки аммиака в час A, т.

Ключевые слова: восстановление данных, ошибка модели, n-факторные модели.

By the data of accounting and energy consumption for the production of ammonia were defined errors of mathematical models using the total volume of sample dependency average hourly power consumption P, kW·h of data generation ammonia per hour A, t.

Keywords: data recovery, model error, n-factor models.

Вступ. Недостатність даних обліку про енергоспоживання на промислових підприємствах призводить до неврахування енергоресурсів, відсутністості можливості контролю енергоефективності виробничих об'єктів. Для вирішення даних питань прийнято застовувати віднoвлення даних. Відновлення даних необхідно починати з перевірки їх вибірок на наявність випадкових значень.

Знання механізму, що приводить до втрати значень, є ключовим при виборі методів аналізу та інтерпретації результатів [1].

Основними причинами втрати даних зазвичай є [2]: апаратні та системні відмови, людський фактор, програмні помилки, віруси, крадіжки і розкрадання, стихійні лиха (повені, землетруси, урагани, техногенні аварії).

За видом пропусів втрачені дані поділяють на [3] :

1) повністю випадкові пропуски (data are missing completely at random - MCAR), якщо умовна ймовірність не залежить ні від самого пропущеного значення змінної, ні від значень інших змінних (ця ймовірність постійна для всіх спостережень);

2) випадкові пропуски даних (missing at random - MAR), якщо їх ймовірність не залежить від самого пропущеного значення змінної, але може залежати від значень інших змінних (у цих випадках механізм пропусків неістотний і до даних можливо застосувати більшість методів відновлення пропусків);

3) істотні пропуски даних, якщо їх ймовірність залежить від самого пропущеного значення змінної (механізм перепусток є істотним і для коректного аналізу даних необхідно знати цей механізм).

Мета та завдання дослідження. Обґрунтування вибору методу відновлення втрачених облікових даних на промислових підприємствах.

Короткий опис алгоритмів відновлення даних. Можна виділити наступні групи методів заповнення пропусків: прості та складні [4]. До простих (неітеративним) алгоритмам

на основі простих арифметичних операцій відносяться: заповнення пропусків середнім арифметичним, метод найближчого сусіда, підбір в групі і регресійне моделювання пропусків.

Найпростішим методом є заповнення середнім арифметичним значенням за обліковими даними. Він не вимагає застосування спеціального програмного забезпечення. Середні значення, обчислені на вихідному і перетвореному масивах, збігаються. Однак такого роду перетворення «усереднює» данні, зменшуючи дисперсію ознаки, і, отже, показники кореляції , що призводить до заниження оцінки .

Метод підбору в групі передбачає, що пропуски будуть заповнені значеннями, які були отримані в результаті оцінювання розподілу даних по групах. Недоліком даного методу є те, що він вимагає значних обчислювальних витрат .

При використанні методу парної або багатовимірної регресії будується модель лінійної залежності змінної, в якій необхідно заповнити пропуски, від ряду інших наявних ознак. Регресійні коефіцієнти для кожного з предикторів знаходяться методом найменших квадратів в масиві з повними даними. Підставляючи значення предикторів в регресійне рівняння , отримують прогноз пропущеного показника.

Високу якість відновлення даних забезпечує метод сплайн - інтерполяції , особливо для одиничних пропусків і невеликих вибірок. У разі відновлення групи послідовних пропусків результат апроксимації сплайном даної групи не завжди дає оцінки, що наближаються з достатньою точністю до значень, які могли б бути на місці пропусків [3]. На практиці найчастіше використовують кубічні сплайни і сплайни, що не змінюють форму кривої (сплайни shape - preserving).

Метод експоненціального згладжування можливий для відновлення одиничних даних для вибірки невеликого обсягу (наприклад , часовий ряд погодинних значень за добу).

Складні (ітеративні) алгоритми припускають оптимізацію деякого функціоналу, що відображає точність розрахунку підставляється на місце пропуску значень. Їх ділять на глобальні та локальні.

Особливістю локальних алгоритмів є оцінювання (пророкування) кожного пропущеного значення з використанням повного спостереження, які знаходяться в деякій близькості до прогнозованого об'єкта.

Глобальні алгоритми для оцінювання кожного пропущеного значення оперують усіма об'єктами розглянутої вибірки. До них належать [4]:

- Метод Бартлетта, який являє собою алгоритм, що включає три ітерації. На першій ітерації пропуски заповнюються деяким початковим значенням (наприклад, середнім арифметичним за наявними даними). На другій ітерації для перетвореної змінної будується регресійна модель. На заключному етапі на основі отриманого регресійного рівняння прогнозуються нові значення для пропусків.

- Алгоритм Resampling (метод попарного порівняння): вибірки даних, які містять пропущені дані замінюють випадково підібраними рядками з матриці повних спостережень. Потім будується регресійне рівняння для передбачення відсутнього значення. Процедура побудови регресійного моделювання повторюється декілька разів. Після певної кількості повторень значення отриманих регресійних коефіцієнтів усереднюють і отримують остаточне рішення з максимальною точністю прогнозу пропущеного значення [5].

Оцінювання помилок простих і складних методів відновлення даних. Для побудови і порівняння багатофакторних моделей , розглянемо дані енергоспоживання, витрати ресурсів і вироблення продукції на хімічному підприємстві. Так, якщо електроспоживання E цеху з виробництва аміаку залежить від обсягу випуску аміаку A і від споживання природного газу G, то при наявності пропусків даних і в залежних, і в

незалежних змінних і при тісному зв'язку між цими змінними необхідно для відновлення даних будувати 3 моделі: E = f (A), A = f (G) , G = f (E).

Для наочності фрагмент таблиці вихідних даних наведено в табл. 1 у вигляді середньогодинних значень за 01.05.2012 . Прогалини даних представлені символом * .

Для даних хімічного виробництва математичні моделі визначалися трьома простими методами (заміни пропуску середнім арифметичним значенням, підбору в групі і регресійним методом) і двома складними методами (Барлетта і Resampling), а також методами сплайн-інтерполяції кубічним сплайном і одним з методів екстраполяції - методом експоненціального згладжування. При відновленні даних методом Resampling модель будувалася без повторень.

Таблиця 1. Вихідні дані по енергоспоживанню

Час	Вирбництво аміаку *A*, т	Споживання електроенергії *E*, МВт·г	Споживання природного газу *G*, тис. м^3
0:00:00	39,699	31,988	45,211
1:00:00	39,292	32,005	45,182
2:00:00	39,644	31,932	45,357
3:00:00	39,929	31,923	45,122
4:00:00	39,684	32,105	45,481
5:00:00	*	32,056	45,782
6:00:00	39,422	32,063	*
7:00:00	43,174	32,098	45,602
8:00:00	42,055	31,971	45,608
9:00:00	40,449	31,953	45,023
10:00:00	41,385	31,860	44,973
11:00:00	38,386	31,759	45,042
12:00:00	39,183	*	45,100
13:00:00	40,331	31,640	44,743
14:00:00	*	31,806	44,836
…	….	…	…

Методом парної регресії розраховувалися помилки прямих і зворотних моделей. Для визначення параметричної моделі доцільно використовувати відрізки рядів Фур'є Fourier, суму синусоїдальних функцій SumSin, експоненційні Exp, статичні Power, поліноміальні Polynomial, раціональні RAT та інші функції. Далі виконувався підбір параметрів, проводився аналіз придатності наближення з графічним відображенням результату [12]. Потім вибиралися найкращі параметричні моделі кожного виду функції .

Результати розрахунків простих і складних методів для трьохфакторної моделі з різними інтервалами визначення зведені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунків простих та складних методів для трьохфакторної моделі з різними інтервалами визначення

Кількість часових інтервалів у вибірці	Вид залежності	Помилка простих методів, %			Помилка методу експоненційного згладжування, %	Помилка методу сплайн-інтерполяції, %	Помилка складних методів, %	
		Метод середнього арифметичного	Метод підбора в групі	Регрессійний метод			Метод Resampling	Метод Bartlett
24	$A= f(G)$	0,08	2,42	1,25	2,2	2,42	2,60	1,02
	$E = f(A)$	0,01	0,75	0,26	0,08	0,75	0,10	0,09
	G = f (E)	0,01	0,54	0,37	0,11	0,54	0,61	0,24
168	$A= f(G)$	0,91	0,01	2,1	-	-	3,43	9,45
	$E = f(A)$	0,36	0,03	0,53	-	-	0,08	3,62
	G = f (E)	0,64	0,03	1,03	-	-	0,06	3,78
700	$A= f(G)$	1,04	0,10	2,07	-	-	2,16	6,53
	$E = f(A)$	0,52	0,01	1,41	-	-	0,91	4,01
	G = f (E)	0,62	0,01	1,53	-	-	0,74	2,44
1050	$A= f(G)$	0,94	0,04	1,97	-	-	1,38	2,28
	$E = f(A)$	1,93	0,02	1,26	-	-	0,63	3,91
	G = f (E)	0,47	0,02	1,61	-	-	2,56	0,96

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що кращу якість відновлення даних енергоспоживання в цеху хімічного виробництва забезпечує простий метод підбору в групі. Оптимальним обсягом вибірки даних, що забезпечує мінімальну помилку, є мінімальна за обсягом добова вибірка даних (24 значення незалежної і 24 значення залежної змінних). Тому досліджуваний процес електроспоживання на даному хімічному виробництві можна віднести до необоротних процесів [13], тобто збільшення числа спостережень тільки погіршить прогнозні і аналітичні властивості моделі.

Як випливає з умови стаціонарності, для найбільш повного аналізу стаціонарних процесів слід зібрати якомога більше статистичних даних про них. У цьому випадку більш точно визначити і спрогнозувати характеристики процесу, вдасться якщо більш повною буде вибірка спостережень за ними [14]. Для нестаціонарних процесів таке правило не застосовується.

Під незворотними розуміються неоднорідні в часі процеси, характеристики яких необоротно змінюються з часом t і є варіантними щодо тимчасових зрушень:

$$t \to t+T, Y(t) \to Y(t+T) + \Delta Y(T)$$

при будь-якому фіксованому T (дійсному чи цілому), де приріст ΔY (T) однозначно не випливає з характеристик процесів в момент часу t. У разі, коли прирощення ΔY (T) не мають якої-небудь досить гладкою тенденції в часі та їх зміни непередбачувані (наприклад, на першому ж спостереженні ΔY (T) може бути досить велике в порівнянні з самим показником Y (T), то такі незворотні процеси - хаотичні [14] .

Хороша якість відновлення даних для вибірки об'ємом 24 значення показують методи сплайн-інтерполяції та експоненціального згладжування. Встановлено, що метод

експоненціального згладжування забезпечує високу точність відновлення даних при коефіцієнті варіації значень часового ряду до 2%.

Необхідно вказати , що ці методи забезпечують хорошу якість відновлення одиночних пропущених даних енергоспоживання. За відсутності кількох даних поспіль краще використовувати регресійний метод.

Помилки прямих і зворотних залежностей математичних моделей відновлення облікових даних хімічного підприємства. Розглянемо способи відновлення даних табл. 1 за допомогою різних видів математичних моделей (табл. 3). Для розрахунку втрачених даних використовувався регресійний метод, який визначає помилки моделей для прямих і зворотних залежностей E = f (A) і E = f (G).

Таблица 4. Способы восстановления данных при помощи различных видов математических моделей для прямых и обратных зависимостей энергопотребления

Вид математич-ної моделі	Об'єм вибірки, годин	E = f (A)	A=f(E)	Середнє значення	E =f(G)	G=f(E)	Середнє значення
Exp	24	0,26	2,16	1,21	0,21	0,38	0,29
Fourier		0,27	2,15	1,21	0,30	0,44	0,37
Polynomial		0,28	2,21	1,25	0,21	0,38	0,29
Power		0,28	2,15	1,21	0,21	0,38	0,29
RAT		0,28	2,16	1,22	0,21	0,37	0,29
SumSin		0,27	2,18	1,23	0,31	1,34	0,82
Exp	48	1,13	2,64	1,88	0,95	3,71	2,33
Fourier		3,13	2,69	2,91	1,08	2,99	2,03
Polynomial		1,12	2,79	1,96	1,91	3,73	2,82
Power		1,39	2,69	2,04	2,02	3,74	2,88
RAT		1,11	2,57	1,84	0,97	2,48	1,73
SumSin		0,87	2,57	1,72	0,65	2,06	1,36
Exp	168	0,97	2,26	1,61	0,99	1,55	1,27
Fourier		0,75	6,16	3,45	1,20	1,39	1,29
Polynomial		0,83	1,98	1,41	0,99	1,42	1,21
Power		1,21	2,07	1,64	0,96	1,46	1,21
RAT		0,91	1,91	1,41	0,95	1,22	1,09
SumSin		0,53	1,68	1,11	0,58	1,03	0,80
Exp	350	1,18	1,94	1,56	1,03	1,48	1,26
Fourier		1,14	4,07	2,61	1,10	1,04	1,07
Polynomial		1,14	1,94	1,54	1,03	1,53	1,28
Power		1,31	1,94	1,63	1,03	1,74	1,39
RAT		1,11	1,94	1,52	1,03	1,19	1,11
SumSin		1,24	1,69	1,46	0,85	1,04	0,94
Exp	700	1,66	2,00	1,83	1,37	1,82	1,60
Fourier		1,50	2,08	1,79	1,35	1,70	1,52
Polynomial		1,51	2,13	1,82	1,35	1,71	1,53
Power		1,62	2,09	1,86	1,34	2,14	1,74

Вид математич-ної моделі	Об'єм вибірки, годин	E = f (A)	A=f(E)	Середнє значення	E =f(G)	G=f(E)	Середнє значення
RAT		1,47	1,90	1,69	1,32	1,75	1,54
SumSin		1,41	1,85	1,63	1,35	1,53	1,44
Exp		1,46	1,96	1,71	1,71	1,84	1,78
Fourier		1,33	1,95	1,64	1,53	1,67	1,60
Polynomial		1,32	2,12	1,72	1,56	1,71	1,64
Power		1,42	2,08	1,75	1,64	2,07	1,85
RAT		1,36	1,82	1,59	1,61	1,65	1,63
SumSin	1050	1,26	1,83	1,55	1,37	1,61	1,49

Результати обчислень табл. 3 вказують на те, що при однакових значеннях коефіцієнта парної кореляції значно відрізняються значення помилок прямих і зворотних моделей E = f (A) і E = f (G). Таким чином, один і той же метод відновлення даних не може забезпечити високу точність на всьому інтервалі зміни фізичної величини у часі (на тимчасовому ряді). Тому для практичного застосування рекомендується використовувати один з методів, що визначають помилку моделі , використовуючи тільки часовий ряд, і один з методів, що враховує взаємозв'язок між фізичними величинами.

Висновки. В результаті досліджень в даній статті було:

1. Впорядковано способи підвищення точності побудови однофакторних і багатофакторних математичних моделей.

2. Доведено , що кращу якість відновлення даних енергоспоживання забезпечує метод підбору в групі, а оптимальний обсяг вибірки даних з мінімальною помилкою є добова вибірка значень.

3. Зведено відновлення даних складними глобальними методами Барлетта і Resampling до методу парної регресії, яка проста в обчисленні.

4 . Запропоновано для коротких вибірок для відновлення загублених одиночних даних енергоспоживання використовувати сплайн-інтерполяцію і метод експоненціального згладжування, що забезпечують помилку моделей до 1-2 %.

5. Встановлено, що метод експоненціального згладжування можливо застосовувати для відновлення даних при коефіцієнті варіації значень часового ряду до 2%.

6. Доведено, що процес енергоспоживання хімічного виробництва є незворотнім процесом.

7. Встановлено, що помилки моделей прямий і зворотних парних залежностей не залежить від коефіцієнта парної кореляції .

8. Запропоновано використовувати на практиці одночасно один з методів, які визначають помилку моделі, використовуючи тільки часовий ряд, і один з методів, що враховує взаємозв'язок між фізичними величинам, для забезпечення високої точності відновлення даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Литтл Р.Дж., Рубин Д.Б.А.Статистический анализ данных с пропусками / М.: *Финансы и статистика*. − 1990. – 336 с.
2. Зинкевич В. С., Штатов Д. К. Информационные риски: анализ и количественная оценка // *М.: Бухгалтерия и бланки*.– № 1. – 2007. – С. 50 – 55.

3. Круглов В.В., Абраменкова И.В. Методы восстановления пропусков в массивах данных // Программные продукты и системы. – 2005. – № 2. [Эл. ресурс]. – Режим доступа к журн.: http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=528
4. Бых А.И., Высоцкая Е.В., Рак Л.И. [и др.] Выбор метода восстановления пропущенных данных для оценки сердечно-сосудистой деятельности подростков // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2010. – №3. – С. 4-7.
5. Злоба Е. А., Яцкив И. Р. Статистические методы восстановления пропущенных данных // *Computer Modelling & New Technologies* –Vol. 6 – 2004. – С. 51 –61.
6. Бедерак Я.С., Лутчин Т.Н., Кудрицкий М.Ю. Влияние объема выборки данных энергопотребления на ошибку математической модели // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2013. –№12 (Ч. 1). – С. 37 –40.
7. Волошко А.В., Лутчин Т.Н., Бедерак Я.С. Восстановление учетных данных энергопотребления на промышленных предприятиях // *Материалы VII МНПК,* 26.11.2012 г. – Москва, 2012. – С. 179–188.
8. Волошко А.В., Бедерак Я.С., Лутчин Т.М. Проблеми вибору оптимальної математичної моделі енергоспоживання на промислових підприємствах // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Вип.5/8(65). – С.19–23.
9. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / Киев: Техника, 1975. – 312 с.
10. Стеценко І.В., Бедерак Я.С. Побудова багатофакторних математичних моделей енергоспоживання на хімічному виробництві // *Энергосбережение, энергетика, энергоаудит*. – 2013. –№7. – С. 41 – 48.
11. Находов В.Ф., Стеценко І.В., Бедерак Я.С. Застосування методів самоорганізації математичнихмоделей енергоспоживання для встановлення «стандартів» в системах оперативного контролю енергоефективності // *Энергосбережение, энергетика, энергоаудит.* – 2010. – №5. – С.23-33.
12. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник / *СПб.: Питер*, 2001. − 480 с.
13. Лук'яненко І. Г., Краснікова Л. І. Економетрика: Підручник // *К.: Товариство "Знання", КОО.* − 1998. – 494 с.
14.Светуньков С.Г., Светуньков И.С. Методы социально-экономического прогнозирования: Учебник для вузов. Том I / *СПб.: Изд-во СПбГУЭФ,* 2009. – 147 с.

УДК 662.963

К. В. Рабчук, студент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ,
Стрелкова Г.Г., к.ф.-м.н., доцент**.**

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ АМІАКУ НА ОСНОВІ РОЗРОБКИ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
ANALYSIS OF THE AMMONIA SYNTHESIS PROCESS BASED ON THE DEVELOPMENT OF THE DYNAMIC MODEL

Аміак є одною з неорганічних хімічних речовин з найвищою часткою виробництва в світі. Процес синтезу аміаку є енергозатратним та потребує детального аналізу. Такий аналіз є можливим та безпечним за допомогою моделювання процесу. Дана стаття розглядає моделювання реактору синтезу аміаку та виконання експерименту над моделлю. Модель є динамічною, що дозволяє краще зрозуміти процес синтезу при раптовій зміні параметрів процесу.

Ключові слова: аміак, реактор, процес синтезу, моделювання, динамічна модель, MATLAB.

Аммиак является одним из неорганических химических веществ с высокой долей производства в мире. Процесс синтеза аммиака является энергозатратным и требует детального анализа. Такой анализ возможен и безопасен при помощью моделирования процесса. Данная статья рассматривает моделирование реактора синтеза аммиака и выполнения эксперимента над моделью. Модель является динамической, что позволяет лучше понять процесс синтеза при внезапном изменении параметров процесса.

Ключевые слова: аммиак, реактор, процесс синтеза, моделирование, динамическая модель, MATLAB.

Ammonia is one of the inorganic chemicals with the highest production rate in the world. The process of ammonia synthesis has a high energy consumption and requires detailed analysis. Such an analysis is feasible and safe using simulation of the process. This paper examines the simulation of the ammonia synthesis reactor and the experiment on the model. The model is dynamic, which allows better understanding of the synthesis process in case of the sudden change of the operating parameters.

Keywords: ammonia, reactor, synthesis process, modeling, dynamic model, MATLAB.

Вступ

Аміак є одною з неорганічних хімічних речовин з найвищою часткою виробництва в світі. 131 мільйонів тон аміаку були вироблені в 2010 році, згідно зі статистикою [1], зокрема, 3,4 мільйони тон – в Україні, 1,8 мільйони тон – в Польщі, 1,1 мільйони тон – в Румунії, 2,7 мільйони тон – в Німеччині. Статистика виробництва аміаку підприємствами України за 2011 рік згідно з [2] приведена на рис. 1. За цей рік в Україні було вироблено 4,8 мільйони тон аміаку.

Актуальність виробництва аміаку пояснюється тим, що близько 80 % виробленого аміаку використовується для отримання добрив у сільському господарстві. Водний розчин аміаку використовується у фармацевтиці. Також аміак застосовується як холодоагент в холодильних установках та для виробництва вибухових речовин.

Аміак синтезується з водню та азоту при високій температурі і тиску в каталітичному процесі, де зазвичай, умови синтезу – тиск близько 200 бар, температура в діапазоні 370-500 ^{0}C. Дана реакція є екзотермічною, тому тепло відводиться за допомогою теплообмінників.

Ефективність процесу пов’язана з умовами перебігу процесу синтезу аміаку, зокрема з умовами стійкості процесу.

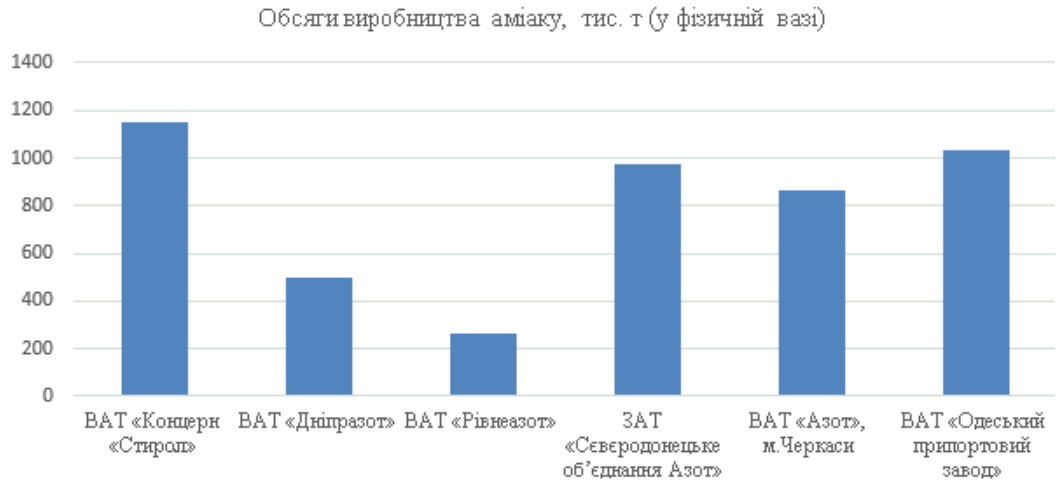


Рис. 1. Статистика виробництва аміаку підприємствами України за 2011 рік

Раніше вважалося, що всі хімічні реакції монотонно прагнуть до рівноваги [3], але на практиці виявлено, що деякі хімічні реакції можуть набувати коливального характеру. Сюди відноситься і процес синтезу аміаку. Так у Німеччині в 1989 році на одному з підприємств синтезу аміаку спостерігались коливання температури в діапазоні приблизно 300-500 ^{0}C з періодом коливань близько 6 хвилин [4], що призвело до руйнування матеріалу реактору та погіршення процесу каталітичного синтезу. Однією з причин нестійкості роботи реактору є невідповідність умов процесу теплообміну. Нестійкий режим роботи реактору загрожує як виходу з ладу реактору, так і робочому персоналу.

Оскільки велика частина досліджень за даною темою орієнтована на аналіз процесів в усталеному режимі, є необхідність розробки динамічної моделі. Дана робота розглядає динамічне моделювання процесу синтезу, що є досить новим напрямом дослідження саме для процесу виробництва аміаку. Під моделюванням розуміється заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкта-моделі шляхом проведення експерименту з моделлю.

Загалом процес моделювання представлений таким чином: використовуючи раніше відомі дані про об'єкт, висувається гіпотеза, за якою на основі аналогії будується наочна спрощена логічна схема (модель) і з нею проводиться експеримент для вивчення властивостей об'єкта. Модель – об'єкт-заступник об'єкта-оригіналу, що забезпечує вивчення деяких властивостей оригіналу.

Дана робота виконана протягом навчання за магістерською програмою «Техніка та системи автоматичного управління» в рамках співпраці між Національним технічним університетом України «Київським політехнічним інститутом» та Університетським коледжем «Телемарк» (Норвегія) на замовлення компанії Yara International ASA (Норвегія).

Завдання та мета дослідження

Метою даної роботи є розробка спрощеної динамічної моделі процесу синтезу аміаку (для випадку відсутності автоматичного контролю).

До завдань роботи можна віднести наступні:

1. Розробка динамічної моделі реактору синтезу аміаку за припущення ідеального перемішування всередині реактору.

2. Моделювання процесів синтезу аміаку у програмному середовищі MATLAB та аналіз результатів.

Результати дослідження

Моделювання реактора синтезу аміаку було почато з наступних припущень:
1) Зміною потенційної енергії і кінетичної енергії можна знехтувати, так як вони малі в порівнянні зі змінами внутрішньої енергії.
2) Компонентами газової суміші в реакторі вважаємо аміак, водень, азот та аргон.
3) Суміш газів в реакторі вважаємо ідеальним газом, що також має на увазі ідеальне перемішування компонентів газу.
4) Об'єм і тиск у реакторі є постійними.
5) Осьовий потік.
6) Температура газу дорівнює температурі каталізатора.
7) Швидкість газу в поперечному перерізі реактору є постійною.
8) Немає зміни температури, тиску та складу газової суміші в поперечному перерізі реактору.
Результатом дослідження є спрощена динамічна модель реактору синтезу аміаку відповідно до виразу (1).

$$\frac{dn}{dt} = \dot{n}^{i} - \dot{n}^{o} + \dot{n}^{g}, \qquad (1)$$

де $n = \begin{bmatrix} n_{NH3} & n_{H2} & n_{N2} & n_{Ar} \end{bmatrix}$ – вектор змінних стану системи, тобто кількість молів аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, *кмоль*;
$\dot{n}^{i} = \begin{bmatrix} \dot{n}^{i}_{NH3} & \dot{n}^{i}_{H2} & \dot{n}^{i}_{N2} & \dot{n}^{i}_{Ar} \end{bmatrix}$ – вектор вхідних молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, *кмоль/с*. Значення вхідних молярних потоків занесено до табл. 1.
$\dot{n}^{o} = \begin{bmatrix} \dot{n}^{o}_{NH3} & \dot{n}^{o}_{H2} & \dot{n}^{o}_{N2} & \dot{n}^{o}_{Ar} \end{bmatrix}$ – вектор вихідних молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, *кмоль/с*. Значення вихідних молярних потоків розраховуємо за формулою (2).
$\dot{n}^{g} = \begin{bmatrix} \dot{n}^{g}_{NH3} & \dot{n}^{g}_{H2} & \dot{n}^{g}_{N2} & \dot{n}^{g}_{Ar} \end{bmatrix}$ – вектор генерованих в процесі реакції молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, *кмоль/с*. Значення генерованих молярних потоків розраховуємо за формулою (4).

$$\dot{n}^{o} = \frac{n}{\sum_{j} n_{j}} \left[\frac{\tilde{\bar{c}}_{p\,gas} \cdot \left(\sum_{j} \dot{n}^{i}_{j} \right) \cdot \left(T_{i} - T \right) + \left(-2\Delta\tilde{H}_{r} \right) \cdot r \cdot V}{T \cdot \left(\tilde{\bar{c}}_{p\,gas} \cdot \left(\sum_{j} \dot{n}^{i}_{j} \right) + C_{p\,cat} \right)} \cdot \left(\sum_{j} n_{j} \right) + \left(\sum_{j} \dot{n}^{i}_{j} + \dot{n}^{g}_{j} \right) \right], \qquad (2)$$

де $\tilde{\bar{c}}_{p\,gas}$, $C_{p\,cat}$, $-\Delta\tilde{H}_{r}$ та V – відомі параметри моделі, занесені до табл. 2;
j – номер компоненти газової суміші: 1 – аміак, 2 – водень, 3 – азот, 4 – аргон;
T_{i} – вхідна температура газової суміші, занесена до табл. 1;

Таблиця 1 – Початкові умови та робочі умови для моделі

Умови	Значення	Одиниця вимірювання	Опис
$n_{NH3}(t=0)$	1.37	*кмоль*	Початкова кількість молів аміаку
$n_{H2}(t=0)$	44.89	*кмоль*	Початкова кількість молів водню
$n_{N2}(t=0)$	15.46	*кмоль*	Початкова кількість молів азоту
$n_{Ar}(t=0)$	2.68	*кмоль*	Початкова кількість молів аргону
$\dot{n}^{i}_{NH3}(t)$	0.08	*кмоль /с*	Вхідний молярний потік аміаку
$\dot{n}^{i}_{H2}(t)$	2.59	*кмоль /с*	Вхідний молярний потік водню
$\dot{n}^{i}_{N2}(t)$	0.89	*кмоль /с*	Вхідний молярний потік азоту
$\dot{n}^{i}_{Ar}(t)$	0.15	*кмоль /с*	Вхідний молярний потік аргону
$p(t)$	$1.7 \cdot 10^7$	*Па*	Тиск в реакторі
$T_i(t)$	635	*K*	Вхідна температура газової суміші

T – температура газової суміші всередині реактору. Розраховується, виходячи з закону ідеального газу (3);

r – швидкість реакції синтезу аміаку, *кмоль/(м^3 · с)*.

Таблиця 2 – Відомі параметри моделі

Параметр	Значення	Одиниця вимірювання	Опис
$C_{p\,cat}$	72600000	*Дж/К*	Повна теплоємність каталізатора
$\tilde{\tilde{c}}_{p\,gas}$	35540	*Дж/(кмоль·К)*	Середня молярна теплоємність газової суміші
$-\Delta\tilde{H}_r$	91965240	*Дж/кмоль*	Теплота реакції (T = 400..450 ^{0}C)
V	20	*м^3*	Об'єм реактору
R	8314.2	*Дж/(кмоль·К)*	Універсальна газова стала

Вираз для швидкості реакції синтезу аміаку використано за даними компанії Yara International ASA і є конфіденційною інформацією компанії.

Для відтворення моделі можна використати будь-який відомий вираз швидкості реакції синтезу аміаку, наприклад як в [4].

$$T = \frac{p \cdot V}{\sum_j n_j \cdot R}, \qquad (3)$$

де p – тиск газової суміші всередині реактору. Значення тиску занесено до табл. 1;

R – універсальна газова стала, відомий параметр моделі, занесений до табл. 2.

$$\dot{n}^{g} = s \cdot r \cdot V, \qquad (4)$$

де $s = [2 \quad -3 \quad -1 \quad 0]$ є стехіометричним вектором реакції (5). Елемент стехіометричного вектору зі значенням 2 відповідає синтезованим молям аміаку в результаті реакції. Значення -3 та -1 відповідають поглинутим в результаті реакції молям водню і азоту відповідно. Значення 0 відповідає інертному газу аргону, який міститься у суміші газів, але не бере участі в реакції синтезу аміаку.

$$3H_2 + N_2 = 2NH_3 + теплота\ реакції \qquad (5)$$

Моделювання реактору синтезу аміаку виконано в програмному середовищі MATLAB. Результати моделювання представлено на рис. 2 та рис. 3.

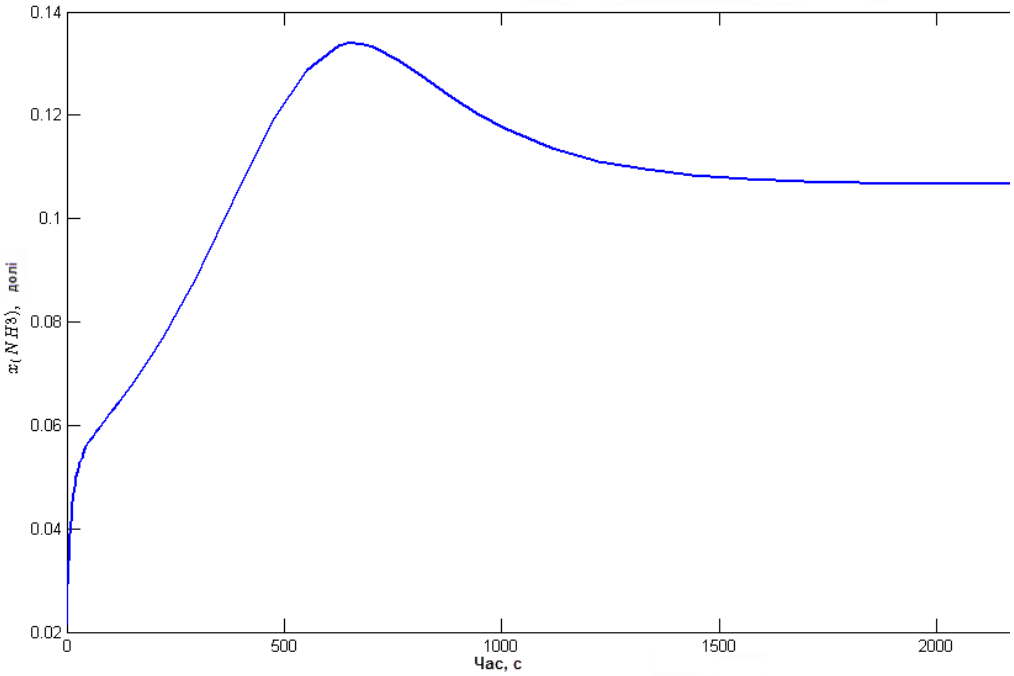


Рис. 2. Частка синтезованого аміаку в реакторі

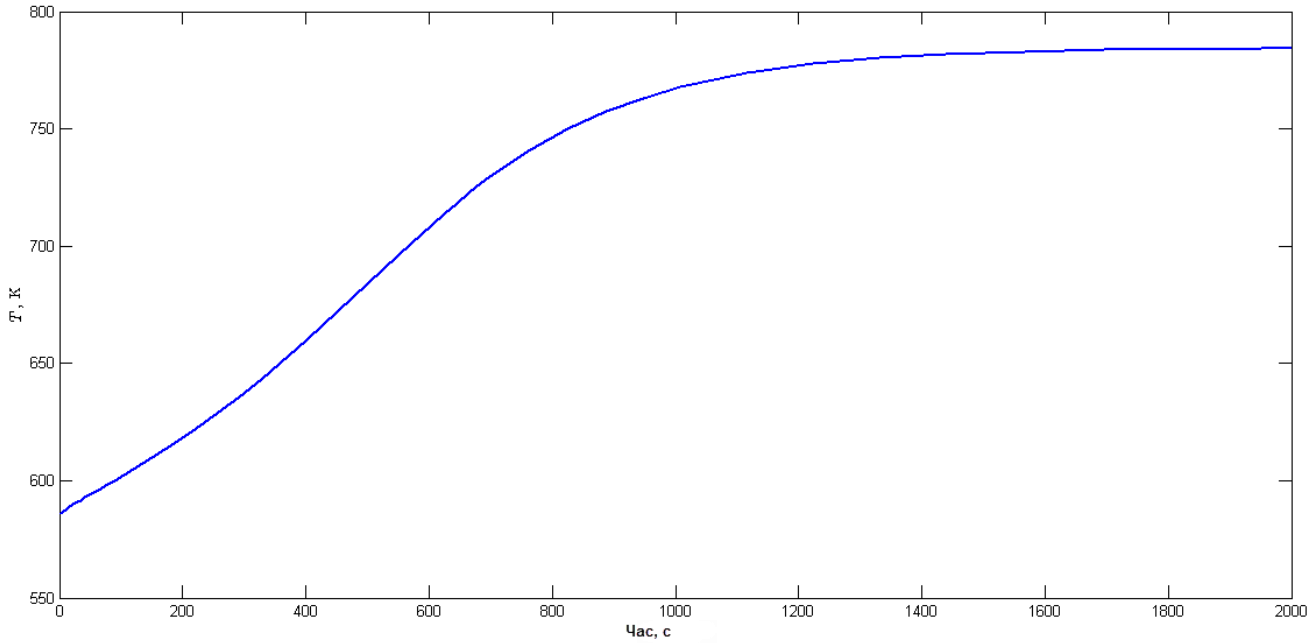


Рис. 3. Температура газової суміші в реакторі

На рис. 2 показано частку синтезованого аміаку з перебігом хімічної реакції, а на рис. 3 показано температуру перебігу реакції. Порівнюючи рис. 2 та рис. 3, можна сказати, що в

інтервалі 500..1000 секунд частка аміаку досягає максимуму, після чого починає спадати і в усталеному режимі досягає 11 %, в той час як температура в цьому інтервалі не має екстремуму і продовжує зростати до значення близько 775 *K*.
Результати моделювання реактору синтезу аміаку були перевірені компанією Yara International ASA та визнано задовільними.

Висновок
За результатами дослідження розроблено спрощену динамічну модель процесу синтезу аміаку (для випадку відсутності автоматичного контролю) за припущення ідеального перемішування всередині реактору.
Результати моделювання реактору синтезу аміаку були перевірені компанією Yara International ASA та визнано задовільними. Виходячи з даних результатів запропоновано продовжити роботу над спрощеною динамічною моделлю процесу синтезу аміаку і виконати наступне: розширити динамічну модель процесу синтезу аміаку для розподіленої системи та поєднати її з моделлю теплообмінника для підігріву вхідної сировини за допомогою утилізації теплоти продуктів синтезу; дослідити стійкість моделі та порівняти з одним з промислових реакторів компанії Yara International ASA, дослідити можливість застосування дискретно-детермінованої моделі для підвищення енергоефективності процесу синтезу.

Список використаної літератури:
1. IndexMundi (February, 2014). Ammonia: Estimated World Production, By Country [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/nitrogen/nitrogen_t12.html.
2. Пєтєшова Т. Діагностичні підходи до визначення рівня інтенсивності конкуренції на галузевому ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2011_4_2_111_117.pdf
3. Morris W. Hirsch, Stephen Smale, Robert L. Devaney. Differential Equations, Dynamical Systems, And An Introduction to Chaos. 2nd ed. // San Diego, California: Elsevier (USA) - 2004. - P.230.
4. John Morud. Studies On The Dynamics And Operation Of Integrated Plants. A Thesis Submitted For A Degree Of Dr. Ing. // University of Trondheim. The Norwegian Institute of Technology - 1995.

УДК 621.311.003.13

Находов В.Ф., к.т.н., доцент; Бориченко О.В., к.т.н., доцент; Іванько Д.О., аспірант;
Єгорова І.О., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Комплексний підхід до визначення складу чинників, які необхідно враховувати при побудові систем оперативного контролю ефективності енерговикористання

Находов В.Ф., к.т.н., доцент; Бориченко Е.В., к.т.н., доцент; Иванько Д.О., аспірант;
Егорова И.А., магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Комплексный подход к определению факторов, которые необходимо учитывать при построении систем оперативного контроля эффективности потребления энергии

Nakhodov V.F., PhD of science; Borichenko O.V. PhD of science; Ivanko D.O., post-graduate student; Egorova I. A., undergraduate
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»

A comprehensive approach to the determination of the factors that must be considered when constructing systems of operative control efficiency in energy consumption

Запропоновано комплексний підхід до визначення складу чинників, які необхідно враховувати при побудові математичних моделей «стандартів» енергоспоживання. Проаналізовано доцільність застосування для вирішення цієї задачі кількох методів експертного опитування. Запропоновано один з методів виконання економічної оцінки можливості використання певного набору чинників. Обгрунтовано необхідність застосуання ймовірнісно-статистичних процедур для перевірки тісноти статистичного зв'язку між енергоспоживанням і чинниками, що на нього впливають, а також з метою уникнення мультиколінеарності незалежних змінних.

Ключові слова: *«стандарт» енергоспоживання, системи оперативного контролю енергоефективності, чинники, що суттєво впливають на величину енергоспоживання, методи експертного опитування.*

Предложен комплексный подход к определению состава факторов, которые необходимо учитывать при построении математических моделей «стандартов » энергопотребления. Проанализирована целесообразность применения для решения этой задачи нескольких методов экспертного опроса. Предложен один из методов выполнения экономической оценки возможности использования определенного набора факторов. Обоснована необходимость застосуання вероятностно - статистических процедур для проверки тесноты статистической связи между энергопотреблением и факторами, на него влияют, а также во избежание мультиколлинеарности независимых переменных.

Ключевые слова: *«стандарт» энергопотребления, системы оперативного контроля энергоэффективности, факторы, которые существенно влияют на величину энергопотребления, методы экспертного опроса.*

Proposed a comprehensive approach to the determination of the factors that must be considered when constructing mathematical models of "standards". Analyzed the feasibility of applying to solve

this problem of multiple methods of expert polls. Asked one of the methods of economic evaluation of the possibility of using a specific set of factors. Reasonably need zastosuannâ probabilistic-statistical procedures to check the tightness of the statistical relationship between power and the factors that influence on him, as well as to avoid multicollinearity independent variables.

Keywords: *"standard" power system operational control efficiency factors that significantly affect the amount of power consumption, the methods of expert polls.*

Вступ

Одним із пріоритетних напрямів підвищення рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на виробничих об'єктах України є побудова систем енергетичного менеджменту [1].

Однією із складових частин систем енергетичного менеджменту є підсистема оперативного управління ефективністю використання ПЕР, яка являє собою сукупність систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП). В таких системах оцінка рівня ефективності споживання ПЕР на будь-якому виробничому об'єкті здійснюється шляхом порівняння фактичних показників споживання енергетичних ресурсів з так званими цільовими змінними, які часто називають також «стандартами» енергоспоживання [2].

Постановка проблеми. «Стандарт» енергоспоживання являє собою певну математичну модель споживання палива або енергії, побудовану для окремого виробничого об'єкту, в залежності від чинників, які суттєво впливають на величину витрати енергії при здійснені відповідних технологічних процесів [3]. Для кожного конкретного виробничого об'єкту склад таких чинників, їх вплив на енергоспоживання та тіснота зв'язку між ними є суттєво різними. В літературних джерелах, присвячених побудові традиційних систем КіП, можна зустріти лише деякі рекомендації щодо складу чинників, що можуть впливати на обсяги споживання енергії виробничим обладнанням окремих галузей промисловості, але не розглядаються питання методології вибору найбільш доцільного складу чинників для кожного конкретного об'єкту контролю енергоефективності [4].

Основні результати дослідження. Розробка методології вибору чинників, які суттєво впливають на процес енергоспоживання, є важливою задачею для побудови та коректного функціонування систем КіП. Авторами цієї статті запропоновано комплексний підхід до визначення їх складу, структурна схема якого наведена на рис. 1.

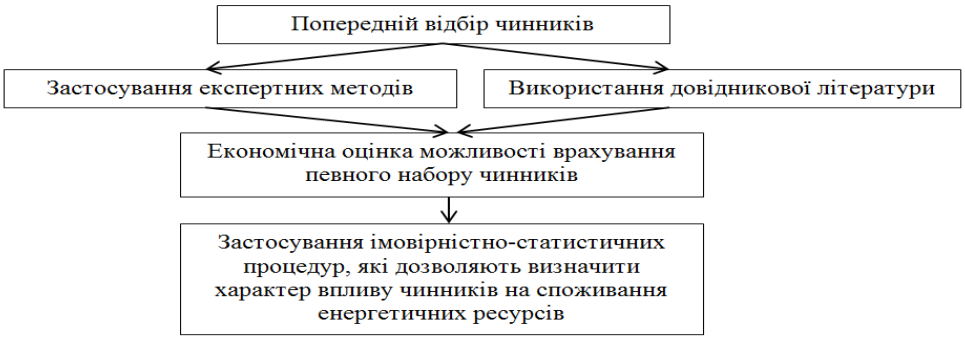


Рисунок 1— Схема реалізації комплексного підходу до визначення складу чинників при встановленні «стандартів» енергоспоживання

Вибір чинників здійснюється в декілька етапів (рис. 1) з застосуванням різних критеріїв на кожному з них, що дозволяє будувати «стандарти» енергоспоживання, максимально враховуючи усі чинники, що суттєво впливають на обсяги споживання енергоресурсів і одночасно уникаючи при цьому надмірних витрат ресурсів, необхідних для встановлення і

подальшого використання цих «стандартів».

Попередній відбір чинників. Суттєвою проблемою при побудові систем КіП є відсутність інформації про режими та умови роботи обладнання, отримати яку досить складно, оскільки систематичне вимірювання та облік відповідних параметрів, як правило, не здійснюються. Тому єдиним реально досяжним способом попереднього вибору чинників, які можуть бути використані для побудови «стандартів» енергоспоживання, є проведення експертного опитування [2].

Можна виділити дві принципово відмінні групи методів проведення експертного опитування: методи колективного та індивідуального опитування членів експертної групи [7]. Зважаючи на переваги та недоліки кожної з зазначених груп методів, авторами цієї статті було запропоновано використати змішаний підхід. При цьому колективне опитування може здійснюватись, зокрема, з застосуванням методу «мозкового штурму». А при проведенні індивідуального опитування експертів авторами цієї статті досліджувалась можливість використання трьох методів: попарного порівняння впливу чинників, їх ранжирування та використання апарату нечіткої логіки [5-8].

Методологія попереднього відбору складу чинників, які впливають на величину енергоспоживання, може бути проілюстрована на прикладі технологічного процесу виробництва аміаку. Групою з п’яти експертів в результаті колективного обговорення з використанням методу «мозкового штурму» було попередньо визначено, що при побудові «стандартів» енергоспоживання для зазначеного технологічного процесу необхідно враховувати вплив таких чинників як обсяги виробництва аміаку, пари тиском 30 атм, пари тиском 16 атм, газів, що використовуються для продувки технологічних установок, а також температура навколишнього середовища. Після цього кожному з експертів було запропоновано незалежно від інших заповнити анкети, за допомогою яких були реалізовані три зазначені вище методи експертного опитування.

Метод попарного порівняння. Використання цього методу дозволяє визначати ступінь впливу на енергоспоживання кожного з чинників шляхом встановлення так званих рівнів «переваги» для всіх можливих варіантів їх попарного порівняння [5].

В результаті опитування експертів щодо ступеню впливу попередньо визначених чинників на споживання енергії при виробництві аміаку з застосуванням методу попарного порівняння отримано п’ять таблиць, одна з яких має наступний вигляд (таблиця 1):

Таблиця 1 – Оцінка впливу чинників першим експертом.

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
Виробництво аміаку	**0,5**	1	1	1	1
Виробництво продувних газів	**0**	0,5	1	1	1
Виробництво пари тиском 30 атм	**0**	0	0,5	1	1
Виробництво пари тиском 16 атм	**0**	0	0	0,5	1
Температура навк. сер.	**0**	0	0	0	0,5

Для отримання групової оцінки ступеню впливу кожного з чинників на енергоспоживання будується матриця математичних очікувань оцінок рівнів «переваги»,

встановлених для кожної з пар чинників. При цьому величини математичного очікування визначаються за формулою, яка для дискретної випадкової величини має вигляд:

$$x_{i.j} = a_1 \frac{m_i}{m} + a_2 \frac{m_p}{m} + a_3 \frac{m_j}{m}; \quad (1)$$

де $a_1 = 1, a_2 = 0,5, a_3 = 0$ – рівні «переваги»; m_i, m_p, m_j – кількість експертів, які встановили відповідно рівень a_1, a_2, a_3; m – загальна кількість експертів.

Для прикладу, що розглядається, матриця математичних очікувань оцінок рівнів «переваги» має вигляд (таблиця 2):

Таблиця 2 – Математичні очікування оцінок впливу чинників

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
Виробництво аміаку	5/10	8/10	10/10	10/10	8/10
Виробництво продувних газів	2/10	5/10	6/10	10/10	6/10
Виробництво пари тиском 30 атм	0/10	4/10	5/10	8/10	6/10
Виробництво пари тиском 16 атм	0/10	0/10	2/10	5/10	4/10
Температура навк.сер.	2/10	4/10	4/10	6/10	5/10

На підставі цієї матриці (таблиця 2) визначаються нормалізовані значення коефіцієнтів відносної важливості кожного з чинників, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 ─ Нормалізовані значення коефіцієнтів відносної важливості чинників

Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
1	0,622553	0,452442	0,186727	0,486153

Як свідчать дані таблиці 3, найменший вплив на енергоспоживання в порівнянні з іншими чинниками має обсяг виробництва пари тиском 16 атм і його, за необхідності, можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання.

Метод ранжирування. Метод ранжирування базується на впорядкуванні експертом чинників за ступенем їх впливу на величину енергоспоживання [5]. З цією метою експерт присвоює чинникам відповідні порядкові номери, які називають рангами. Причому чиннику, який впливає на енергоспоживання найсильніше, присвоюється ранг 1. Заповнені таким чином анкети всіх експертів, які приймають участь у опитуванні, узагальнюються. Для цього будується зведена матриця рангів, яка для прикладу, що розглядається, наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 ─ Зведена матриця рангів чинників, що впливають на енергоспоживання

Умовний номер	Виробництво аміаку	Виробництво продувних	Виробництво пари тиском	Виробництво пари тиском	Температура навк. сер.

експерта		газів	30 атм	16 атм	
1	1	2	3	4	5
2	1	3	2	5	4
3	2	1	4	3	5
4	1	3	4	5	2
5	2	4	3	5	1

Так як в процесі експертного опитування зв'язані (однакові) ранги, присвоєні будь-якому з чинників відсутні, коефіцієнт конкордації, який характеризує ступінь узгодженості думок експертів, розраховується за формулою:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 122}{5^2(5^3 - 5)} = 0,5856 \cdot$$

При цьому розрахункове значення критерію Пірсона дорівнює:

$$\chi^2_{розр} = m \cdot (n-1) \cdot W = 5 \cdot (5-1) \cdot 0,5856 = 11,712 .$$

Розрахункове значення $\chi^2_{розр}$ порівнюється з табличним $\chi^2_{табл} = 11,07$, визначеним для числа ступенів свободи $df = n - 1$ і відповідного рівня значущості помилки $\alpha = 0,05$. Оскільки $\chi^2_{розр} > \chi^2_{табл}$, можна стверджувати, що думки експертів з ймовірністю 95% є узгодженими [6].

Остаточне ранжирування чинників за ступенем їх впливу на енергоспоживання може бути виконане за середніми значеннями або медіанами рангів, присвоєних експертами кожному з чинників (таблиця 5).

Таблиця 5 ─ Середні значення та медіани рангів чинників

	Виробництво аміаку	Виробництво продувних газів	Виробництво пари тиском 30 атм	Виробництво пари тиском 16 атм	Температура навк. сер.
Середні значення рангів	1,4	2,6	3,2	4,4	3,4
Медіани	1	3	3	5	4

Таким чином, застосовуючи цей метод експертного опитування, можна впорядкувати чинники за їх важливістю але при цьому неможливо визначити співвідношення між ступенем впливу кожного з чинників на величину енергоспоживання на даному об'єкті, а отже неможливо вирішити, чи потрібно враховувати при подальшій побудові «стандарту» енергоспоживання всі наявні чинники, чи ні. Можна лише сказати, що найменший вплив на енергоспоживання має обсяг виробництва пари тиском 16 атм і, за необхідності, можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання саме цього чинника.

Метод експертного опитування з застосуванням апарату нечіткої логіки. Особливістю даного методу є те, що визначення ступеню впливу чинників на енергоспоживання можна здійснювати, застосовуючи не кількісні, як в попередніх двох методах, а якісні оцінки, які подаються експертами у вигляді так званих лінгвістичних змінних. При використанні цього методу кожному з експертів пропонується, виходячи з його думки щодо впливу чинників на енергоспоживання, поставити відповідну позначку на

інтервальній шкалі, що має вигляд лінійки з лінгвістичними оцінками ступеню цього впливу (рисунок 2).

Рисунок 2 ─ Інтервальна шкала для експертного оцінювання впливу чинників на величину енергоспоживання

Отримані таким чином оцінки експертів мають суб'єктивний характер, тому обробку результатів експертного опитування доцільно здійснювати з використанням математичного апарату нечіткої логіки [7]. Виконані авторами цієї статті дослідження свідчать, що форма функції належності лінгвістичних змінних практично не впливає на результати обробки думок експертів, оскільки в процесі цієї обробки необхідно визначати не точну кількісну оцінку ступеню впливу на енергоспоживання різних чинників, а лише найбільш ймовірний ступінь впливу цих чинників на обсяг споживання енергії.

У прикладі, що розглядається, для обробки результатів опитування експертів було використано сімейство з п'яти кусково-лінійних функцій приналежності лінгвістичних оцінок впливу на енергоспоживання кожного з чинників. Приклад побудови таких функцій приналежності для одного з чинників наведено на рисунку 3.

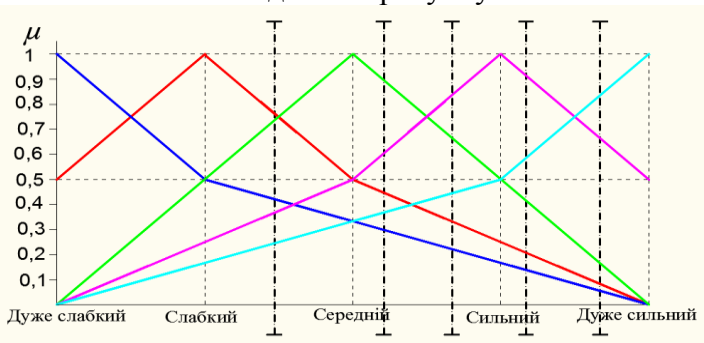


Рисунок 3 ─ Функції приналежності лінгвістичних оцінок ступеню впливу на енергоспоживання обсягу виробництва аміаку

Обробку результатів експертного опитування, проведеного з застосуванням цього методу, можна проілюструвати на прикладі оцінювання впливу обсягу виробництва аміаку на величину енергоспоживання (таблиця 6).

На підставі визначених за наведеними графіками (рисунок 3) ймовірностей $p_{i,j}^{k}$ необхідно обчислити середню ймовірність збігу оцінок всіма експертами ступеню впливу на енергоспоживання цього чинника дійсному рівню його впливу, припускаючи, що цей дійсний рівень є j-м:

$$p_j = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} p_j^k,$$

де N ─ кількість експертів;

Рівень впливу $\boldsymbol{j}$, для якого розраховане таким чином значення середньої ймовірності $\boldsymbol{p\,j}$ буде найбільшим, відповідає найбільш ймовірному ступеню реального впливу на енергоспоживання чинника, що розглядається. Зокрема, на підставі думок всіх опитаних експертів (таблиця 6) найбільш ймовірним є, що обсяг виробництва аміаку має сильний вплив на величину енергоспоживання у технологічному процесі, що розглядається.

Таблиця 6 ─ Визначення найбільш ймовірного ступеню впливу обсягу виробництва аміаку на енергоспоживання

Оцінка впливу	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Середнє значення
Дуже слабкий	0,421	0,298	0,221	0,138	0,055	0,2266
Слабкий	0,764	0,447	0,332	0,208	0,082	0,3666
Середній	0,735	0,895	0,665	0,415	0,165	0,575
Сильний	0,368	0,605	0,835	0,915	0,665	**0,6776**
Дуже сильний	0,245	0,368	0,445	0,585	0,835	0,4956

Результати обробки лінгвістичних експертних оцінок впливу інших чинників свідчать, що, крім виробництва аміаку, на величину енергоспоживання у даному технологічному процесі середній вплив здійснюють також обсяги виробництва продувних газів і пари тиском 30 атм, а також температура навколишнього середовища, в той час як обсяг виробництва пари тиском 16 атм має слабкий вплив і тому, за необхідності, саме цей чинник можна рекомендувати до виключення з подальшого розгляду при побудові «стандартів» енергоспоживання. Кожен з розглянутих вище методів експертного оцінювання має низку недоліків та переваг, основні з яких наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 ─ Недоліки та переваги методів експертного оцінювання

Недоліки методів	Попарне порівняння	Ранжирування чинників	Застосування нечіткої логіки
Складна процедура опитування експертів при необхідності оцінки впливу великої кількості чинників	-	-	+
Дає можливість перевірити узгодженість думок експертів	-	+	-
Дає можливість визначити ступінь впливу кожного чинника на величину енергоспоживання	-	-	+
Дає можливість визначити коефіцієнти “переваг”	-	+	-

Проаналізувавши недоліки та переваги кожного з методів, можна стверджувати, що найбільш прийнятним для практичного застосування є метод експертного опитування з використанням математичного апарату нечіткої логіки. При цьому окремі недоліки даного методу можуть бути усунені шляхом поєднання його з іншими методами експертного оцінювання.

Економічна оцінка можливості врахування певного набору чинників. Врахування великої кількості чинників при побудові «стандартів» енергоспоживання вимагає значних витрат на встановлення вимірювальних приладів а також на організацію збору та обробки відповідних даних. Як правило, фінансові ресурси, які виділяються на побудову та функціонування систем КІП є обмеженими. Тобто при побудові таких систем виникає задача вибору з урахуванням фінансових обмежень певного оптимального складу чинників, використання яких при встановленні «стандартів» енергоспоживання дозволить здійснювати контроль енергоефективності найбільш обґрунтовано та об’єктивно.

Одним із можливих шляхів вирішення даного питання є застосування методів

комбінаторної оптимізації, зокрема, алгоритм вирішення відомої задачі про ранець (рюкзак). Для більшої наочності вирішення цієї задачі можна проілюструвати графічно. Приймемо, що на побудову та функціонування системи КіП було виділено 20 тис. грн. Шляхом проведення горизонтальних та похилих ліній, які відповідають неврахуванню або врахуванню впливу відповідного чинника, будується мережа, яка відображає всі можливі варіанти наборів чинників, що будуть використані при побудові «стандартів» енергоспоживання для цього об'єкту. Таким чином, будь-якому рішенню задачі відповідає певний шлях у мережі, а вирішення задачі зводиться до знаходження шляху з максимальною довжиною [9].

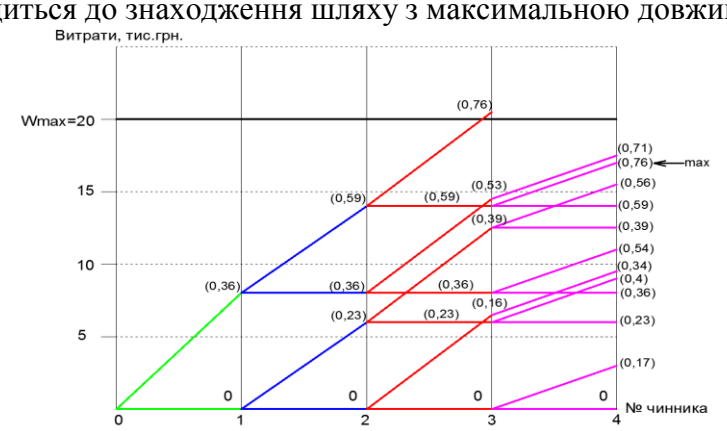


Рисунок 4 ─ Мережа, що ілюструє поетапне вирішення задачі про ранець.

На вертикальній осі справа (рисунок 4), в дужках наведені сумарні значення важливості врахування відповідних наборів чинників на кожному кроці алгоритму оптимізації. Як свідчить рисунок 4, максимальна сумарна важливість чинників, витрати на врахування яких не будуть перевищувати встановлене обмеження, буде досягнута при використанні першого, другого та четвертого чинників, що і є вирішення задачі. Тобто обсяг виробництва пари тиском 30 атм економічно недоцільно враховувати при встановленні «стандартів» енергоспоживання для технологічного об'єкту, що розглядається.

Застосування ймовірнісно-статистичних процедур, які дозволяють визначити тісноту статистичного зв'язку між чинниками та енергоспоживанням. Доцільність використання при побудові «стандартів» енергоспоживання того чи іншого набору чинників повинна визначатися також тіснотою існуючих статистичних зв'язків між самими чинниками та величиною енергоспоживання. Виявити та оцінити ці зв'язки можна за допомогою відповідних ймовірнісно-статистичних процедур. Тобто, після проведення попередніх двох етапів відбору чинників додатково має бути перевірена тіснота статистичного зв'язку між відібраними чинниками та величиною енергоспоживання а також між самими чинниками.

Таким чином прийняття остаточного рішення щодо доцільності використання при побудові «стандартів» того чи іншого набору чинників повинно базуватися на додатковій кількісній оцінці суттєвості впливу чинників на енергоспоживання за допомогою методів кореляційного аналізу, на виявленні мультиколінеарності чинників, а також на перевірці рівня значущості коефіцієнтів побудованих рівнянь регресії [10].

Висновки

1. З метою врахування в математичних моделях «стандартів» енергоспоживання оптимального набору чинників, їх відбір повинен бути проведений в декілька етапів з застосуванням на кожному етапі різних критеріїв їх вибору.
2. Основними способами відбору чинників на відповідних етапах мають бути методи експертного опитування з використанням апарату нечіткої логіки, економічна оцінка

можливості врахування певного набору чинників, а також застосуання ймовірнісно-статистичних процедур для перевірки тісноти статистичного зв'язку між відповідними випадковими величинами та уникнення мультиколінеарності незалежних змінних.

Література

1. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.

2. Находов В.Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В.Ф Находов // Промислова електроенергетика та електротехніка Промелектро : інформ. зб. – 2007. – № 1.– С. 34–42.

3. Jones Phil. Getting started with Monitoring & Targeting (M&T) // Fundamental Series. – 2004. – №7. – P.29–32.

4. Пособие по курсу «Основы целевого энергетического мониторинга». – М.: ЭНИЗАН, АСЭМ, 1997. – 38 с.

5. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Экспертные системы в медицине»/ Сост: Синекоп Ю.С., Продеус А.Н., Вунтесмери Ю.В., Имад Исса Джамиль Ирейфидж, Киселев Е.Н. - К.: НТУУ «КПИ», 2011-73с.

6. Методы обработки экспертной информации: учебно метод. пособие/ А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП. СПб., 2005. 42 с.: ил.

7. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учебник / А.И. Орлов. — М. : КНОРУС, 2011. — 568 с.

8. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

9. В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. Прикладные задачи теории графов. — М., 1974. — 232 с.

10. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. – М., Финансы и статистика, 2003. Статистика /под редакцией Мхитаряна/, учебник для вузов, М., Экономист, 2006.

УДК 662.963

М.П. Клопот, науковий керівник к.т.н, доц. А.М. Ковальчук

МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ВОДНИМИ РОЗЧИНАМИ АМІНІВ

У статті розглянуто стратегії підвищення рівня енергоефективності,а отже й економічності абсорбційного процесу очищення димових газів від вуглекислого газу. Проаналізовано можливі модифікації дизайну установки, а також хімічного процесу очищення. Розглянуто можливість заміни розчину МЕА на розчини сумішей амінів.

Ключові слова: випарник, вуглекислий газ, десорбер, енергоспоживання, моноетаноламін, розділ потоку.

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ АМИНОВ

В статье рассмотрены стратегии повышения уровня энергоэффективности, а следовательно и экономичности абсорбционного процесса очистки дымовых газов от углекислого газа. Проанализированы возможные модификации дизайна установки, а также химического процесса очистки. Рассмотрена возможность замены раствора МЭА на растворы смесей аминов.

Ключевые слова: испаритель, углекислый газ, десорбер, энергопотребление, моноэтаноламин, раздел потока.

OPPORTUNITIES FOR THE ENERGY CONSUMPTION REDUCTION IN CARBON DIOXIDE CAPTURE PROCESS FROM THE FLUE GAS BY AQUEOUS SOULTIONS OF AMINES

The strategies for increase of energy efficiency and hence the profitability of carbon dioxide absorption capturing process for the flue gases are studied in the article. The possible process design modifications and chemical cleaning process optimizations are analyzed. Possibility of the MEA solution replacing by the amines mixture solution is considered.

Keywords: reboiler, carbon dioxide, desorber, energy demand, monoethanolamine, split stream.

Вступ. Серед доступних технологій для видалення вуглекислого газу з димових газових потоків, абсорбційне очищення водними розчинами амінів на сьогоднішній день є найбільш дослідженим та вважається найбільш перспективним методом. Ця технологія широко застосовується в області переробки газу, хімічного виробництва та газифікації вугілля. Однак результати багатьох досліджень показують, що такий метод уловлювання CO_2 не є економічно вигідним, оскільки потребує великих витрат енергії, в основному в процесі відновлення розчину аміну (видаленні вуглекислого газу зі збагаченого розчину аміну в десорбері) [1]. За основу для дослідження було взято типовий процес очищення димових газів від діоксиду вуглецю водним розчином моноетаноламіну (МЕА), технологічну схему якого зображено на рис. 1 [2].

Завдання та мета дослідження. Як уже було зазначено, найбільше енергоспоживання в процесі абсорбційного очищення димових газів від CO_2 пов’язане з видаленням діоксиду

вуглецю з водного розчину аміну в десорбері. 80% від загального енергоспоживання припадає на регенерацію робочого розчину. Метою даного дослідження є знаходження ряду модифікацій процесу, які можуть бути здійснені для зниження рівня споживання енергії при очищенні димових газів від вуглекислого газу, а отже і для зниження вартості процесу. Можливі варіанти таких модифікацій описані в наступних розділах даної статті.

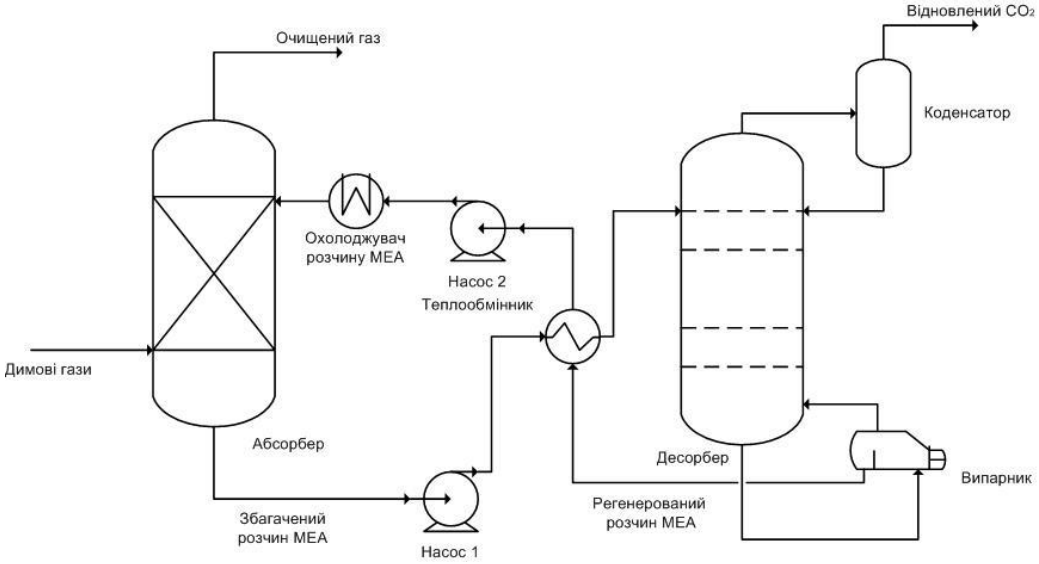


Рис. 1. Технологічна схема типового процесу абсорбційного очищення димових газів від вуглекислого газу водним розчином MEA

Результати дослідження. Для зниження рівня енергоспоживання пропонується два основних напрями оптимізації процесу уловлювання вуглекислого газу: модифікації дизайну процесу та оптимізація хімічного процесу.

На рис. 2 зображено спрощену технологічну схему модифікованого процесу уловлювання CO_2 з використанням розчину MEA. Оптимізація полягає у використанні конфігурації із розділом потоку розчину аміну в десорбері, що дозволяє скоротити енергоспоживання випарником.

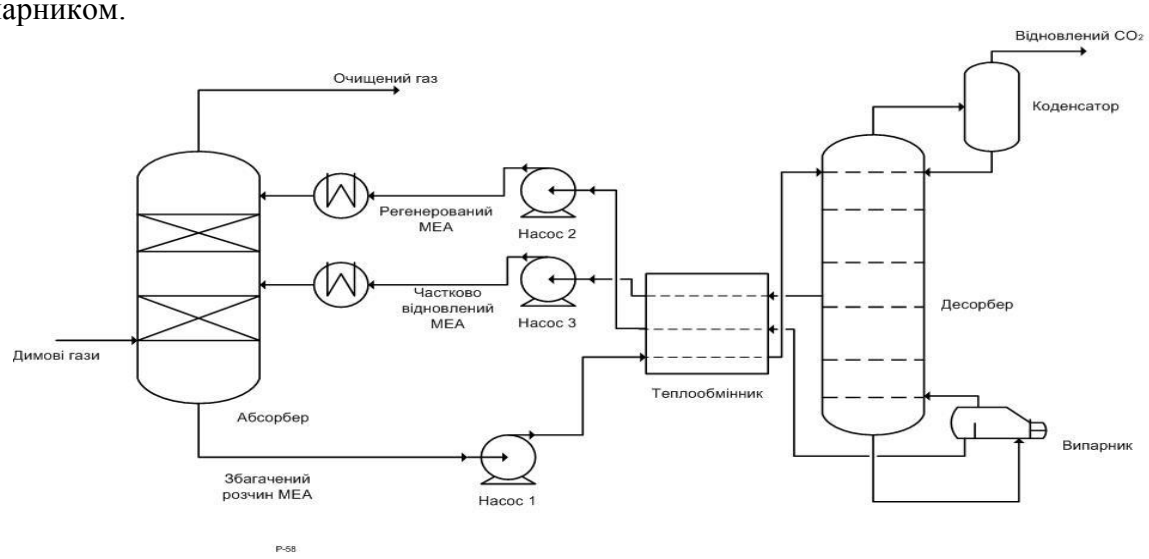


Рис. 2. Технологічна схема модифікованого процесу абсорбційного очищення димових газів від вуглекислого газу за рахунок розділу потоку розчину в десорбері

Збагачений вуглекислим газом розчин подається у верхню частину десорбера, де частина

розчину стікає вниз у протитечії з потоком пари, що піднімається з випарника в нижній частині колони. При цьому CO_2 відділяється від розчину аміну, далі регенерований розчин знову подається у верхню частину абсорбера. Інша частина збагаченого розчину частково відновлюється, після чого із середньої секції десорбера подається в середню секцію абсорбційної колони. При даній конфігурації процесу необхідна кількість пари для відділення вуглекислого газу від МЕА буде значно меншою, що призводить до економії енергії [1].

Результати імітаційного моделювання модифікованого процесу в середовищі Aspen HYSYS показують, що енергоспоживання випарником знижується з 3,87 МДж до 3,39 МДж на кг видаленого CO_2, тобто економія енергії складає 13%.

Окрім модифікацій дизайну установки, можлива також оптимізація самого хімічного процесу уловлювання вуглекислого газу. Кількість енергії, необхідної для регенерації розчину аміну, зумовлена питомою теплоємністю розчину, а також залежить від частки води в розчині аміну. Чим вищий вміст води, тим більша потреба в енергії для відділення діоксиду вуглецю від робочого розчину. Максимальна допустима масова концентрація моноетаноламіну в розчині становить 30%. Вищий вміст МЕА підвищує корозійність розчину, що є негативним явищем, оскільки призводить до зниження строку служби обладнання установки. Допустимі концентрації розчинів інших амінів є вищими, порівняно з моноетаноламіном. Отже, використання інших амінів або їх сумішей дає змогу знизити витрати енергії на відділення CO_2 від розчину. Теплота реакції розчину з вуглекислим газом або ентальпії розчинів різних амінів наведено в табл. 1.

Табл. 1. Теплота реакції розчинів амінів з CO_2 [3]

Назва аміну	Допустима концентрація, %	Ентальпія розчину аміну, кДж/моль
Моноетаноламін (МЕА)	30	72
Диетаноламін (ДЕА)	36	65
Триетаноламін (ТЕА)	50	62
Метилдиетаноламін (МДЕА)	50	53,2

Як видно з таблиці, ентальпія МДЕА нижча, ніж у розчинів інших перерахованих амінів. Результатом цього є менша потреба в енергії для регенерації МДЕА, наприклад, у порівнянні з ДЕА.

В табл. 2 вказано типові значення швидкості реакції різних амінів з діоксидом вуглецю. Вищі значення швидкості реакції відповідають вищим значенням масообміну між розчином та CO_2. Отже, виникає проблема: швидкість масообміну у метилдиетаноламіну найнижча, з-поміж перерахованих амінів, що означає, що ефективність уловлювання вуглекислого газу буде нижча необхідного значення при використанні розчину МДЕА.

Табл. 2. Типові значення швидкості реакції амінів з CO_2 [3]

Назва аміну	k_1”, моль/(л·с)
Моноетаноламін (МЕА)	7600
Диетаноламін (ДЕА)	1500
Триетаноламін (ТЕА)	16,8
Метилдиетаноламін (МДЕА)	9,2

Як вихід, можна обирати різні аміни та їх суміші в такій пропорції, щоб досягалась бажана швидкість масообміну і при цьому знижувались енерговитрати на відновлення розчину в десорбері. Наприклад, пропонується розчин суміші ди- та метилдиетаноламіну у пропорції: 20% – ДЕА, 20% – МДЕА, 60% – вода [4]. Використання сумішей амінів як робочого розчину дозволяє знизити теплове навантаження випарника десорбера на 30%.

Висновки. Було запропоновано різні способи скорочення енергоспоживання в процесі очищення димових газів від вуглекислого водними розчинами амінів. Вони включають модифікації дизайну установки очищення та використання розчинів різних амінів для покращення процесу регенерації розчинів амінів в десорбері. Комбінований ефект вказаних модифікацій дає змогу зменшити потребу в енергії регенерації на 30-40% порівняно із типовим процесом уловлювання CO_2 з використанням розчину MEA.

Перелік літератури

1. L.E Øi.: *The 48th Scandinavian Conference on Simulation and Modeling (SIMS 2007)*, Gothenburg, Sweden, October (2007).

2. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 201 с.

3. J. March. Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure (4th ed.). – New York: Wiley, 1992. – 1495 p.

4. N. Rodriguez, S. Mussati, N. Scenna. Optimization of post-combustion CO2 process using DEA–MDEA mixtures. Chemical Engineering Research and Design. – Dorchester, UK: Elsevier B.V., 2011.

УДК 004.021

Волошко А.В. – к.т.н., доцент,
Деревянко Д.Г. – асистент,
Колесник Є.М - магістрант

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРЬОХФАЗНІЙ ЕПС З ДЖЕРЕЛАМИ РГ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK

В статті розглядається питання визначення дози флікеру за стандартом IEC 61000-4-15. Для вирішення даного питання використовується програмне забезпечення Matlab Simulink, в якому була створена модель флікерметру та надано опис кожного блоку, з якого вона складається.

Ключові слова: флікерметр, якість електричної енергії, флікер, коливання напруги, доза флікеру, Matlab Simulink.

В статье рассматривается вопрос определения дозы фликера по стандарту IEC 61000-4-15. Для решения данного вопроса используется программное обеспечение Matlab Simulink, в котором была создана модель фликерметра и предоставлено описание каждого блока, из которого она состоит.

Ключевые слова: фликерметр, качество электрической энергии, фликер, колебание напряжения, доза фликера, Matlab Simulink.

In the article the question of determination of dose of flicker is examined on the standard of IEC 61000-4-15. For the decision of this question Matlab Simulink software, in that there was the created model of flickermeter and the every block header of that she consists is given, is used.

Keywords: flickermeter, quality of electric energy, flicker, oscillation of tension, dose of flicker, Matlab Simulink.

1 Вступ

Розвиток електроенергетичної галузі України тісно пов’язаний з якістю електричної енергії, оскільки низька якість електричної енергії може мати досить значні економічні наслідки (вихід з ладу електрообладнання), впливати на психо-фізичний стан людини (мерехтіння світла) і т.д.

Аналіз сучасного стану електроенергетичної галузі України показує, що необхідність її модернізації тісно пов’язана із розвитком систем електропостачання. Враховуючи постійно зростаючий попит на електричну енергію, зростає необхідність введення в дію нових генеруючих потужностей. Широке впровадження в останній час, так званих, розосереджених джерел електричної енергії перетворює централізовану пасивну систему електропостачання в децентралізовану.

В свою чергу, встановлення такої генерації, завдяки появі великої кількості додаткових взаємозв’язків, суттєво впливає на інформаційні потоки в системах електропостачання і, в кінцевому випадку, на якість електричної енергії. Тому аналіз такого впливу є актуальною науково-практичною задачею.

2 Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є створення моделі флікерметру, згідно стандарту IEC 61000-4-15[1] у середовищі Matlab Simulink.

3 Результати дослідженнь

Для даної статі використано модель електросистеми, що була створена за допомогою Matlab Simulink:

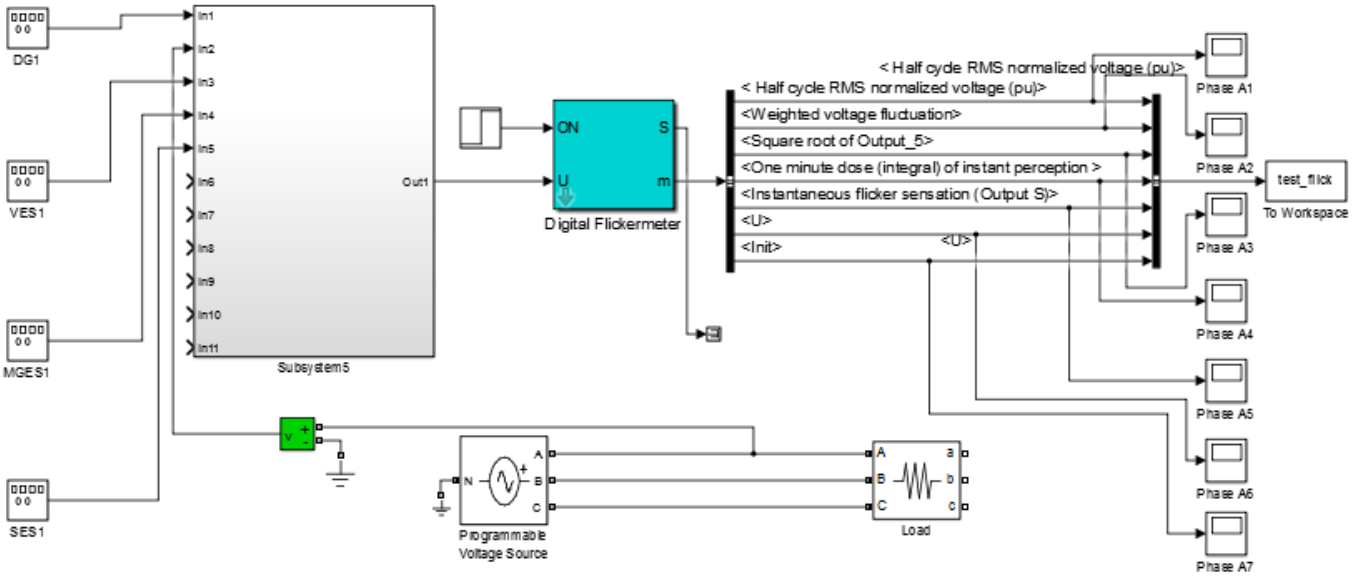


Рисунок 1 – Схема моделі енергосистеми

Programmable voltage source – джерело синусоїдальної напруги з параметрами U=220 В, f=50 Гц.
Load – навантаження R=10 Ом.
DG, VES, SES, MGES – завади, що генерують альтернативні джерела електричної енергії.
SES та VES мають синусоїдальну форму сигналу.
MGES має форму square, що зображено на рисунку 2.
DG має форму сигналу sawtooth, що зображено на рисунку 3.
Programmable voltage source генерує ідеальну синусоїду і живить навантаження Load. Вольтметр проводить вимірювання напруги та в блоці Subsystem складається отриманий сигнал з завадами, що задаються блоками DG, VES, SES, MGES і сумарний сигнал аналізується в блоці Digital Flickermeter, з флікерметра дані виводяться на осцилографи.

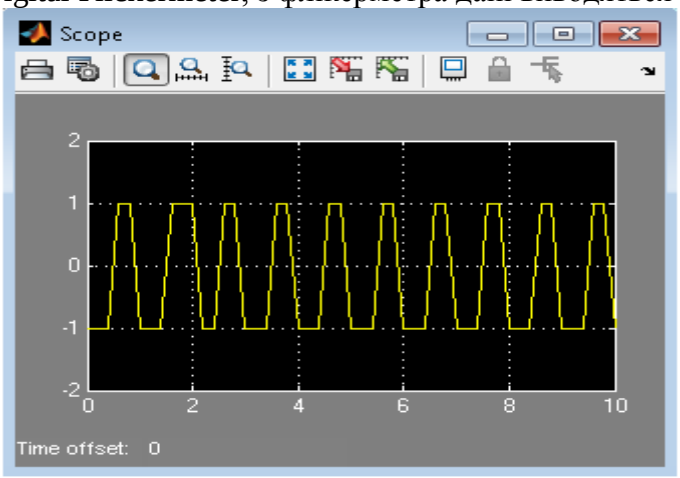


Рисунок 2 – Форма сигналу square

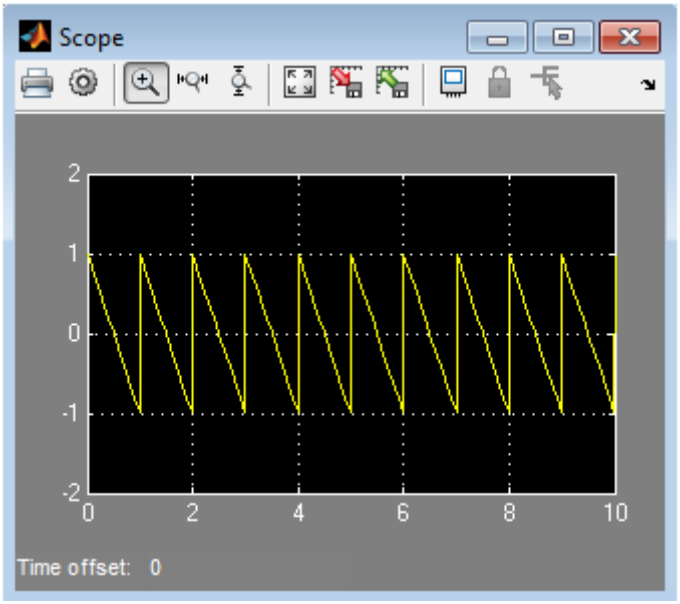


Рисунок 3 – Форма сигналу sawtooth

Digital Flickermeter – модель флікерметра, що розроблена згідно вимог стандарту IEC-61000-4-15 показана на рисунку 4.

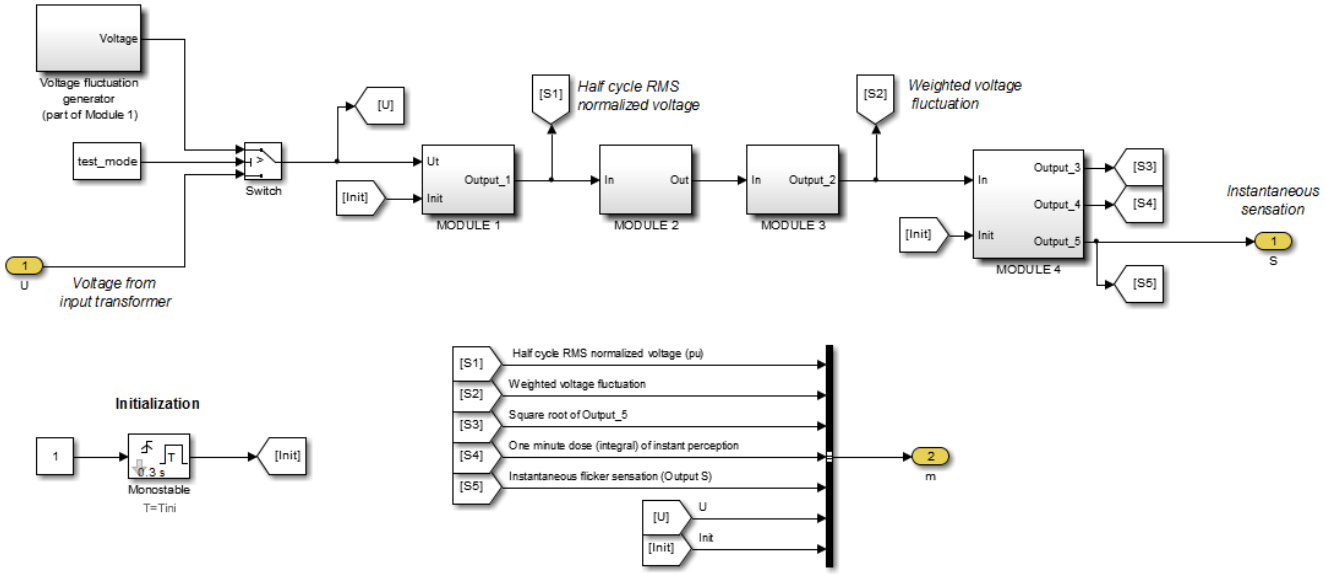


Рисунок 4 – Модель флікерметра

Дана модель складається з таких основних блоків:

Блок 1 (Module 1) адаптер напруги

Блок 1 включає генератор сигналів для калібрування приладу в процесі експлуатації і перетворювач вхідної напруги, який приводить усереднене середньоквадратичне значення вхідної напруги основної частоти до внутрішнього опорного рівня напруги приладу. Тим самим виміри флікера можуть бути здійснені незалежно від дійсного рівня напруги на вході приладу і виражені в процентному відношенні. Відведення первинної обмотки вхідного трансформатора вибирають так, щоб привести сигнал на вході перетворювача напруги до необхідної опорної напруги приладу.

Блок 2 (Module 2) квадратичний демодулятор

Призначення блоку 2 - відтворення коливань напруги шляхом піднесення до квадрату вхідної напруги, приведеної до внутрішнього опорного рівня напруги приладу для імітації характеристик лампи

Блок 3 і 4 (Module 3 and 4) врівноважуючий фільтр, фільтр низьких і високих частот, квадратичний підсилювач

Блок 3 складається з двох селективних фільтрів, включених послідовно і перемикача межі вимірювання.

Перший фільтр пригнічує постійну складову вихідної напруги квадратичного демодулятора і змінну складову подвоєної частоти мережі (100 Гц).

Другий фільтр є врівнноважуючим фільтром, який моделює частотну характеристику газонаповненої електричної лампи(60 Вт, 230 В) з біспіральною ниткою розжарення в комбінації із зоровою системою людини при коливаннях напруги синусоїдальної форми. Частотна характеристика фільтру відповідає порогу сприйнятливості людини до коливань світлового потоку.

Блок 4 складається з облаштування квадратичної обробки сигналів і низькочастотного фільтру першого порядку. Сприйняття флікера людиною з урахуванням характеристик лампи, ока і мозку людини моделюється нелінійній характеристикою, що забезпечується блоками 2, 3 і 4. При цьому функціонування блоку 3 грунтується на відображенні кривої сприйнятливості людини при синусоїдальних коливаннях напруги; відповідне врівноваження при несинусоїдальних і випадкових коливаннях напруги досягається за рахунок вибору комплексної передатної функції блоків 3 і 4. Завдяки цьому забезпечується правильне функціонування приладу при періодичних коливаннях напруги, що мають форму меандру, і при коливаннях напруги перехідного характеру.[1]

4 Висновки

В даній статі наведено модель флікерметру, що була створена на основі стандарту IEC 61000-4-15 у програмному середовищі Matlab Simulink та була випробувана за допомогою нормативних значень коливань напруги, що наведені у вищезгаданому стандарті.

Така модель є корисною для проведення подальших досліджень, пов’язаних з якістю електричної енергії та для проектування ЕПС, в тому числі з джерелами РГ.

Список літератури

1. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications

УДК 621.316.11

В.А. Попов, В.В. Ткаченко, В.В. Кузьменко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6...10 кВ

В работе обсуждены и предложены подходы к количественной оценке надежности воздушных электрических распределительных сетей напряжением 6...10 кВ. Разработанные алгоритмы позволяют рассчитать ожидаемые величины показателей надежности электроснабжения потребителей как для отдельных нагрузочных узлов, так и для распределительной линии в целом при различной композиции и размещении широкого спектра современных коммутационных и защитных аппаратов.

Ключевые слова: воздушные распределительные электрические сети, секционирование, моделирование показателей надежности, реклоузер, разъединитель, выключатель нагрузки.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПОВІТРЯНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 6...10 кВ

У роботі обговорено та запропоновано підходи до кількісної оцінки надійності повітряних електричних розподільчих мереж напругою 6...10 кВ. Розроблені алгоритми дозволяють розрахувати очікувані величини показників надійності електропостачання споживачів як для окремих навантажувальних вузлів, так і для розподільчої лінії в цілому при різній композиції і розміщенні широкого спектру сучасних комутаційних і захисних апаратів.

Ключові слова: повітряні розподільчі електричні мережі, секціонування, моделювання показників надійності, реклоузер, роз'єднувач, вимикач навантаження.

THE SIMULATIONS FOR RELIABLE AIR DISTRIBUTION ELECTRIC GRIDS 6...10 kV

In this paper we discuss and propose approaches to quantify the reliability of air electrical distribution networks, voltage 6...10 kV. These algorithms allow us to calculate the expected values of supply reliability indicators for individual load nodes, and for the distribution whole line with different composition and deployment of a wide range of advanced switching and protective devices.

Keywords: air power distribution networks, partitioning, modeling reliability, reclosers, disconnectors, circuit breakers.

Введение. Для вычисления показателей надежности электроснабжения потребителей в [1] был предложен метод, базирующийся на использовании так называемой структурно-логической матрицы. Этот метод фактически представляет собой модель процесса восстановления электроснабжения отдельных участков и узлов линии в зависимости от вида и мест установки в ней коммутационных и защитных аппаратов.

Следует отметить, что задача оптимального выбора коммутационных и защитных аппаратов в воздушных распределительных электрических сетях (ВРЭС) 6...10 кВ носит название – секционирование сетей [2], а применяемое при этом оборудование – секционирующие устройства (СУ).

Цель и задачи статьи – рассмотреть показатели надежности электроснабжения, определить особенности количественной оценки базовых показателей надежности при учете

неустойчивых отказов.

Результаты исследования. Несмотря на логичность и простоту подхода, основанного на структурно-логической матрице, очень сложно формализовать процедуру такой матрицы для современных воздушных линий большой размерности, разветвленных, насыщенных большим числом разнообразных СУ, имеющих несколько альтернативных вариантов подачи резервного питания. В связи с этим в данной работе предлагается альтернативный подход для моделирования показателей надежности. Разработанные модели могут быть разработаны для всего спектра традиционных и современных защитных и коммутационных аппаратов, что позволяет упростить формализацию процедуры вычисления интегральных показателей надежности для ВЛ любой конфигурации.

Точка подключения резервного питания (ТПРП) – узел линии, через который она может получать питание от соседней линии.

Все автоматические СУ имеют зону защиты – часть линии, при возникновении повреждения в которой, СУ должно автоматически сработать.

Каждое автоматическое СУ, оснащенное РЗиА, имеет также зону действия – часть линии, в общем случае, содержащая зоны защиты данного СУ и автоматических СУ, неоснащенных РЗиА. Если в линии нет установленных реклоузеров, то зона действия выключателя в ЦП – вся линия. В противном случае, зона действия автоматического СУ распространяется по ходу питания:

- от выключателя в начале линии или реклоузера до следующего реклоузера;
- от реклоузера до конечных (тупиковых) узлов линии и ТПРП.

Зона действия может совпадать с зоной защиты. Активными зонами защитных и коммутационных аппаратов являются – секция линии, зона защиты и зона действия.

Классификация показателей надежности электроснабжения

При анализе надежности ВРЭС 6...10 кВ целесообразно рассматривать три группы показателей:

- исходные (первичные);
- базовые;
- интегральные.

Исходные (первичные) показатели характеризуют надежность функционирования элементов электрической сети и эффективность работы обслуживающего ее персонала. Значения данных показателей считаются известными на момент решения задачи оценки надежности. Источником получения их численных значений являются статистические данные, результаты анализа технического состояния распределительных сетей [3], экспертные оценки и т.д.

К исходным показателям надежности относятся:

- удельный параметр потока отказов (откл./км·год);
- время восстановления электроснабжения (час/откл.).

Базовые показатели являются показателями надежности электроснабжения узлов нагрузки и питаемых от этих узлов потребителей. Значения базовых показателей надежности вычисляются в ходе решения задачи анализа надежности и зависят от:

- значений исходных показателей надежности;
- конфигурации и параметров рассматриваемой линии;
- мест установки, вида и количества устанавливаемых в линии СУ.

Целесообразно рассматривать следующие базовые показатели надежности (basic reliability indexes) [3, 8] электроснабжения потребителей:

– средняя частота отключений объекта (откл./год);
– средняя длительность отключений объекта (час/год);
– средняя длительность одного отключения объекта (час/откл.·год).

Средняя частота отключений объекта (СЧО) [5] – ожидаемое число отключений объекта в единицу времени (обычно год). Обозначается как (от «total failures») [4].

СЧО линии из-за повреждения на i-м участке:

$Tf_i = z_i \cdot L_i$

Интегральные показатели надежности характеризуют [6] надежность электроснабжения потребителей крупных сетевых объектов, питающихся как от отдельной линии, так и от СЭС в целом. Численные значения интегральных показателей определяются на основе значений базовых показателей надежности и характеристик узлов нагрузки – величины средней нагрузки [кВт] и количества точек учета электроэнергии.

Подход к моделированию базовых показателей надежности электроснабжения при возникновении в линии устойчивых отказов

Предлагаемый подход к моделированию базовых показателей надежности электроснабжения основан на формировании эмпирических математических выражений, которые:

– позволяют формализовать вычисление базовых показателей надежности для конкретной СЛ в зависимости от конфигурации линии и объема установленных в ней СУ;

– получены на основе анализа структурно-логических матриц для различных сочетаний СУ и при наличии или отсутствии СУ в ТПРП.

Рассмотрим этот подход на примере размещения в ВЛ реклоузеров и при возникновении в линии только устойчивых отказов. Считаем, что возможные места установки реклоузеров – только магистральные участки линии. Исходная схема имеет вид, представленный на рис. 1.

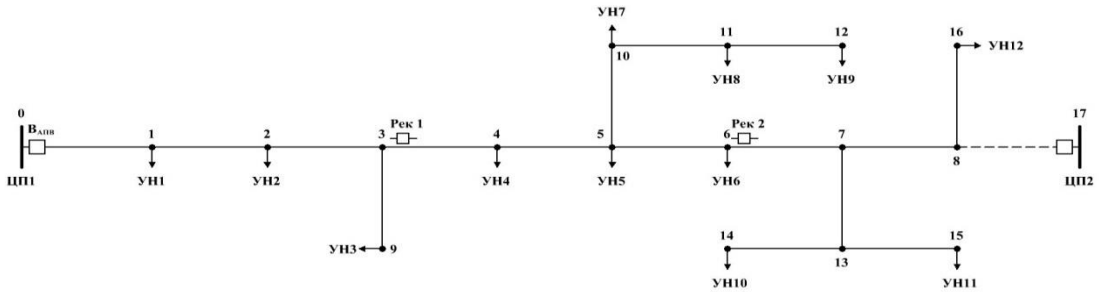


Рис.1 – Линия с размещенными в ней реклоузерами

Выключатель в начале линии и 2 реклоузера делят линию на три секции магистрали (см. таб. 1), каждая из которых является зоной защиты.

Таблица 1

СУ	Обозначение секции	Участки линии	Узлы линии	Узлы нагрузки
$В_{АПВ}$	СМ1	0-1, 1-2, 2-3, 3-9	1, 2, 3, 9	УН1, УН2, УН3
Рек 1	СМ2	3-4, 4-5, 5-6, 5-10, 10-11, 11-12	4, 5, 6, 10, 11, 12	УН4, УН5, УН6, УН7, УН8, УН9
Рек 2	СМ3	6-7, 7-8,7-13, 13-14, 13-15, 8-16	7, 8, 13, 14, 15, 16	УН10, УН11, УН12

Длина секции линии является суммой относящихся к секции участков, а нагрузка секции – суммой нагрузок узлов нагрузки, получающих питание от данной секции. Тогда, например, для СМ1 имеем

$$L_{\text{СМ1}} = L_{0\text{-}1} + L_{1\text{-}2} + L_{2\text{-}3} + L_{3\text{-}9},$$

$$P_{\text{СМ1}} = P_{\text{УН1}} + P_{\text{УН2}} + P_{\text{УН3}}.$$

Узел 8 является ТПРП. Таким образом за узлом 8 в сторону ЦП2 возможно размещение резервного (нормально отключенного) коммутационного аппарата. От исходной схемы путем деления линии на секции можно перейти к схеме, представленной на рис. 2.

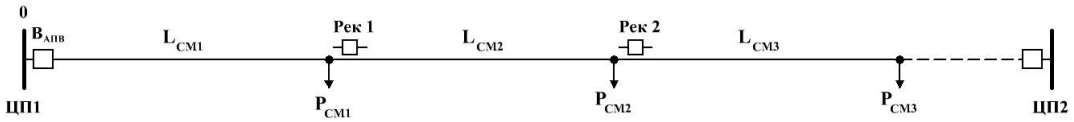


Рис.2 – Упрощенное изображение линии

Считаем, что в данном случае составляющая времени восстановления (время поиска и локализации поврежденной секции) равна 0, т.к. поврежденная секция определяется сработавшим аппаратом (выключателем или реклоузером). Рассмотрим ряд случаев, отличающихся наличием и видом СУ в ТПРП.

1. Коммутационный аппарат в ТПРП отсутствует

В данном случае считаем, что рассматриваемая линия не имеет возможности подключения резервного питания. Структурно-логическая матрица имеет вид таб. 2.

Таблица 2

	$L_{\text{СМ1}}$	$L_{\text{СМ2}}$	$L_{\text{СМ3}}$
$P_{\text{СМ1}}$	$r_O + r_P$	0	0
$P_{\text{СМ2}}$	$r_O + r_P$	$r_O + r_P$	0
$P_{\text{СМ3}}$	$r_O + r_P$	$r_O + r_P$	$r_O + r_P$

Из таб. 5 для *i*-й СМ имеем

$$Rdt^{У}_{СМ\,i} = (r_O + r_P) \cdot \sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j},$$

$$Tf^{У}_{i} = \sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j},$$

где $Rdt^{У}_{СМ\,i}$ – СДО *i*-й СМ,

$\sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j}$ – сумма СЧО (устойчивых) из-за отказов на секциях магистрали по ходу питания от шин ЦП до *i*-й СМ включительно.

Очевидно, что в данном случае:

$$r_i^{срУ} = Rdt^{У}_{СМ\,i} / Tf^{У}_{i} = r_O + r_P$$

2. В ТПРП установлен разъединитель ручного управления или выключатель нагрузки Соответствующая структурно-логическая матрица представлена в таб. 3.

Таблица 3

	$L_{СМ1}$	$L_{СМ2}$	$L_{СМ3}$
$P_{СМ1}$	$r_O + r_П + r_P$	0	0
$P_{СМ2}$	$r_O + r_P$	$r_O + r_П + r_P$	0
$P_{СМ3}$	$r_O + r_P$	$r_O + r_P$	$r_O + r_P$

Из таб. 3 имеем следующее. Если i-я СМ не содержит ТПРП (например, СМ1 и СМ2)

$$Rdt^{У}_{СМ\,i} = (r_O + r_П) \cdot \sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j} + r_P \cdot Tf^{У}_{СМ_i} \cdot$$

Если i-я СМ содержит ТПРП (например, СМ3)

$$Rdt^{У}_{СМ\,i} = (r_O + r_П) \cdot \sum_{j=1}^{i-1} Tf^{У}_{СМ_j} + (r_O + r_P) \cdot Tf^{У}_{СМ_i} = (r_O + r_П) \cdot \sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j} + r_P \cdot Tf^{У}_{СМ_i} - r_П \cdot Tf^{У}_{СМ_i} \cdot$$

В приведенные выше формулы подставляются:

- $r_П = r^{БН}_П$ – если в ТПРП установлен разъединитель;
- $r_П = r^{Н}_П$ – если в ТПРП установлен выключатель нагрузки.

Для любой *i*-й СМ

$$Tf^{У}_i = \sum_{j=1}^{i} Tf^{У}_{СМ_j} \cdot$$

3. В ТПРП установлен реклоузер

Структурно-логическая матрица имеет вид таб. 4.

Таблица 4

	$L_{СМ1}$	$L_{СМ2}$	$L_{СМ3}$
$P_{СМ1}$	$r_O + r_P$	0	0
$P_{СМ2}$	0	$r_O + r_P$	0
$P_{СМ3}$	0	0	$r_O + r_P$

Из таб. 7 для *i*-й СМ имеем

$$Rdt^{У}_{СМ\,i} = (r_O + r_P) \cdot Tf^{У}_{СМ_i},$$

$$Tf^{У}_i = Tf^{У}_{СМ_i} \cdot$$

Очевидно, что и в данном случае

$$r^{срУ}_i = Rdt^{У}_{СМ\,i} / Tf^{У}_i = r_O + r_P .$$

Особенности количественной оценки базовых показателей надежности при учете неустойчивых отказов

На возникающие в ВЛ 6...10 кВ неустойчивые отказы должны реагировать АПВ автоматических СУ, оснащенных РЗиА. Однако такая реакция АПВ не всегда бывает успешной.

При возникновении в линии (рис. 2) неустойчивых отказов и несрабатывании на них АПВ выключателя и реклоузеров структурно-логическая матрица будет иметь вид таб. 5.

Таблица 5

	$L_{СМ1}$	$L_{СМ2}$	$L_{СМ3}$
$P_{СМ1}$	r_O	r_O	r_O
$P_{СМ2}$	r_O	r_O	r_O
$P_{СМ3}$	r_O	r_O	r_O

Из таб. 5 следует, что средняя длительность отключений по причине неустойчивых отказов для любой *i*-й СМ будет определяться согласно выражению

$$Rdt_{CM\,i}^{НУ} = r_O \sum_{i=1}^{3} Tf_{CM_i}^{НУ},$$

$$Tf_i^{НУ} = \sum_{i=1}^{3} Tf_{CM_i}^{НУ},$$

$$r_i^{ср\,НУ} = Rdt_{CM\,i}^{НУ} / Tf_i^{НУ} = r_O,$$

где $Tf_{CM_i}^{НУ} = K_{CM_i}^{РЗиА} \sum_{j=1}^{N_i} z_j^{НУ} L_j$ – средняя частота отключений линии из-за неустойчивых отказов на *j*-м участке длиной Lj; N_i – количество участков линии, входящих в *i*-ю СМ; $K_{CM_i}^{РЗиА}$ – коэффициент срабатывания релейной защиты или автоматического аппарата, в зоне защиты которого находится *i*-я СМ.

Суммарные средние длительность и частота отключений по причине отказов любого вида для *i*-й СМ будут определяться по формулам

$$Rdt_{CM\,i} = Rdt_{CM\,i}^{У} + Rdt_{CM\,i}^{НУ},$$

$$Tf_i = Tf_i^{У} + Tf_i^{НУ}.$$

Коэффициент $K^{РЗиА}$ определяется исходя из следующих соображений:

1. $K^{РЗиА} = K^{АПВ}$, где $K^{АПВ}$ – коэффициент, характеризующий вероятность несрабатывания АПВ автоматического СУ, в зоне защиты которого находится рассматриваемый участок линии. Как показывает статистика [7], успешность срабатывания АПВ масляных выключателей в ЦП составляет около 50% (т.е. $K_{Вык}^{АПВ} = 0,5$). При можно считать, что функция АПВ у выключателя отсутствует или не активирована. В тоже время для реклоузеров, имеющих высокоэффективное 3-х или 4-х кратное АПВ, работающее по быстрым (*high speed*) и медленным (*delayed*) времятоковым характеристикам [8], этот процент значительно выше (если считать, что АПВ реклоузера ликвидирует отключения при всех неустойчивых повреждениях, то $K_{Рек}^{АПВ} = 0$).

2. $K^{РЗиА} = K^{Пред}$, где $K^{Пред}$ – коэффициент, характеризующий вероятность сгорания предохранителя (и, соответственно, отключения от питания части линии), в зоне защиты которого находится рассматриваемый участок, при возникновении неустойчивого повреждения. Если предохранитель находится в зоне действия выключателя в ЦП, то он сгорает при возникновении любого неустойчивого повреждения (т.е. $K_{Вык}^{Пред} = 1$). Если

предохранитель находится в зоне действия реклоузера, настроенного на работу по алгоритму спасения предохранителей, то (как показывает зарубежный опыт [9]) он сгорает приблизительно в 25 % случаев при возникновении неустойчивых отказов (т.е. $K_{Рек}^{Пред} = 0,25$).

Применив предложенный подход к линии на рис. 2 и приняв для выключателя в начале линии $K_{Вык}^{АПВ} = 0,5$, а для реклоузеров $K_{Рек}^{АПВ} = 0$ получим для любой секции

$$Rdt_{СМ\,i}^{НУ} = 0,5r_{O} \cdot Tf_{СМ_1}^{НУ},$$

$$Tf_{i}^{НУ} = 0,5Tf_{СМ_1}^{НУ}.$$

Выводы

В работе представлена принципиально новая концепция моделирования базовых показателей надежности (номенклатура которых соответствует международным стандартам и рекомендациям НКРЭ) воздушных линий напряжением 6...10 кВ при различных компоновках коммутационных и защитных аппаратов, принимая во внимание устойчивые и неустойчивые повреждения.

Модели, подобные представленным выше, могут быть разработаны для всего спектра традиционных и современных защитных и коммутационных аппаратов, что позволяет упростить формализацию процедуры вычисления интегральных показателей надежности для ВЛ любой конфигурации. Они ориентированы на использование в современных информационно-вычислительных комплексах моделирования и оптимизации систем электроснабжения.

Список использованных источников

1. Зорин В.В. Надежность систем электроснабжения / Зорин В.В., Тисленко В.В., Клеппель Ф., Адлер Г. // Киев: Выща школа. Головное издательство, 1984.- 192 с.

2. Андриевский Е.Н. Секционирование и резервирование сельских электросетей / Андриевский Е.Н. // М.: Энергоатомиздат, 1983. - 112 с.

3. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.576:2005. Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільних мереж напругою 0,38—20 кВ з повітряними лініями електропередачі / Міністерство палива та енергетики України, 2005.

4. IEEE Std 493-2007. IEEE Recommended Practice for Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems / The IEEE Inc., USA, February 2007.- 369 pp.

5. Папков Б.В. О терминологии в области надежности электроэнергетики / Папков Б.В. // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения.- 2005.- Выпуск 4.

6. IEEE Std 1366...1003. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices // The IEEE Inc., USA, May 2004.- 35 pp.

7. Шабад М.А. Защита и автоматика электрических сетей агропромышленных комплексов / М.А.Шабад // Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.- 119 с.

8. Попов В.А. Современные технические решения для повышения надежности функционирования воздушных линий номинальным напряжением 6,10 кВ / В.А.Попов, В.В.Ткаченко, Ю.Д.Манойло // Промэлектро.- 2010.- № 6.- С. 28-36.

9. Antikainen J. Possibilities to Improve Reliability of Distribution Network by Intended Island Operation / Antikainen J., Repo S., Verho P., Jarventausta P. // International Journal of Innovations in Energy Systems and Power.- April 2009.- Vol. 4, № 1.- pp 22-28.

Кузьмич Д. І.

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ЛГАНСЬОЇ ОБЛАСТІ

У статті представлений аналіз стану природно-заповідних територій Луганської області, показана динаміка та перспектива розвитку ПЗФ у регіоні.

Ключові слова: природно-заповідний фонд, екологічна мережа, природно-заповідні території.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлен анализ состояния природно-заповедных территорий Луганской области, показана динамика и перспективы развития ПЗФ в регионе.

Ключевые слова: природно-заповедный фонд, экологическая сеть, природно-заповедные территории.

ANALYSIS STATUS AND PROSPECTS OF NATURAL RESERVE FUND LUGANSK REGION

The article presents an analysis of the state of natural protected areas Luhansk region, shows the dynamics and prospects of development of the NRF in the region.

Keywords: nature-reserve fund, ecological network of natural protected areas.

Вступ

Природно-заповідні території є ключовими територіями екологічної мережі, довкола яких формуються інші елементи, що забезпечують захист природних територій.

Основним напрямком діяльності в галузі збереження біорізноманіття є оголошення територій та об‘єктів природно-заповідного фонду.

На сьогоді природно-заповідний фонд Луганської області включає в себе 133 об’єкта, сумарна площа яких становить 68 тис. 255 га. Він представлений заповідними територіями різних категорій, що створені для охорони рідкісних та типових, унікальних та мальовничих територій та ландшафтів, популяцій рослин та тварин, водних джерел. На цих землях встановлений обмежений режим природокористування, заборонено втручання, яке може призвести до руйнації природних комплексів та їх компонентів. Процент природно-заповідних теріторій по регіону становить 2,5% при середньому 4,9%. З об’єктів високго статусу заповідності в області є лише один – Луганський природний заповідник.

На сьогодні до складу природно-заповідного фонду Луганської області входять:

- один природний заповідник,
- один регіональний ландшафтний парк,
- 45 заказників,
- 18 заповідних урочищ,
- 61 пам'ятка природи,
- 7 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва.

Завдання та мета дослідження

Згідно з законодавством України, однією з цілей створення об´єктів ПЗФ є гармонійний і сталий розвиток природи і людської діяльності, направлений на збільшення якості і кількості природних багатств, забезпечення зростаючих потреб суспільства і народного господарства. Головним методом досягнення вищезгаданих цілей є регулювання господарської діяльності шляхом обмеження окремих її видів, що негативно впливають на природне середовище. Розвиток традиційних видів землекористування, використання рослинних ресурсів для задоволення власних потреб громадян, рекреаційні, оздоровчі види природокористування повинні мати всебічну підтримку і широку перспективу.

За поданням Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Луганській області Луганською обласною радою у лютому 2012 р. оголошені 11 нових природно-заповідних території місцевого значення загальною площею 3922,2939 га, а саме:

- ботанічний заказник «Кошарський» на території Антрацитівського району площею 215,0 га;
- ландшафтний заказник «Вишневий» на території Антрацитівського площею 312,0 га;
- ландшафтний заказник «Степові розлоги» на території Антрацитівського 225,5 га;
- лісовий заказник «Луганський» на території міста Луганська площею 1340,2663 га;
- ландшафтний заказник «Нижній суходіл» на території Новоайдарського району 141,2 га;
- ландшафтний заказник «Кам`янський» на території Новопсковського району площею 515,4626 га;
- ландшафтний заказник «Донцівський» на території Новопсковського району площею 298,4955 га;
- ботанічна пам‘ятка природи «Ганнівський» на території Перевальського району площею 450 га;
- лісовий заказник «Веселогірський» на території Слов‘яносербського району площею 94,67 га;
- ботанічна пам‘ятка природи «Новочервоненська» на території Троїцького району площею194,3459 га.

Управлінням протягом року були підготовлені проекти створення нових природно-заповідних території місцевого значення:

- ландшафтного заказника «Нагольний кряж» у Свердловському районі площею 598 га;
- лісового заказника «Глухий бір» у Антрацитівському районі площею 92 га;
- лісового заказника «Горіхівська діброва» у Попаснянському районі площею 351,7 га;
- ландшафтного заказника «Врубівський» у Попаснянському районі площею 142,96 га;
- ландшафтного заказника «Новозванівський» у Попаснянському районі площею 209,8 га;
- ландшафтного заказника «Борсуча балка» у Попаснянському районі площею 134,6715 га;
- ландшафтного заказника «Княгинівський» у м. Красний Луч площею 20,0 га;
- ландшафтного заказника «Балакирівський» у Старобільському районі площею 204,0388 га;
- лісового заказника «Мінаєвська діброва» у Новоайдарському районі площею 359,3188 га;
- ботанічної пам‘ятки природи «Красна» у Краснодонському районі площею 118,7680 га;
- ландшафтного заказника «Кружилівський» у Краснодонському районі площею 102,9656 га.

Розроблений проект зміни меж загальнозоологічного заказника місцевого значення «Іллірійський», в результаті чого його площа збільшиться на 228, 0346 га та буде становити 3074,5754 га.

Результати дослідження

Зважаючи на велику щільність насення Луганської області та близкість природно-заповідних територій до населенних пунктів, був вибраний найбільш доцільний режим раціонального використання заповідних об'єктів, який врахував інтереси місцевих громад, - заказний, при якому традиційна господарська діяльність, така як сінокосіння, випасання худоби, відпочинок населення тощо не забороняється, а лише обмежується.

Динаміка розвитку мережі природно-заповідного фонду за площею, починаючи з 2007 року, відрізняється стабільним рівномірнимзростанням завдяки плануванню та науково

обгрунтуваному підбору перспективних заповідних територій.

Указом Президента України від 17.12.2008 № 1169/2008 було збільшено територію Луганського природного заповідника на 3281 га шляхом створення четвертого філіалу – «Трьохізбенський степ» - за рахунок земель державної власності (запас), які знаходяться на території Трьохізбенської сільської ради Слав'яносербського району (3064 га) та Гречишкинської сільської ради Новоайдарського рйону (217 га).

Указом Президента України від 11 грудня 2009 року № 1040 створений національний природний парк «Сіверсько-Донецький» площею 7007 га, який розташований у Кремінському районі на землях державного підприємства «Кремінське лісопромислове господарство»

У період 2009-2010 років Луганською обласною радою прийняті також рішення щодо підтримки клопотання про оголошення територій та об1єктів загальнодержавного значення.

Перелік територій та об'єктів ПЗФ загальнодержавного значення, створення яких підтримане Луганською обласною радою

1. «Сафоново» ботанічний заказник загальнодержавного значення 21,7
2. «Єлізаветівський степ» ботанічний заказник загальнодержавного значення 610,0
3. «Церковний ліс» лісовий заказник загальнодержавного значення 117,6
4. «Дельфінієвий схил» ботанічний заказник загальнодержавного значення 51,0
5. «Лобове» комплексна пам'ятка природи загальнодержавного значення 463,6
6. «Калинове-Довге» лісовий заказник загальнодержавного значення 477,7
7. «Балка Крейдяний яр» пам'ятка природи загальнодержавного значення 45,24
8. «Ельба» ботанічний заказник загальнодержавного значення 756,5
9. «Добрянські гори» ботанічний заказник загальнодержавного значення 116,7
10. «Урочище Терське» ландшафтний заказник 123,9
11. «Балка Ковильна» ботанічний заказник загальнодержавного значення 88,26

Стан та перспективи створення розвитку природно-заповідного фонду як складового

елементу національної екологічної мережі в Луганській області визначені в Регіональній цільовій програмі розвитку екологічної мережі Луганської області на 2010 — 2020 роки, яка затверджена рішенням Луганської обласної ради від 03 грудня 2009 р. № 32/19. Згідно з цією Програмою, в області заплановано розширення природно-заповідного фонду в розрізі адміністративних районів.

Розподіл об'єктів і територій ПЗФ по адміністративних районах Луганської області

Район	Площа району, га	Площа ПЗФ станом на 01.06.2009, га	Частка ПЗФ станом на 01.06.2009, %	Площа ПЗФ станом на 01.01.2020, га	Частка ПЗФ станом на 01.01.2020, %
Антрацитівський	166219	1237,8	0,74	11635,33	4
Біловодський	159696	22097,5	13,83	22097,5	13,83
Білокуракинський	143581	3585	2,5	3585	5
Краснодонський	138613	755	0,54	6930,65	4
Кремінський	162670	4043,3	2,49	19043,3	11,71
Лутугинський	105723	3322,3219	3,14	3322,32	5
Марківський	116648	5346	4,58	5346,0	5,5
Міловський	97105	1884,12	1,94	4369,72	4,5
Новоайдарський	153578	1354	0,88	3839,45	5
Новопсковський	162308	4721,3084	2,63	4721,3	5
Перевальський	80685	2941,47	3,65	2941,47	4,5
Попаснянський	132475	1290,9	0,97	5299,0	4
Свердловський	113193	765,51	0,67	5659,65	5
Сватівський	173929	8661,32	4,97	8661,32	5,5
Слов'яносерб-ський	111337	3590,2005	3,22	3590,2	4
Станично-Луганський	189648	4808,7795	2,53	7585,92	4
Старобільський	158198	409,7	0,26	6327,9	4
Троїцький	163300	0	0	8165,0	4

Частка площ територій окремих категорій у природно-заповідному фонді Луганської області складає: природних заповідників — 5,8%, національних природних парків — 7,5%, регіональних ландшафтних парків — 15,1 %, заказників — 63,2 %, пам'яток природи — 6 %,

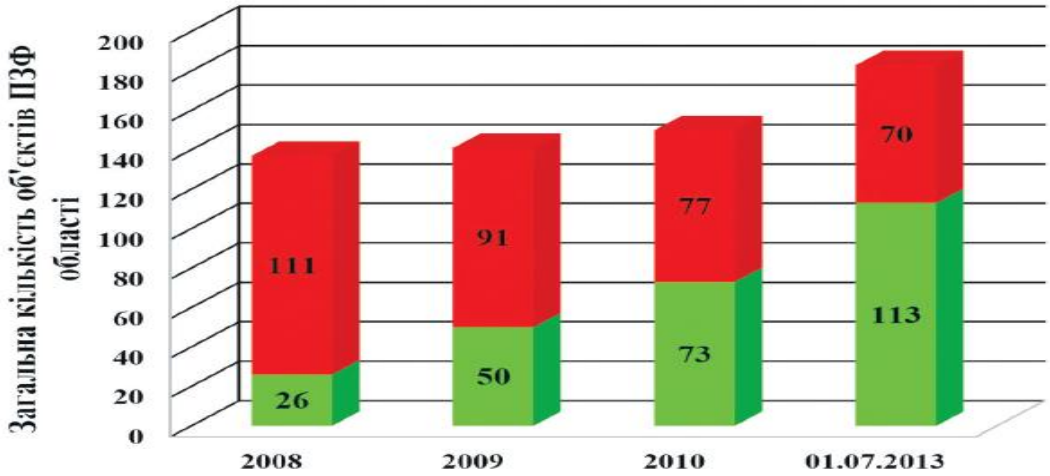
парків-пам'яток садово-паркового мистецтва — 0,4 %, заповідних урочищ — 3%. Об'єкти і території загальнодержавного значення становлять 14,8% від загальної площі природно-заповідного фонду області.

Таким чином, у Луганській області, як і в Україні в цілому, за площею та кількістю одиниць переважають заказники, а серед них - заказники місцевого значення.

Висновки

Станом на 01.07.2013 року на території області встановлено в натурі з розробленням відповідної землевпорядної документації межі 103 природно-заповідних об'єктів на загальній площі 31 927,2211 га, з них 6251,02 га — загальнодержавного значення, 25 676,2011 га — місцевого значення. За кошти обласного фонду охорони навколишнього природного середовища протягом 2011 - 2013 років виготовлено 159 державних охоронних знаків, які встановлені на територіях та об'єктах природно-заповідного фонду області.

Встановлення меж в натурі проводиться щороку поетапно за рахунок коштів обласного фонду охорони навколишнього природного середовища. Динаміка встановлення меж та об'єктів природно-заповідного фонду наведена на рисунку.



З метою забезпечення раціонального та невичерпного користування природними ресурсами в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення та впровадження єдиного механізму природокористування за поданням Управління рішенням Луганської обласної ради від 09.11.2012 № 15/34 внесені зміни до перспективного плану роботи обласної ради на 2012 рік, а рішенням від 29.12.2012 № 16/23 затверджений Порядок встановлення лімітів на спеціальне використання природних ресурсів місцевого значення в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення Луганської області.

ЛІТЕРАТУРА

1. Департамент екології та природних ресурсів Луганської обласної державної адміністрації, «Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища в Луганській області у 2012 році»

2. Природно-заповідний фонд Луганської області // О.А. Арапов (заг. ред.), Т.В. Сова, О.А. Савенко, В.Б. Фєрєнц, Н.У. Кравець, Л.Л. Зятьков, Л.О. Морозова. Довідник. — 3-е вид., доп. і перероб.—Луганськ: ТОВ «Віртуальна реальність», 2013. — 224 с., іл.

3. Екологічний паспорт регіону. Луганська область, 2013.

Д.т.н. Кутін В.М., к.т.н. Рубаненко О.Є.,

асп. Мисенко С.В.

Вінницький Національний Технічний Університет, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА

Анотація: Запропоновано метод визначення діагностичного параметра, який характеризує технічний стан зазора у шарнірі шатуна пружини увімкнення привода вимикача.

Ключові слова: високовольтний вимикач, діагностування, приводний механізм, швидкісні характеристики, високочастотний сигнал.

Вступ. В наш час на підстанціях енергетичних систем встановлена велика кількість елегазових високовольтних вимикачів різних типів та виробників. Досвід експлуатації яких за деякими типами незначний. Для надійної роботи такого відповідального обладнання потрібно контролювати його технічний стан. Для визначення технічного стану вимикача використовують методи постійного та періодичного контролю діагностичних параметрів. Найбільш інформативними параметрами, які можна отримати під час проведення пуско-налагоджувальних робіт, технічному обслуговуванні та методами безперервного контролю є швидкісні характеристики [1]. Проте отримання швидкісних характеристик елегазових вимикачів обмежено конструктивними особливостями, а саме місцями приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення до рухомих частин вимикача, тому запропоновано для контролю параметрів технічного стану дугогасильної камери і приводних механізмів використати метод накладання тестового високочастотного сигналу на коло, яке містить контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання. Визначення цих параметрів на різних частотах тестового сигналу дозволяє отримати швидкісні характеристики без використання сенсорів кутового та лінійного переміщення. Аналіз отриманих залежностей підвищить точність контролю з метою виявлення дефектів в роботі вимикача на початковій стадії їх розвитку [2].

Основна частина. Для визначення діагностичних параметрів було проведено дослідження роботи вимикача при справному приводі вимикача та при відхиленні в роботі привода зумовленому збільшенням зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення. Збільшення зазору в шарнірі шатуна пружини увімкнення викликане зношенням спряжених частин привода.

Під час проведення пуско-налагоджувальних робіт на елегазовому вимикачі Siemens 3APF1 145 кВ було знято 16 залежностей швидкостей переміщення рухомої ланки приводу від часу під час операції увімкнення за допомогою приладу «Рекон 08ВВ». Опрацювавши отримані результати було визначено швидкості переміщення $\upsilon_{к1}$ з періодом часу 0,2 мс (похибка приладу становить 0,1 мс) та обчислено середні значення швидкостей (табл. 1.).

Подальші дослідження проводились на вимикачеві у якого збільшився зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення. Аналогічно попереднім дослідженням було знято 16 осцилограм залежності швидкості переміщення $\upsilon_{к2}$ ланки приводу від часу під час операції увімкнення за допомогою приладу «Рекон 088». Аналогічно проведено розрахунки та отримано результати (табл. 1.).

Обчислено різницю швидкостей $\Delta\upsilon_к$ для відповідних моментів часу за формулою, результати наведені в таблиці 1.

$$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}, \quad (1)$$

Таблиця 1 – Залежність швидкостей переміщення РКС вимикачів

t,мс.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\upsilon_{к1}$, м/с	0	1,027	1,987	2,807	3,503	3,982	4,503	5,364	6,045	6,483
$\upsilon_{к2}$, м/с	0	0,768	1,756	2,205	2,387	2,568	2,899	3,624	4,485	5,254
$\Delta\upsilon_к$	0	0,259	0,231	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229
t,мс.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\upsilon_{к1}$, м/с	6,824	7,284	7,764	7,956	8,245	8,457	8,784	9,057	9,207	9,243
$\upsilon_{к2}$, м/с	6,042	6,845	7,279	7,708	7,982	8,243	8,507	8,804	8,984	9,104
$\Delta\upsilon_к$	0,782	0,439	0,485	0,248	0,263	0,214	0,277	0,253	0,223	0,139
t,мс.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\upsilon_{к1}$, м/с	9,265	9,186	9,021	8,541	7,763	6,927	5,862	4,358	2,486	0
$\upsilon_{к2}$, м/с	9,057	9,045	8,924	8,267	7,521	6,534	5,563	4,205	2,286	0,624
$\Delta\upsilon_к$	0,208	0,141	0,097	0,274	0,242	0,393	0,299	0,153	0,2	-0,624

Графічно результати досліджень та розрахунків показано на рис.1.

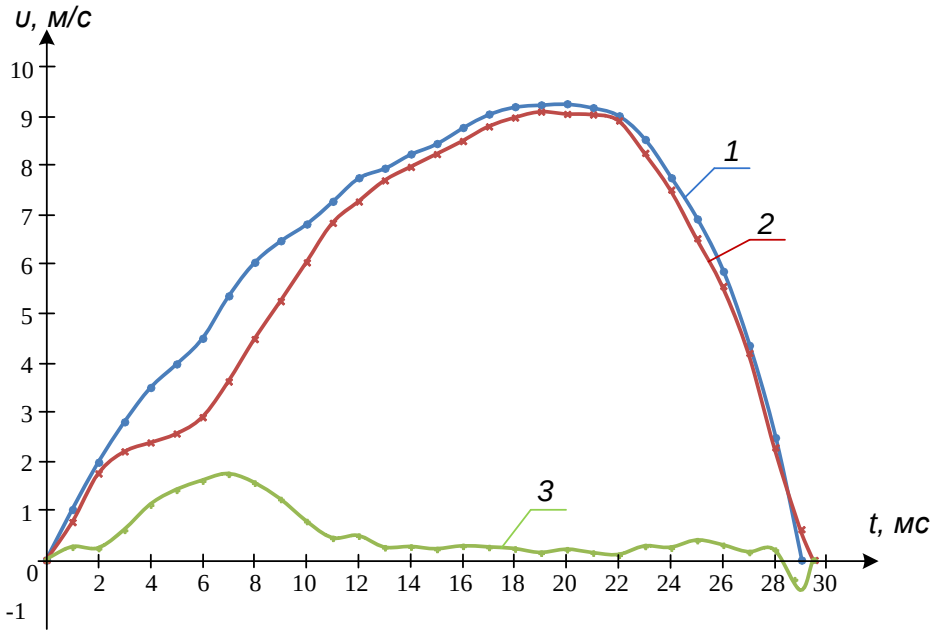


Рисунок 1 – Залежності швидкості переміщення рухомої контактної системи під час операції увімкнення: 1 – справного вимикача, 2 - при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення, 3 – різниця швидкостей.

Враховуючи, що похибка вимірювань швидкості приладу становить 0,2 м/с відкинемо результати розрахунків різниці швидкостей зі значенням менше та дорівнює 0,2 м/с, тобто помилкові значення швидкостей отримані за рахунок похибки приладу (табл.2).

Таблиця 2 – Різниця швидкості рухомої ланки справного вимикача та при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення ($\Delta\upsilon_к \leq 0{,}2$ м/с)

t,мс.	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}$	0,259	0,231	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56
t,мс.	9	11	12	13	14	15	16	17
$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}$	1,229	0,439	0,485	0,248	0,263	0,214	0,277	0,253
t,мс.	18	19	20	23	24	25	26	
$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}$	0,223	0,139	0,208	0,274	0,242	0,393	0,299	

Для визначення діагностичного параметра, у вигляді інтервалу часу, який характеризує технічний стан шарніра шатуна пружини увімкнення використаємо одно факторний аналіз (Критерій Фішера) [3]. Для цього пропонуємо такий алгоритм:

1. Використовуючи дані табл. 2. знайдемо суму результатів вимірювань швидкостей для справного вимикача та вимикача, в якого збільшений зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення за формулою

$$Y_{\upsilon_{k1i}} = \sum_{i=1}^{23} \upsilon_{k1i} = 1{,}027 + 1{,}987 + 2{,}807 + 3{,}503 + 3{,}982 + 4{,}503 + 5{,}364 + 6{,}045 +$$

$$+ 6{,}483 + 6{,}824 + 7{,}824 + 7{,}764 + 7{,}956 + 8{,}245 + 8{,}46 + 8{,}784 + 9{,}057 + 9{,}207 + \quad (2)$$

$$+ 9{,}265 + 8{,}541 + 7{,}763 + 6{,}927 + 5{,}862 = 147{,}637 \quad \text{м/с}$$

де, $Y_{\upsilon k1i}$ - сума швидкостей для справного вимикача.

$$Y_{\upsilon_{k2i}} = \sum_{i=1}^{23} \upsilon_{k2i} = 0{,}768 + 1{,}756 + 2{,}205 + 2{,}387 + 2{,}568 + 2{,}899 + 3{,}624 + 4{,}485 +$$

$$+ 5{,}254 + 6{,}042 + 6{,}845 + 7{,}279 + 7{,}708 + 7{,}982 + 8{,}243 + 8{,}507 + 8{,}804 + \quad (3)$$

$$+ 8{,}984 + 9{,}057 + 8{,}267 + 7{,}521 + 6{,}534 + 5{,}563 = 133{,}282$$

де, $Y_{\upsilon k2i}$ - сума швидкостей для вимикача при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення.

2. Підносимо до квадрату отримані результати сум швидкостей для справного (4) та вимикача при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення (5):

$$Y^2_{\upsilon_{k1i}} = 147{,}637^2 = 21796{,}684 \ \ м/с, \quad (4)$$

$$Y^2_{\upsilon_{k2i}} = 133{,}282^2 = 17764{,}092 \ \ м/с. \quad (5)$$

3. Ділимо отримані результати сум швидкостей для справного вимикача та вимикача при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення на кількість вимірювань швидкостей:

$$\frac{1}{m} Y^2_{\upsilon_{k1i}} = \frac{1}{23} 21796{,}684 = 947{,}682, \quad (6)$$

$$\frac{1}{m} Y^2_{\upsilon_{k2i}} = \frac{1}{23} 17764{,}092 = 772{,}351. \quad (7)$$

де, m =23 кількість вимірювань швидкості;

4. Обчислюємо суму піднесених до квадрата результатів швидкостей для справного вимикача і вимикача в якого збільшений зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення:

$$\sum_{i=1}^{23} \upsilon^2_{k1i} = 1{,}027^2 + 1{,}987^2 + 2{,}807^2 + 3{,}503^2 + 3{,}982^2 + 4{,}503^2 + 5{,}364^2 + 6{,}045^2 +$$

$$+ 6{,}483^2 + 6{,}824^2 + 7{,}824^2 + 7{,}764^2 + 7{,}956^2 + 8{,}245^2 + 8{,}46^2 + 8{,}784^2 + 9{,}057^2 +, \quad (8)$$

$$9{,}207^2 + 9{,}265^2 + 8{,}541^2 + 7{,}763^2 + 6{,}927^2 + 5{,}862^2 = 1076{,}689 \quad \text{м/с}$$

$$\sum_{i=1}^{23}\upsilon_{k2i}^2 = 0{,}768^2 + 1{,}756^2 + 2{,}205^2 + 2{,}387^2 + 2{,}568^2 + 2{,}899^2 + 3{,}624^2 + 4{,}485^2 +$$

$$+ 5{,}254^2 + 6{,}042^2 + 6{,}845^2 + 7{,}279^2 + 7{,}708^2 + 7{,}982^2 + 8{,}243^2 + 8{,}507^2 + 8{,}804^2 + \quad (9)$$

$$+ 8{,}984^2 + 9{,}057^2 + 8{,}267^2 + 7{,}521^2 + 6{,}534^2 + 5{,}563^2 = 928{,}671 \quad \text{м/с}$$

5. Обчислюємо суму результатів всіх швидкостей

$$\sum_{j=1}^{2} Y_{\upsilon_{k2i}} = Y_{\upsilon_{k1i}} + Y_{\upsilon_{k2i}} = 147{,}637 + 133{,}282 = 280{,}919\ . \quad (10)$$

6. Знаходимо суму квадратів підсумків швидкостей поділених на кількість вимірювань

$$Q_2 = \sum_{n=1}^{2}\frac{1}{m}Y_{\upsilon_{k1n}}^2 = 947{,}682 + 772{,}351 = 1720{,}033. \quad (11)$$

7. Визначимо суму піднесених до квадрата результатів всіх швидкостей

$$Q_1 = \sum_{m=1}^{2}\upsilon_{k1m}^2 = = 1076{,}689 + 928{,}671 = 2005{,}36\ . \quad (12)$$

8. Знаходимо загальну кількість вимірювань

$$M=23+23 = 46. \quad (13)$$

9. Розраховуємо суму результатів всіх швидкостей піднесену до квадрату поділену на загальну кількість вимірювань загального підсумку

$$Q_3 = \frac{1}{M}\left(\sum_{j=1}^{2}Y_{\upsilon_{k2i}}\right)^2 = \frac{1}{46}280{,}919^2 = 1715{,}554\,. \quad (14)$$

10. Загальна сума квадратів відхилень визначається за формулою

$$S = Q_1 - Q_3 = 2005{,}36 - 1715{,}554 = 289{,}806\,. \quad (15)$$

11. Сума квадратів відхилень швидкостей по середині вимірювань

$$S_0 = Q_1 - Q_2 = 2005{,}36 - 1720{,}033 = 285{,}327\ . \quad (16)$$

12. Сума квадратів відхилень між вимірюваннями

$$S_x = Q_2 - Q_3 = 1720{,}033 - 1715{,}554 = 4{,}479\,. \quad (17)$$

13. Кількість досліджуваних станів вимикача

$$U=2. \quad (18)$$

14. Кількість ступенів свободи по середині серій

$$U_0=M-u=46-2=44. \quad (19)$$

15. Кількість ступенів свободи між серіями

$$U_x=u-1=2-1=1. \quad (20)$$

16. Загальна кількість ступенів свободи

$$U=M-1=46-1=45. \quad (21)$$

17. Загальна вибіркова дисперсія

$$S^2 = S / U = 809{,}671 / 45 = 17{,}993. \quad (22)$$

18. Вибіркова дисперсія по середині серій

$$S_0^2 = S_0 / U_0 = 285{,}327 / 44 = 6{,}485. \quad (23)$$

19. Вибіркова дисперсія між серіями

$$S_x^2 = S_x / U_x = 4{,}479 / 1 = 4{,}479\ . \quad (24)$$

20. Виконаємо перевірку значимості впливу фактора, для чого знайдемо дисперсійне відношення (розрахункове значення критерію Фішера)

$$F = \frac{S_x^2}{S_0^2} = \frac{4{,}479}{6{,}485} = 0{,}69\ . \quad (25)$$

З таблиці значення F- критерію Фішера для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1=u_x=1$ і $U_2=u_0=44$ дорівнює [3]

$$F_{0,05}(1;44)=4{,}08. \quad (26)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;44)$ то графіки залежності швидкості переміщення РКС для справного вимикача та вимикача з збільшеним зазором в шарнірі шатуна пружини увімкнення дуже подібні. Тому для подальшого визначення діагностичного параметра, запропоновано відкинути значення різниць швидкостей що менші за подвійну похибку приладу, а саме 0,4 м/с.

Таблиця 3 – Різниця швидкості рухомої ланки справного вимикача та вимикача при збільшеному зазорі в шарнірі шатуна пружини увімкнення ($\Delta\upsilon_к \leq 0{,}4$ м/с).

t,мс.	3	4	5	6	7	8	9	11	12
$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}$	0,602	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229	0,439	0,485

Подальші дослідження проводились аналогічно. В результаті було отримано розрахункове значення критерію Фішера $F = \frac{S_x^2}{S_0^2} = \frac{6{,}313}{3{,}26} = 1{,}9$ (27)

З таблиці значення F- критерію Фішера для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1=u_x=1$ і $U_2=u_0=16$ дорівнює

$$F_{0,05}(1;18)=4{,}49 \quad (28)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;16)$, тому для подальшого визначення діагностичного параметра проведено вибірку різниць швидкостей (табл. 3.), значення яких перевищує 0,6 м/с (потрійну похибку приладу). Результати вибірки наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Різниця швидкості рухомої ланки справного вимикача та вимикача при збільшеному зазорі в шатуні пружини увімкнення ($\Delta\upsilon_к \leq 0{,}6$ м/с)

t,мс.	4	5	6	7	8	9
$\Delta\upsilon_к = \upsilon_{к1} - \upsilon_{к2}$	1,116	1,414	1,604	1,74	1,56	1,229

Подальші дослідження проводились аналогічно. В результаті було отримано розрахункове значення критерію Фішера

$$F = \frac{S_x^2}{S_0^2} = \frac{6{,}251}{1{,}2} = 5{,}2 \qquad (29)$$

З таблиці значення F- критерію Фішера для 5 відсоткового рівня значимості і кількості ступенів свободи $U_1=u_x=1$ і $U_2=u_0=10$ дорівнює

$$F_{0,05}(1;10)=4{,}96 \qquad (30)$$

Оскільки $F < F_{0,05}(1;10)$, $5{,}2 > 4{,}96$ то в якості діагностичного параметра, приймаємо інтервал часу від t_1=4 мс до t_2=9. На вказаному інтервалі часу величина швидкості для справного вимикача значно перевищує величину швидкості для вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі пружини шатуна увімкнення. Тобто, відповідно до критерію Фішера, подібності кривих залежностей швидкості переміщення РКС справного вимикача і вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення не встановлено.

Висновки.

Для виявлення збільшення зазора у шарнірі шатуна пружини увімкнення привода вимикача в якості діагностичного параметра запропоновано інтервал часу на якому значення швидкості переміщення РКС для справного вимикача значно перевищує значення швидкості переміщення РКС для вимикача у якого збільшився зазор в шарнірі шатуна пружини увімкнення.

Література

1. Сопель М.Ф. До визначення залишкового ресурсу елегазових високовольтних вимикачів 750 кВ / М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик, А. В. Панов, Ю.В. Пилипенко // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. – 2007. – Частина 1, №1(16). – С. 136-139/

2. Кутін В.М. Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів / Рубаненко О.Є., Мисенко С.В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2012. №1. – С.1-7.

3. Лежнюк П.Д. Основи теорії планування експерименту. Лабораторний практику. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 167 с.

О.Є.Рубаненко, к.т.н., доц. ВНТУ;
І.А.Жук, заст. нач. ЕЦ ДсГАЕС

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вступ

Складні умови експлуатації електричних мереж обумовлюють виникнення аварій, які часто стають причиною не тільки економічних втрат, але й людських жертв.

Мережі оперативного постійного струму (ОПС) електричних станцій і підстанцій призначені для живлення пристроїв релейного захисту і автоматики. відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, котушок увімкнення та вимкнення високовольтних вимикачів і т.п. Відповідальність таких споживачів висуває високі вимоги до надійності мереж ОПС.

Дослідження пошкоджуваності мереж ОПС електричних станцій і підстанцій свідчать про те, що найчастішим видом порушень в цих мережах є замикання одного полюса на землю. Враховуючи час експлуатації підстанцій та старіння ізоляції мереж ОПС, варто прогнозувати зростання таких видів дефектів.

Незважаючи на велику кількість розробок, сьогодні найбільш широко експлуатуються пристрої загальномережевого контролю ізоляції «УКИ-1». Побудовані на основі мостової вимірювальної схеми, вони реагують на порушення симетрії опорів полюсів мереж ОПС відносно землі і не можуть забезпечити чутливість 20 кОм [1,2] при близьких до симетричних зменшеннях опорів ізоляції полюсів.

У відповідності до [2] в разі спрацювання «УКИ-1» на протязі 8 годин має бути з'ясована причина та відновлена нормована величина опору полюсів відносно землі. І хоча з [3] цей пункт виключено, актуальність проблеми підвищення надійності мереж ОПС, швидкого пошуку місць однополюсних замикань, надійності МОПС не зменшилась На цей час припиняються регламентні роботи в мережах ОПС. Широко використовуваним методом пошуку місця зі зменшеним опором ізоляції полюсів є метод послідовних відключень, під час яких можливі помилкові дії персоналу, або релейного захисту, викликані перезарядом ємностей полюсів мережі через елементи релейного захисту. На величину такого струму перезаряду впливає опір ізоляції, який змінюється в процесі експлуатації.

ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ВЕЛИЧИНУ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ

На ізоляцію полюсів у системі оперативного постійного струму (ОПС), що знаходяться під робочою напругою, впливають механічні, електричні й атмосферні впливи. Особливо сильно на ізоляцію мереж ОПС впливають атмосферні опади: дощ, роса і туман.

Крім атмосферних опадів на ізоляцію клемників, комутаційної апаратури впливають також тверді, рідкі і газоподібні частки різних речовин, що знаходяться в повітрі. Вони осаджуються на поверхні ізоляції й утворюють при зволоженні атмосферною вологою (роса) провідний шар, що істотно знижує електричну міцність ізоляції.

При впливі на ізоляцію робочої напруги в сполученні з забрудненням і зволоженням

ПОВЕРХНІ, ЯК ПРАВИЛО, ПОРУШУЄТЬСЯ СИМЕТРІЯ ІЗОЛЯЦІЇ ПОЛЮСІВ ЩОДО ЗЕМЛІ, ЩО ЗНИЖУЄ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКУ І МОЖЕ ПРИЗВЕСТИ ДО ЗМІНИ УСТАВОК ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ, СИГНАЛІЗАЦІЇ Й АВТОМАТИКИ. ВИНИКАЄ ІМОВІРНІСТЬ ПЕРЕКРИТТЯ ІЗОЛЯЦІЇ. ІМОВІРНІСТЬ ЗБІГУ ТОГО, ЩО НА ІЗОЛЯЦІЮ ВПЛИВАЄ РОБОЧА НАПРУГИ І ТОГО, ЩО ІСНУЮТЬ НЕСПРИЯТЛИВИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИМИ УМОВИ ДУЖЕ ВЕЛИКА.

У ТАКИЙ СПОСІБ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ІЗОЛЯЦІЮ ДІЮТЬ ПОСТІЙНІ ЗМІННІ І ВИПАДКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ.

З МЕТОЮ З'ЯСУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ, ЗІБРАНІ СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ПРО ВЕЛИЧИНУ ЦЬОГО ОПОРУ. ДЛЯ ЦЬОГО НА ДОСЛІДЖУВАЛЬНІЙ ПІДСТАНЦІЇ 330КВ БУВ ЗРОБЛЕНИЙ АНАЛІЗ ЗАМИКАНЬ В МОПС, ЩО ВІДБУЛИСЯ ІЗ 2005 ПО 2007 РР.

АНАЛІЗ ДАННИХ СВІДЧИТЬ, ЩО НА СТАН ІЗОЛЯЦІЇ ВПЛИВАЄ ВОЛОГІСТЬ СЕРЕДОВИЩА, У ЯКОМУ ВІДБУВАЄТЬСЯ ЕКСПЛУАТАЦІЯ. ВОНА ПРИСКОРЮЄ ПРОЦЕС СТАРІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ. СЕРЕД ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПІДВИЩЕННЯ ВОЛОГИ В ЗАБРУДНЕНІЙ ІЗОЛЯЦІЇ Й У САМОМУ ДІЕЛЕКТРИКУ МОЖНА ВИДІЛИТИ ДОЩ, РОСУ, ТУМАН, ПАМОРОЗЬ.

НА РИС. 1 ПОКАЗАНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ ВІД ТРИВАЛОСТІ ДОЩУ. ОТРИМАНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗУЄ, ЩО ПРИ ТРИВАЛОСТІ ДОЩУ ДО 30 ХВИЛИН ОПІР ІЗОЛЯЦІЇ ІСТОТНО НЕ ЗМІНЮЄТЬСЯ. У НАСТУПНОЇ 3-4 ГОДИНИ ОПІР ПОВІЛЬНО ЗНИЖУЄТЬСЯ ДО 100-80 КОМ, ПІСЛЯ ЧОГО ВІДБУВАЄТЬСЯ ЗАМИКАННЯ ПОЛЮСА НА ЗЕМЛЮ ЧЕРЕЗ ОПІР 0-3 КОМ, ВИКЛИКАНЕ КОМУТАЦІЙНИМИ ПЕРЕНАПРУГАМИ, ПОВЕРХНЕВИМИ ДУГОВИМИ РОЗРЯДАМИ.

АНАЛІЗ ЗАМИКАНЬ, ЩО ВІДБУЛИСЯ ПРОТЯГОМ 2005-2007 РОКІВ НА ДОСЛІДЖУВАЛЬНІЙ ПІДСТАНЦІЇ 330 КВ, ДОЗВОЛИВ ПОБУДУВАТИ ГІСТОГРАМУ, ПРЕДСТАВЛЕНУ НА РИС. 2. З ЦІЄЇ ГІСТОГРАМИ ВИДНО, ЩО В СЕРЕДНЬОМУ, З КОЖНИХ 10 ДОЩІВ П'ЯТЬ ПРИЗВОДИЛИ ДО ЗНИЖЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ПОЛЮСА МЕНШ 100 КОМ.

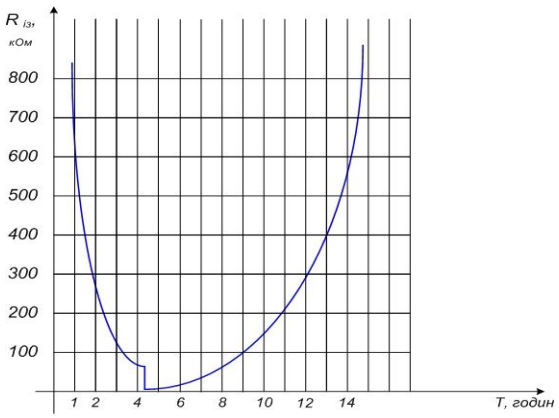


РИСУНОК 1 - ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ОДНОГО ПОЛЮСА МЕРЕЖІ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ ВІД ТРИВАЛОСТІ ДОЩУ

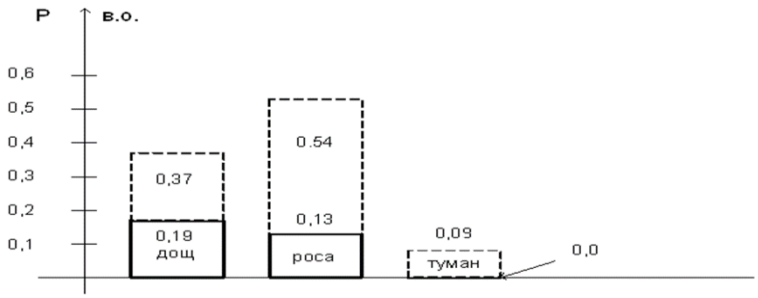


Рисунок 2 – Гістограма розподілу ймовірностей виникнення замикання на землю через

опір від 0 до 30 кОм при різних видах атмосферних опадів (дощ, роса, туман), де: ймовірність випадання даного виду опадів – штрихова лінія; ймовірність замикань – суцільна лінія

З 2005 по 2007 рік усі зниження опору ізоляції до 30 кОм і нижче носили раптовий характер. Від 1 МОм до 200 кОм опір ізоляції частіше знижувалося плавно.

Дослідження показали, що зниження опору до 500 кОм під дією роси відбувається протягом 3-4 годин щодня, коли роса випадає. Незабаром волога випаровується через велику поверхню й ізоляція відновлюється.

На території досліджуваної підстанції в 2007 році 5 разів був туман. Туман стабільно викликав зниження опору ізоляції до 200-300 кОм. Процес зволоження ізоляції під впливом туману повільний у часі.

Після зникнення тумана ізоляція відновлювалася протягом 1-2 годин. Це свідчить про те, що туман проникав у ті місця на території ВРП, де розташовані оголені частини кабелів, що знаходяться під робочою напругою. При цьому, у багатьох місцях відбувається незначне погіршення ізоляції, що разом викликає зниження ізоляції полюса до 200 кОм. Якщо під час дії дощу або роси кількість однополюсних замикань значно перевищує двохполюсні, то при тумані ізоляція погіршується майже симетрично. При паморозі опір ізоляції полюса нижче 500 кОм не знижувався.

У зимовий час кількість замикань на землю різко скоротилася. Отримані за допомогою приладів збору інформації коливання величини опору ізоляції дозволяють побудувати графіки найбільших добових змін активного опору ізоляції полюса мережі відносно землі, які не призвели до аварійного (20 кОм і нижче) зниження опору ізоляції (рис. 3). На рисунку показані: 1 - зміна опору ізоляції для весняного й осіннього сезонів; 2 - літнього і 3 - зимового. На рис. 4 зміни температури Т °С та відносної вологості V % протягом доби показані 1 і 2 - для весняного й осіннього сезонів, 3 і 4 - літнього і 5 і 6 - зимового.

Різкі коливання рівня опору в нижній частині графіку 1 на рис. 3 і на рис. 4 викликані появою дугових поверхневих розрядів, що виникають внаслідок впливу комутаційних перенапруг, при низьких рівнях активного опору ізоляції. На рис. 3 показаний розвиток пошкодження під час дощу до відключення пошкодження оперативним персоналом або захистом.

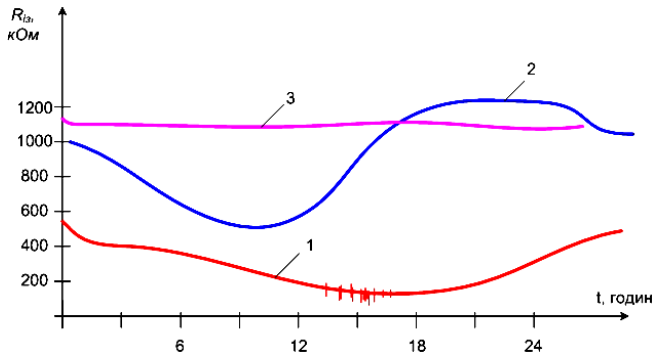


Рисунок 3 - Добові зміни активного опору ізоляції: 1-весна, осінь; 2-літо; 3-зима

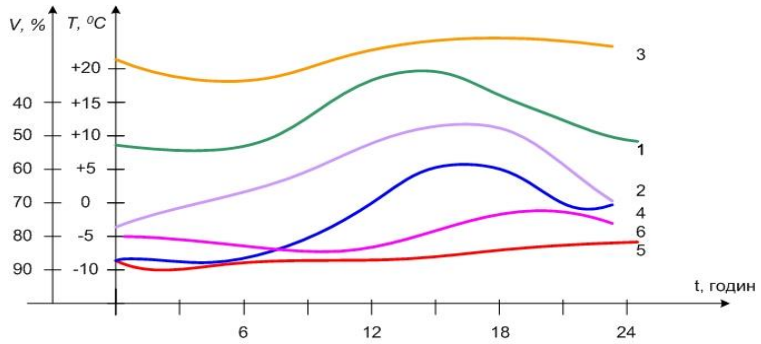


Рисунок 4 - Добові зміни температури Т °С і відносної вологості V %

Результати експериментальних досліджень величини активного опору в місці замикання

Зниження ізоляції може бути викликано шунтуванням ізоляції в одному місці і появою додаткових шунтувальних зв'язків полюса з землею на різних ділянках системи які, будучи паралельними з'єднаннями і маючи високий опір 700-1200 кОм, у кілька разів зменшують опір ізоляції. В першому випадку зниження ізоляції може швидко перейти у коротке замикання, а в другому випадку ізоляція практично завжди відновлюється, волога випаровується, опір ізоляції збільшується.

Результати статистичних досліджень зменшення опору ізоляції полюсів МОПС, результати дослідження ймовірністей виникнення цих зменшень P (в залежності від величини зменшення опорів $R1_{пол}$, $R2_{пол}$) та дослідження кількості k (короткочасних зменшень опору полюсів за визначений проміжок часу спостережень T) наведені в таблиці 1. Ймовірності пошкоджень розраховані, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору) до загальної кількості пошкоджень, які в подальшому призвели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше.

ТАБЛИЦЯ 1 – РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

$R1_{пол}$, ком	$P1(R1_{пол})$, в.о.	T, годин	$P2(T)$, в.о.	k, раз	$P3(k)$, в.о.	$R2_{пол}$,ком	$P4(R2_{пол})$, в.о.
30	0,042	1	0,5	2	0,5	30	0,4
40	0,125	1	0,166667	2	0,166667	40	0,33
80	0,313	1	0,133333	2	0,133333	80	0,288
100	0,46	1	0,090909	2	0,045455	100	0,265
200	0,042	1	0	2	0	200	0,01
300	0,02	1	0	2	0	300	0,0028
…							
100	0,46	4	0,227273	5	0,590909	100	0,265
200	0,042	4	0,5	5	0,5	200	0,01
300	0,02	4	1	5	1	300	0,0028
30	0,042	8	0	7	0	30	0,4
40	0,125	8	0	7	0	40	0,33
80	0,313	8	0,2	7	0,2	80	0,288
100	0,46	8	0,181818	7	0,181818	100	0,265
200	0,042	8	0,5	7	0,5	200	0,01
300	0,02	8	0	7	0	300	0,0028

Шляхом регресійного аналізу даних таблиці 1 (з використанням засобів MathCad) отримуємо ймовірності (P1,P2, P3, P4) зменшень опору ізоляції до 20 кОм в залежності від значень параметрів R1, T, k, R2 відповідно. В результаті, наприклад, P1 визначається за виразом:

$$P1=-4.378\cdot10^{-3}+8.233\cdot10^{-5}\cdot R1+2.649\cdot10^{-5}\cdot R1^{2}+7.003\cdot10^{-7}\cdot R1^{3}+2.143\cdot10^{-9}\cdot R1^{4}-\ldots$$

$$\ldots-8.607\cdot10^{-11}\cdot R1^{5}\ -4.431\cdot10^{-13}\cdot R1^{6}+5.522\cdot10^{-15}\cdot R1^{7}. \quad (1)$$

Маючи ймовірності прогнозування зменшення опору ізоляції полюсів відносно землі в залежності від зміни кожного з контрольованих параметрів, визначаємо загальну ймовірність прогнозування P_{Σ} в залежності від одночасного впливу всіх параметрів (2)

$$P_{\Sigma}=\sum_{i=1}^{n} N_i \prod_{j=1}^{m} X^{b_{ji}}, \quad (2)$$

де N_i – коефіцієнти, які визначаються дослідним шляхом, n – кількість членів поліному, яка залежить від потрібної похибки прогнозування (степені поліному), $X_1 = R1_{пол}$, $X_2 = T$, $X_3 = k$, $X_4 = R2_{пол}$, m – кількість аргументів ($m=4$), b– показник степені кожного аргументу в кожному додатку.

З метою знаходження умов максимальної ймовірності прогнозування майбутнього аварійного зменшення опору ізоляції полюса мереж ОПС використовуємо метод критеріального програмування. В результаті рішення двоістої задачі отримуємо умову максимуму функції (2):

$$R1_{пол\ опт}= R2_{пол\ опт}=100\ кОм,\ T_{опт}= 6\ годин,\ k_{опт}= 3\ рази. \quad (3)$$

Висновки. Проведені дослідження ймовірності тривалих зменшень опору ізоляції полюсів мереж оперативного постійного струму електричних підстанцій в залежності від параметрів попередніх короткочасних зменшень цих опорів свідчать про те, що якість прогнозування майбутнього зменшення цього опору до 20 кОм і менше буде максимальною, якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса мережі
відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин. Використання методу критеріального програмування дозволило знайти оптимальні значення контрольованих параметрів, які забезпечують максимальну імовірність прогнозування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борухман В. А. Устройство ИПИ-1 для отыскания мест повреждения изоляции в сетях оперативного постоянного тока / В. А. Борухман В.А., А. Н. Кулдыкин /Энергетик. – 1985. - №2. – С. 28-29.

2. Инструкция по расследованию и учету нарушений в работе электростанций, сетей и энергообъединений . –М.: СПО, 1983, -18 с.

3. Інструкція про розслідування та облік технологічних порушень на об’єктах електроенергетики і в об’єднаній електроенергетичній системі України СОУ-Н МПЕ 40.1.08.551:2005. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 52 с.

УДК 621.31 **О.В. Вітюк**

ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ БАТАРЕЙ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Метою даної роботи являється підвищення ефективності та зменшення витрат при передачі та розподіленні електричної енергії. Даний метод забезпечує обґрунтований вибір та пошук технічних рішень для впровадження, враховуючи техніко-економічні, технологічні критерії із набору можливих альтернатив. За допомогою даного методу вдалось зменшити втрати електричної потужності, збільшити пропускну здатність ліній, зменшити витрати на передачу електричної енергії. В статті наведена методика пошуку оптимальної потужності та місця розміщення конденсаторних батарей для найбільшого економічного ефекту розподільчої мережі. Цільова функція включає в себе норматив дисконтування, капіталовкладення та експлуатаційні витрати. Критерієм щодо доцільності установки конденсаторної батареї є термін окупності.

***Ключові слова**: компенсація реактивної потужності, оптимальне розміщення конденсаторних батарей.*

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Целью данной работы является повышение эффективности и уменьшения затрат при передаче и распределении электрической энергии. Данный метод обеспечивает обоснованный выбор и поиск технических решений для внедрения учитывая технико-экономические, технологические критерии из набора возможных альтернатив. С помощью данного метода удалось уменьшить потери электрической мощности, увеличить пропускную способность линий, уменьшить расходы на передачу электрической энергии. В статье приведена методика поиска оптимальной мощности и места размещения конденсаторных батарей для наибольшего экономического эффекта распределительной сети. Целевая функция включает в себя норматив дисконтирования, капиталовложения и эксплуатационные расходы. Критерий, определяющий целесообразность установки конденсаторной батареи является срок окупаемости.

***Ключевые слова**: компенсация реактивной мощности, оптимальное размещение конденсаторных батарей.*

OPTIMAL PLACEMENT OF CAPACITOR BANKS IN POWER SYSTEMS

The aim of this work is to increase efficiency and reduce costs in the transmission and distribution of electricity. This method provides an informed choice and finding technical solutions for implementation, including technical, economic, technological criteria from a set of possible alternatives. With this method failed to reduce the loss of electrical power, increase the capacity of lines, reduce the cost of transmission power. The article presents the method of searching the optimal capacity and locations capacitor for most benefits distribution network. The objective function includes standard discount investment and operating costs. Criteria for appropriateness install capacitor bank is the payback period.

***Keywords**: reactive power compensation, optimal capacitor placement.*

Вступ. Одним з основних питань, пов'язаних з підвищенням якості електроенергії в мережах, розв'язуваних як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації систем

промислового електропостачання , є питання про компенсацію реактивної потужності, що включає вибір доцільних джерел, розрахунок і регулювання їх потужності, розміщення джерел у системі електропостачання. Раціональна (оптимальна) компенсація реактивної потужності в промислових електромережах включає в себе широкий комплекс питань, спрямованих на підвищення економічності роботи електроустановок, поліпшення якості споживаної електроенергії, включає методи вибору і розрахунку компенсуючих пристроїв, виходячи з умов виконання завдань енергосистеми. Важливими і до кінця не вирішеними є питання визначення місця установки компенсуючих пристроїв (КУ) і вибору їх виду, раціональної та безпечної експлуатації та захисту. У стадії розробки знаходяться питання автоматичного регулювання реактивної потужності в промислових електромережах, а також створення цілеспрямованого наукового підходу до розробки і вирішення з мінімумом похибки адекватної математичної моделі системи раціональної компенсації реактивної потужності. Вибір раціональної компенсації реактивної потужності призводить до зниження втрат потужності при передачі, до забезпечення належної якості споживаної електроенергії за рахунок регулювання і стабілізації рівня напруги в електромережах, досягненню високих техніко-економічних показників роботи електроустановок.

Матеріал та результати досліджень.

Проходження в електричних мережах реактивних струмів обумовлює додаткові втрати активної потужності в лініях , трансформаторах , генераторах електростанцій, обумовлює втрати напруги, вимагає збільшення номінальної потужності або числа трансформаторів, знижує пропускну здатність всієї системи електропостачання. Велике завантаження реактивної потужністю електростанцій призводить до перевантаження генераторів, до необхідності їх використання спеціально для вироблення реактивної потужності навіть у ті години, коли по активному навантаженню частину генераторів можна відключити в резерв. Реактивною потужністю додатково навантажуються живильні розподільні мережі підприємств, відповідно збільшується загальне споживання електроенергії. Реактивна складова обов'язкова при роботі багатьох промислових установок, тобто вона не може бути виключена повністю. Тому доцільно застосовувати засоби, які призначені для зменшення її споживання з мережі живлення.

Як показав аналіз, методи нелінійного математичного програмування забезпечують необхідну точність оптимізації в умовах повноти та достовірності вихідного інформаційного потоку. Розглядаючи КРМ як яскраво виражену системну проблему в умовах невизначеності, доцільно почати з морфологічного аналізу. Такий підхід дозволить здійснити декомпозицію мережі за наступними признаками : належність різним власникам ; клас номінальної напруги ;якість інформаційних потоків; конфігурація мережі. Це призводить до зменшення розмірності розв'язуваної задачі і забезпечує гнучкість моделі , а також можливість зведення мереж різних конфігурацій до розімкненим . виділення розімкнутих ділянок проводиться на підставі розрахунку усталеного режиму по еквівалентним навантаженням , отриманим по методиці [1] . З важкозамкнутих мереж розімкнуті виділяються після розрахунку усталеного режиму по точках потокорозподілу реактивної потужності.

Після декомпозиції електричної мережі по позначеному вище принципом необхідно вибрати цільову функцію, яка дозволить кількісно підтвердити необхідність проведення КРМ на виділеній ділянці мережі. У задачах оптимізації особливо важливий вибір цільової функції і параметрів оптимізації. Компенсація реактивної потужності комплексно впливає на мережу: знижуються втрати активної потужності, збільшується пропускна здатність елементів мережі, підвищується надійність функціонування мережі, нормалізуються рівні напруги, а в ряді випадків з'являється можливість уникнути витрат на будівництво нових ліній, установку додаткових трансформаторів . Ступінь впливу на мережу буде залежати від

місця установки компенсуючих пристроїв (КУ) та їх потужності. Таким чином, цільова функція представляється наступним функціоналом:

$$Ц = f(Q_{КБ}; N_{КБ}) \quad (1)$$

де $Q_{КУ}$ – потужність КБ;

$N_{КУ}$ – місце установки КБ.

Так як інвестиції в КБ вкладаються протягом одного року, а динаміка зміни експлуатаційних витрат однакова, то в якості цільової функції доцільно використовувати еквівалентні середньорічні витрати, як окремий випадок дисконтованих витрат [3]:

$$З = E \cdot K + И \quad (2)$$

де Е – норматив дисконтування;

К - капітальні вкладення в КБ;

И – експлуатаційні витрати КБ.

В якості капітальних вкладень приймається вартість КБ з необхідним супутнім обладнанням (комірки для підключення, ТТ, прилади обліку, лінії для підключення КБ).

У експлуатаційні витрати входять витрати на монтаж та експлуатацію КБ, амортизаційного відрахування з дисконтованою нормою амортизації і вартість втрат активної енергії в мережі при передачі і розподіленні електроенергії.

Після перетворень цільову функцію еквівалентних середньорічних витрат (З) для нерозгалуженої мережі з двохобмотковими трансформаторами можна представити у вигляді

$$З = (Е + \alpha)K_0 Q_{КБі} + c_0 T \times [\sum_1^n \frac{P_{ij}^2 + (Q_{ij} - Q_{КБі})^2}{U^2} R_{ij} + \sum_1^{n-1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U^2} R_{Ti}] + \frac{P_n^2 + (Q_n - Q_{КБi})^2}{U^2} R_{Tn} \quad (3)$$

де α – коефіцієнт, який враховує долю відрахувань на амортизацію, монтаж, експлуатацію та ремонт КУ;

K_0 – питомі витрати на генерацію реактивної потужності, грн/квар (розраховуються шляхом визначення залежності ціни від потужності КБ по прайс листам постачальників);

C_0 – тариф на втрати електроенергії для мережевої компанії, що розглядається;

Т – час роботи КБ за рік, год;

Q_{ij} – поток реактивної потужності по гілці ij, починаючи з головної ділянки, який може бути знижений при установці n-го КБ, Мвар;

$Q_{куі}$ – потужність КБ, установленої в і-му вузлі і впливаючи на потік реактивної потужності гілки ij, Мвар;

Q_n – потужність навантаження вузла n, до якого можливе підключення КБ, Мвар;

R_{ij} – активний опір ділянки ij схеми, Ом;

R_{Tn} – активний опір двообмоткового трансформатора, до шин якого підключається КБ, Ом.

В якості методу оптимізації потужності і місця установки КБ прийнятий метод умовного екстремуму. Це обумовлено тим, що при оптимізації цільової функції відсутні обмеження. Перекомпенсація у вузлі може служити формальною ознакою того, що переріз повітряної лінії (ПЛ) або номінальна потужність трансформатора не відповідають економічним умовам експлуатації. За допомогою розглянутого методу складається система рівнянь такого вигляду:

$$[Q_{КУ}] \cdot [Y] = [X],) \tag{4}$$

де $[Q_{КУ}]$ – стовпова матриця потужностей КБ, Мвар;

[Y] – квадратна матриця активних опорів, Ом;

[X] – стовпова матриця коефіцієнтів.

Кожне із рівнянь системи (4) розкривається наступним чином:

$$(E+\alpha)K_0 + C_0 T\left[-\sum_1^n \frac{R_{ij}(Q_{ij}-Q_{КБi})}{U^2} R_{ij} - \frac{2(Q_n - Q_{КБ})}{U^2} R_{Tn}\right] = 0) \tag{5}$$

Введемо коефіцієнт А для спрощення системи рівнянь:

$$A = \frac{[E+\alpha)K_0 + \Delta P_{уд} C_0]U^2}{2C_0 T} \tag{6}$$

Отже система має вигляд:

$$\begin{Bmatrix} A_1 - \sum\left(Q_{ij} - \sum_{i=1}^n Q_{КБi}\right)R_{ij} - (Q_1 - Q_{КБ1})R_{T1} = 0 \\ A_n - \sum\left(Q_{ij} - \sum_{i=1}^n Q_{КБi}\right)R_{ij} - (Q_n - Q_{КБn})R_{Tn} = 0 \end{Bmatrix} \tag{7}$$

Вирішення даної системи рівнянь допомагає отримати місця та потужності КУ, максимально знижуючи цільову функцію – З.

Після визначення місця встановлення і потужності КБ проводиться вибір числа і типу, що випускаються серійно і розраховується його ефективність для розглянутого ділянки мережі. Як вже було зазначено, КБ впливають на мережу в комплексі, збільшуючи пропускну здатність і розвантажуючи елементи розподільної мережі, але найбільш всеосяжним і важливим параметром, що підтверджує ефективність КРП, є втрати активної потужності (енергії).

Зниження втрат активної потужності в мережі після установки КБ в і-му вузлі можна визначити за виразом:

$$\delta\Delta P_i - \Delta P_i^{КБ} = \frac{Q_{КБi}[\sum_{i=1}^n (2Q_{ij} - Q_{КБi})R_{ij} + (2Q_i - Q_{КБi})R_{Ti}]}{U^2} \tag{8}$$

де $\delta\Delta P_i$ – величина зниження активних втрат потужності від установки і-го КБ, МВт;

U – напруга джерела живлення гілки, яке отримано із розрахунку режиму до КРП, кВ.

Для підтвердження ефективності вкладення інвестицій у КРП необхідний інтегральний параметр, що дозволяє визначити термін повернення коштів і можливий прибуток. Так як інвестування заходів по КРП здійснюється одноразово (протягом одного року), то обраний статичний показник - термін окупності [3]. За величиною даного параметра приймається остаточне рішення з установки цього пристрою. Розрахунок терміну окупності КУ проводиться за відомою формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\text{Ц}_{\text{КБ}}}{(\delta\Delta P - \Delta P_{\text{КУ}} Q_{\text{КБ}})\text{C}_0 T} \tag{9}$$

де $\text{Ц}_{\text{КБ}}$ – вартість КБ, грн.;

$\Delta P_{\text{КУ}}$ – питомі втрати в КБ, в залежності від їх виробника (кВт/квар).

Таким чином, отримавши розрахункові значення місць установки, потужності, а також ефективності КБ, проводиться їх ранжування за термінами окупності.

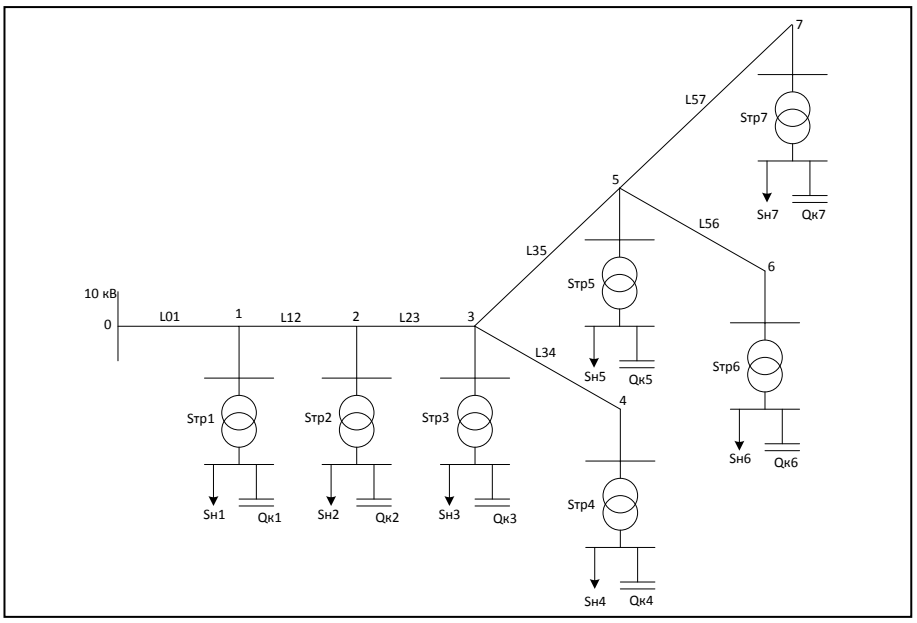


Рис.1 Схема електропостачання

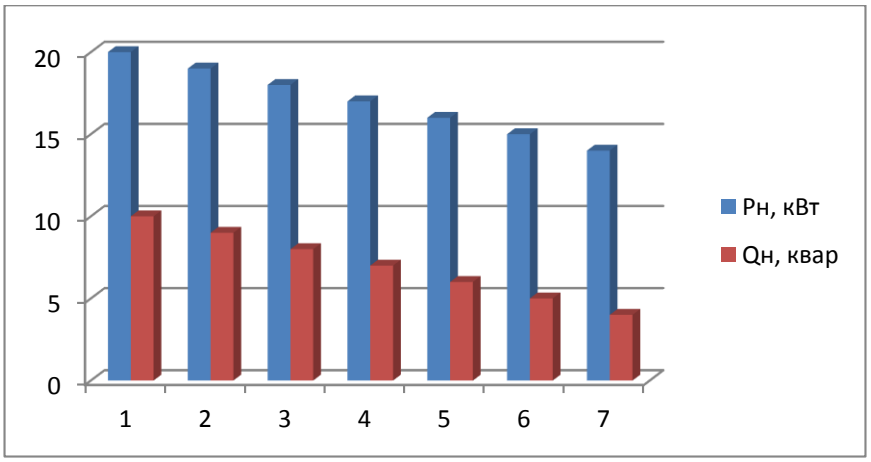


Рис.2 Активні та реактивні потужності споживачів у відповідних пунктах

Висновки. Розроблена методика оптимального підбору потужностей та розміщення конденсаторних батарей у місцях споживання реактивної потужності.

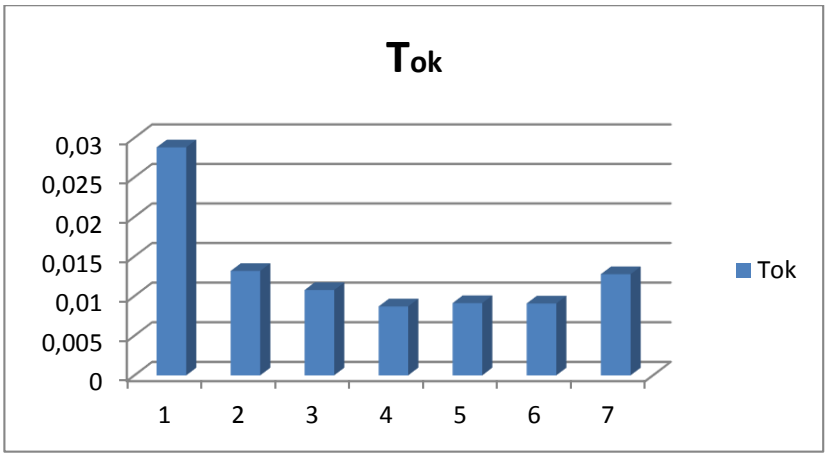


Рис.3 Порівняння терміну окупності

Список літератури:

1. Савина Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях. – Новосибирск: Наука, 2008.
2. Гамм А.З., Голуб И.И. Сенсоры и слабые места в электроэнергетических системах. – Иркутск, 1996.
3. Кожевников Н.Н., Чинакаева Н.С., Чернова Е.В. Практические рекомендации по использованию методов оценки экономической эффективности инвестиций в энергосбережение: Пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.
4. Минин Г. П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 1978. – 88 с.
5. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложный электрических системах. - М:Энергоиздат, 1981.200с.
6. Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях -Промышленная енергетика, - 1990.-№1.-С.50-55.

УДК 66.047:691.223.7

А.В.Чернявський, Л.Я.Кулаковський, О.М.Проскуріна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПІСКУ В СУШАРКАХ БАРАБАННОГО ТИПУ

У статті розроблено математичну модель технологічного процесу сушіння піску в сушарках барабанного типу. Для створення адекватної математичної моделі відібрано фактори, що найбільш впливають на процес сушіння піску та проведено ряд активних виробничих експериментів. За допомогою програмного середовища Matlab Statistics здійснено статистичний та кореляційний аналіз результатів експериментів, побудовані регресійні моделі залежності вихідних енергетичних і якісних показників технології сушіння від вхідних керованих і некерованих параметрів.

Ключові слова: *математичне моделювання, технологічний процес сушіння, сушарка барабанного типу, об'єкт багатокритеріального управління, керовані та некеровані фактори, цільова функція, коефіцієнт регресії.*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЕСКА В СУШИЛКАХ БАРАБАННОГО ТИПА

В статье разработана математическая модель технологического процесса сушки песка в сушилках барабанного типа. Для создания адекватной математической модели отобраны факторы, наиболее влияющие на процесс сушки песка, и проведён ряд активных производственных экспериментов. С помощью программного обеспечения Matlab Statistics осуществлён статистический и корреляционный анализ результатов экспериментов, построены регрессионные модели зависимости выходных энергетических и качественных показателей технологии сушки от входных управляемых и неуправляемых параметров.

Ключевые слова: *математическое моделирование, технологический процесс сушки, сушилка барабанного типа, объект многокритериального управления, управляемые и неуправляемые факторы, целевая функция, коэффициент регрессии.*

DEVELOPMENT OF MODEL MANAGEMENT OF ENERGY EFFICIENCY FOR DRYING PROCESS IN THE DRUM DRYER

In this paper is developed the mathematical model of the process of sand drying in the drum dryer. To create an adequate mathematical model are selected factors that most influence for the process of sand drying and are done a number of active experiments. Statistical and correlation analysis of experimental results are done using software Matlab Statistics, regression models are built. These models show dependence of output power and quality indicators of drying technology from guided and unguided input parameters.

Keywords: *mathematical modeling, technological drying process, dryer drum type, the object of multi control, controlled and uncontrolled factors, the objective function, the regression coefficient.*

Вступ. На сьогодні конвективний спосіб сушіння реалізує більшість промислових сушарок, близько 80%. Більше 40% конвективних сушарок складають сушарки барабанного типу (СБТ), які застосовуються для сушіння сипучих матеріалів топковим газами або підігрітим повітрям в умовах прямоточного або протиточного руху матеріалу і теплоносія [1].

Технології сушіння піску в СБТ характеризуються достатньо високими питомими витратами палива (50-100 кг/т) та електроенергії (понад 70 кВт год/т), коливаннями кінцевої вологості піску (± 2 %) і температури відпрацьованого сушильного агента (± 6 °С) [2]. Це обумовлено недосконалістю технологій, досить великою кількістю вхідних керованих параметрів і збурень, які частіше не враховуються, відсутністю адекватного математичного опису показників ефективності сушіння, недосконалим ручним регулюванням подачі повітря і палива. Відсутність моделей сталих режимів не дозволяє вирішувати багатокритеріальні

оптимізаційні завдання управління з метою мінімізації витрат теплової та електричної енергії. Побудова адекватних математичних моделей процесу сушіння дозволила б в реальному масштабі часу контролювати, регулювати вхідні керовані параметри: вологість, насипну щільність,параметри агента сушіння, витрату матеріалу, що висушується тощо. Наука та існуюча практика не мають достатньо досконалих багатокрітеріальних енергозберігаючих систем управління технологіями сушіння.

Актуальність напрямку досліджень. Аналіз існуючих технологій сушіння дисперсних матеріалів, промислової практики їх проведення, наявних наукових робіт , дає змогу зробити висновок про застосування неоптимальних та неенергоефективних режимів сушіння, про недосконаліть систем управління сушильними барабанами, а також про недостатню вивченість явищ, що відбуваються в результаті видалення вологи з часток дисперсних матеріалів. Тому комплексне вирішення проблеми досконалості технологій сушіння, обладнання,що застосовується, є актуальним питанням, вирішення якого дозволить підвищити продуктивність сушарок, при одночасному зниженні витрати енергоносіїв і стабілізації кінцевої вологості частинок піску

Актуальність обраного напрямку підтверджується принципами розвитку промисловості, що характеризуються створенням якісної конкурентоздатної продукції, досить низькою її собівартістю, низькою енергоємністю технологій, високою продуктивністю обладнання, та екологічністю процесів [3].

Завдання та мета дослідження. Основною метою роботи є проведення дослідження сушарки барабанного типу як об’єкту управління, з метою інтерпретації складної фізичної моделі конвективного процесу сушіння у вигляді формалізованої математичної моделі та подальшої її оптимізації.

Матеріал та результати дослідження. Для отримання адекватного математичного опису технології сушіння необхідним було проведено ряд активних виробничих експериментів на діючому обладнанні та виділення сукупності вхідних керованих факторів і некерованих факторів (збурень), що впливають на вихідні енергетичні і якісні показники технологічного процесу. З сукупності факторів методом експертних оцінок [4] було проведено ранжування факторів і відібрані такі фактори що найбільш суттєво впливають на енергетичні та якісні показники процесу сушіння піску. Результати відбору і ранжування факторів впливу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Відібрані фактори для побудови математичної моделі технологічного процесу сушіння піску в СБТ

Класифікація факторів впливу	Відібрані фактори
1	**2**
Вхідні керовані фактори X_i	1) X_1 - температура агента сушіння на вході в барабан, °С; 2) X_2 - температура топкового газу в топці, °С; 3) X_3 - кількість матеріалу, що завантажується, кг/год.; 4) X_4 - витрата палива, кг/год.; 5) X_5 - витрата повітря на горіння палива, відносні одиниці; 6) X_6 - витрата повітря на змішування з топковим газом , відносні одиниці.
Вхідні фактори збурення Z_k	1) Z_1 - початкова вологість матеріалу, %; 2) Z_1 - вологість повітря в сушильному цеху, %; 3) Z_3 - температура повітря в сушильному цеху, °С; 4) Z_4 - температура атмосферного повітря, °С.

Продовження Таблиці 1

1	2
Вихідні цільові функції Y_j	1) Y_1 - відхилення кінцевої вологості піску від значення необхідної вологості, %; 2) Y_2 - температура агента сушіння на виході з сушильного барабану,°С; 3) Y_3 - продуктивність сушильного барабана, кг/год.; 4) Y_4 - питома витрата палива, кг/т; 5) Y_5 - питома витрата електроенергії, кВт год. /т.

Таким чином розглядаючи технологічний процес сушіння, як об'єкт управління необхідно отримати систему регресійних моделей цільових функцій:

$$\begin{cases} Y_1 = Y_1(X_1,...,X_6,Z_1,...,Z_4) \\ ..... \\ Y_5 = Y_5(X_1,...,X_6,Z_1,...,Z_4) \end{cases}$$

Для математичного опису технології сушіння піску в барабанних сушарках можна використовувати рівняння у вигляді ряду Тейлора з урахуванням квадратів і парних взаємодій [5].

$$Y_j = B_0 \cdot X_0 + B_1 X_1 + ... + B_n \cdot X_n + B_{11} \cdot X_1^2 + ... + B_n \cdot X_n^2 + \\ + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + ... + B_{n-1} \cdot X_{n-1} \cdot X_n$$

Для побудови регресійної моделі залежності вихідних показників (Y_j)цільових функцій технології сушіння від вхідних керованих параметрів процесу (X_i) і вхідних, некерованих факторів або збурюючих впливів (Z_k) та знаходження коефіцієнтів регресії отриманих моделей використаємо функції програмного середовища Matlab Statistics [6].

За результатами обробки даних активних експериментів були отримані декілька рівнянь регресії для кожного вихідного параметра Y_j. Порівняння і вибір оптимального рівняння моделі виконувалося шляхом оцінки величин коефіцієнтів детермінації (R-square) та величини суми квадратів відхилень (Sum of squares error).

Коефіцієнт детермінації для моделі приймає значення від 0 до 1. Чим ближче значення коефіцієнта до 1, тим сильніше залежність. При оцінці регресійних моделей це інтерпретується як відповідність моделі даними. Для прийнятних моделей передбачається, що коефіцієнт детермінації повинен бути хоча б не менше 50 % (у цьому випадку коефіцієнт множинної кореляції перевищує за модулем 70 %). Моделі з коефіцієнтом детермінації вище 80 % можна визнати достатньо адекватними (коефіцієнт кореляції перевищує 90 %). Значення коефіцієнта детермінації 1 означає функціональну залежність між змінними.

За методом найменших квадратів найкращі ті значення коефіцієнтів, для яких сума квадратів відхилень дослідних даних від обчислених за емпіричною формулою найменша.

На рисунках 1, 2 зображено графіки результатів отриманих за допомогою рівнянь деяких моделей (№ 2 та № 4) для цільової функції Y_1 у порівнянні з експериментальними даними. Графіки побудовані за допомогою програмного середовища Matlab.

Рівняння моделі № 2, наприклад, має вигляд

$$Y_1 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6Z_1 + C_7Z_2 + C_8Z_3 + C_9Z_4 + C_{10}X_1X_2 + C_{11}X_1X_3 + \\ + C_{12}X_2X_3 + C_{13}X_1X_4 + C_{14}X_2X_4 + C_{15}X_3X_4 + C_{16}X_1X_5 + C_{17}X_2X_5 + \\ + C_{18}X_3X_5 + C_{19}X_4X_5 + C_{20}Z_1^2 + C_{21}Z_2^2 + C_{22}Z_3^2 + C_{23}Z_4^2$$

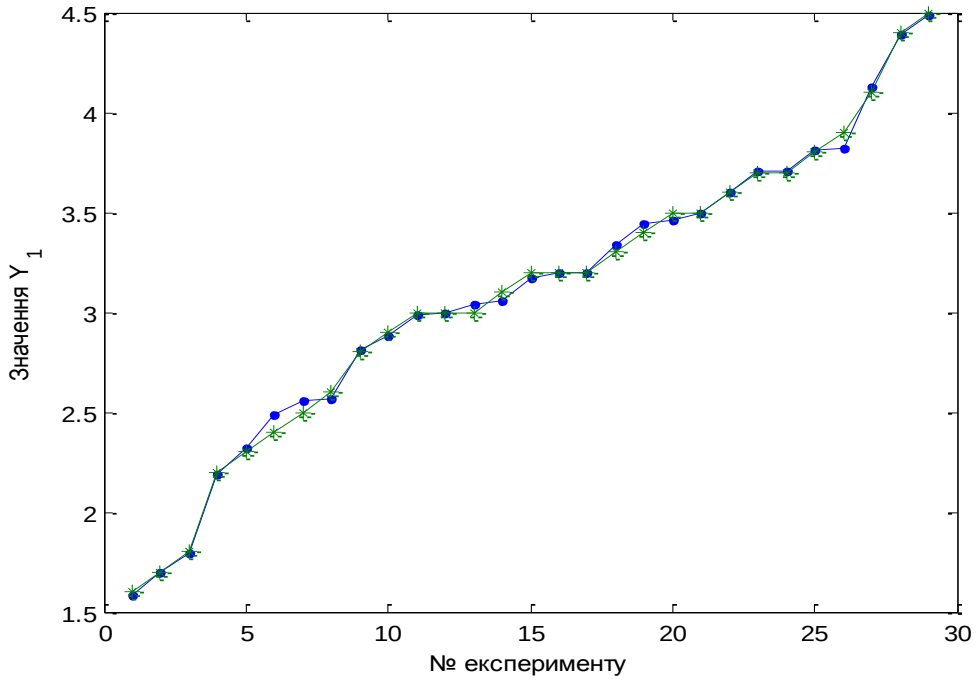


Рисунок 1– Графік порівняння експериментальних даних (синій колір) з результатами отриманими за допомогою математичної моделі № 2 (зелений колір) для змінної Y_1

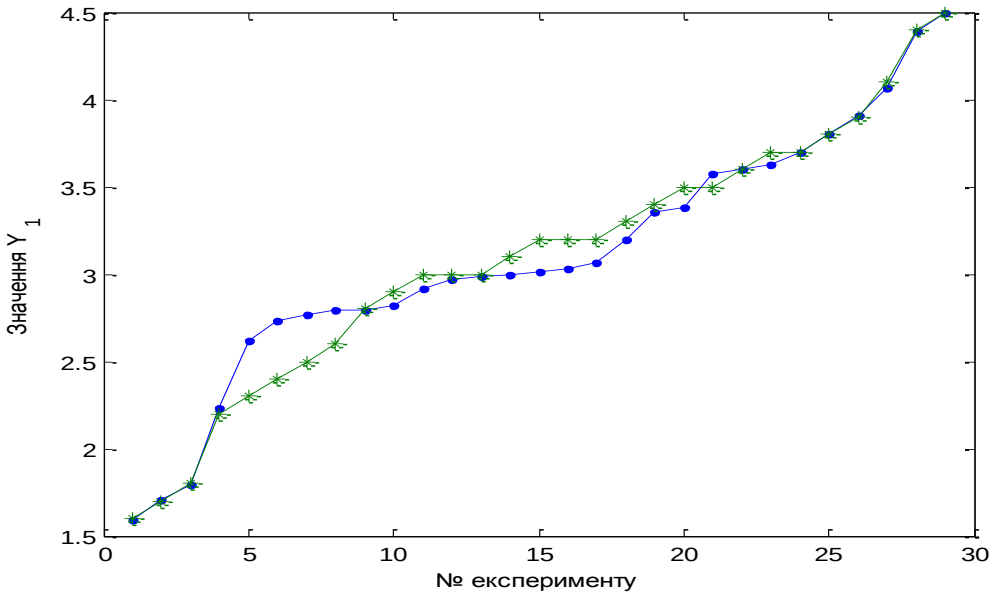


Рисунок 2 – Графік порівняння експериментальних даних (синій колір) з результатами отриманими за допомогою математичної моделі № 4 (зелений колір) для змінної Y_1

На рисунку 3 у вигляді рівняння поверхні зображена залежність вихідного параметра Y_1 в залежності від змінних найбільш впливових вхідних параметрів X_1 та X_2 та фіксованих значень параметрів X_3, X_4, X_5 та X_6.

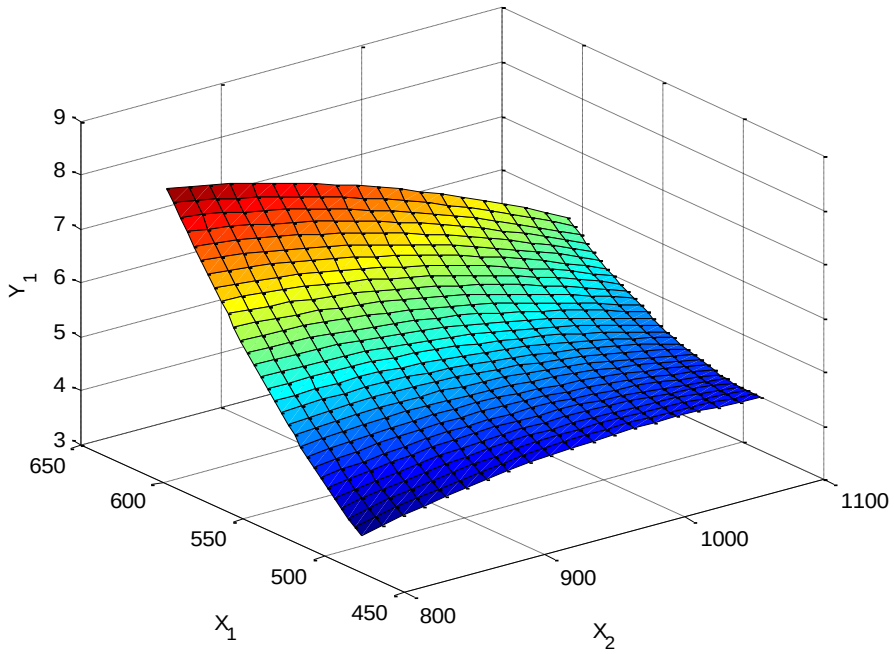


Рисунок 3– Рівняння поверхні значень залежності вихідного параметра Y_1 від змінних найбільш впливових вхідних параметрів X_1 та X_2 та фіксованих значень параметрів X_3, X_4, X_5 та X_6.

Наведені графіки свідчать про адекватність отриманих математичних моделей реальному технологічному процесу сушіння. Для визначення оптимальної моделі оберемо більш простішу модель з максимальним коефіцієнтом детермінації і близьким до нуля коефіцієнтом сум квадратів відхилень. Рівняння обраної оптимальної моделі для змінної Y_1 має вигляд:

$$Y_1 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6Z_1 + C_7Z_2 + C_8Z_3 + C_9X_1X_2 + C_{10}X_1X_4 + \\ + C_{11}X_1X_5 + C_{12}X_3^{\,2} + C_{13}X_4^{\,2} + C_{14}Z_1^{\,2} + C_{15}Z_2^{\,2} + C_{16}Z_3^{\,2}$$

Остаточно форма рівняння моделі для змінної Y_1 з урахуванням коефіцієнтів має вигляд:

$$Y_1 = 0,261474X_1 + 0,02823X_2 - 0,03188X_3 - 0,69022X_4 + 1,624817X_5 + \\ + 1,631472Z_1 + 283,5151Z_2 + 4,100373Z_3 - 5,6\cdot10^{-5}X_1X_2 - 0,00323X_1X_4 + \\ + 4,47\cdot10^{-5}X_1X_5 - 0,00505X_3^{\,2} + 1,31\cdot10^{-6}X_4^{\,2} + 0,016219Z_1^{\,2} + 0,176767Z_2^{\,2} - 220,61Z_3^{\,2}$$

Аналогічні розрахунки: пошук оптимальної моделі та знаходження коефіцієнтів були проведені для вихідних цільових функцій Y_2, Y_3, Y_4 *та* Y_5. В подальшому планується виконати оптимізацію отриманих моделей за критерієм енергоефективності, тобто мінімізації енерговитрат,а саме параметрів Y_4 *та* Y_5 та максимізації продуктивності технологічного процесу сушіння Y_3 в СБТ.

Висновки.

1. На основі активних виробничих експериментів отримані рівняння вихідних енергетичних і якісних показників, таких як**:** питома витрата палива, питома витрата електроенергії, відхилення кінцевої вологості піску від значення необхідної вологості, температура агента сушіння на виході з сушильного барабану та продуктивність сушильного барабану.

2. Отримані рівняння моделей адекватно відображають взаємозв'язок між вхідними факторами та вихідними критеріями оптимальності, що підтверджується вище наведеними графіками порівняння експериментальних даних з результатами отриманими за допомогою математичних моделей. Похибка розрахованих значень вихідних цільових функцій відносно результатів активних виробничих експериментів на діючому сушильному обладнанні не перевищує 4,5%.

3.Отримані рівняння моделей цільових функцій дозволять з високою точністю вирішувати задачі багатокритеріальної оптимізації енергозберігаючих процесів сушіння.

Список використаних джерел

1. Технологическое оборудование ГАПС [Электронный ресурс]: лекционный курс сушильное оборудование / **Режим доступа:** http://www.gaps.tstu.ru/win-1251/lab/sreda/togaps/8/sushka/sushka2.htm. **— Загл. с экрана.**

2. Печи и сушила силикатной промышленности / [Гинзбург Д.Б., Деликишкин С.Н., Ходоров Е.И., Чижский А.Ф.]; пособие для вузов специальности «Технология силикатов» — Москва: Госстройиздат, 1963. **— 245 с.**

3. Здановський В.Г. Деякі аспекти екобезпеки теплоенергетики України та шляхи її покращення. / В.Г. Здановський — Івано-Франківськ, 2000 - № 37(том 9). — 21-30 с.

4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки — Москва: Наука, 1973. — 246 с.

5. Иванов В.Е. Сушка дисперсных материалов в сушилке кипящего слоя непрерывного действия: **автореф. дис. на получение научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий» /** Иванов Виталий Евгеньевич; Ивановский государственный химико-технологический университет. **— Иваново, 2010. — 16 с.**

6. Linear Mixed Models [Электроний ресурс], **Режим доступу:** http://cran.r-project.org/doc/contrib/Fox-Companion/appendix-mixed-models.pdf **— Заголовок з екрану.**

РОЗДІЛ С
УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

УДК 621.311

В.П. РОЗЕН, А.П. ШЕВЧУК

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ РАНЖУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПІДСИСТЕМ
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАНЖИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДСИСТЕМ
MATHEMATICAL ANALYSIS RANKING PRODUCTION SUBSYSTEMS

У статті йде мова про групове агреговане ранжування виробничих підсистем, що визначається на основі індивідуальних ранжувань, які формуються кожним експертом незалежно. Для визначення агрегованого ранжування підсистем існують декілька методів, найпростішими з яких це методи Кондорсе, або Борда.

Ключові слова: *Ранжування, критерії, оцінювання, метод Борда.*

В статье идет речь о групповом агрегированном ранжировании производственных подсистем, что определяется на основе индивидуальных ранжирований, которые формируются каждым экспертом независимо. Для определения агрегированного ранжирования подсистем существуют несколько методов, простейшими из которых являются методы Кондорсе, или Борда.

Ключевые слова: *Ранжирование, критерии, оценивание, метод Борда.*

The article refers to the aggregated group rankings production subsystems, which is determined based on the individual rankings, which are formed independently of each expert. To determine the aggregate ranking subsystems, there are several methods, the simplest of which are the methods of Condorcet or Borda.

Keywords: Rankings, criteria, estimation. Borda method.

ВСТУП

З точки зору прийняття рішень, найбільш ефективним являються колективні методи. Вони дозволяють досягти максимально об’єктивної експертної оцінки, так як використовується широкий круг спеціалістів-експертів. До таких методів відносять: мозковий штурм, метод суду, метод «чорного ящика» та інші.

З використанням деяких методів, оцінщик може побудувати так звану базу даних, що допоможе оцінити тий чи інший процес[1]. База знань у вигляді ієрархій критеріїв, або ієрархій цілей є невід’ємною частиною системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі багатокритеріального або цільового оцінювання альтернатив . Для побудови бази знань мають залучатися декілька експертів .

При побудові бази знань СППР групою експертів необхідно вирішити наступні проблеми:

1. Визначення способу отримання експертних оцінок;
2. Визначення ступеню узгодженості оцінок експертів щодо конкретного питання, яке вирішується у ході роботи;
3. Визначення агрегованої узгодженої оцінки.

Методи вирішення цих проблем залежать від характеру інформації, яка отримується від експертів. Цю інформацію можна поділити на такі групи:

- концептуальна інформація;
- структурна інформація.
- оціночна інформація;

Вирішуючи питання, що потребують оцінки експертів, обирається людина, що буде координувати та зпівставляти отримані оцінки, це так званий адміністратор. Виходячи з кількості формулювань, кількості експертів, їхньої підготовленості і припустимого часу сеансу, адміністратор вибирає спосіб оцінки, використовуючи метод. Спочатку визначається тип оцінок — ординальні або кардинальні, далі метод оцінювання. Розглянемо ординальне оцінювання як найбільш поширений спосіб оцінки.

Ординальне оцінювання варіантів формулювань полягає у їх ранжуванні, тобто у формуванні послідовності варіантів у порядку зменшення їх прийнятності. При цьому найбільш прийнятний варіант знаходиться на першому місці, а найменш прийнятний — на останньому[2].

Групове агреговане ранжування визначається на основі індивідуальних ранжувань, які формуються кожним експертом незалежно. Для визначення агрегованого ранжування існують декілька методів. Найпростішими для реалізації є методи Кондорсе, або Борда.

При використанні методу Кондорсе для кожної пари варіантів (a_i, a_j) визначається число s_{ij} — кількість експертів, які вважають варіант a_i більш прийнятним, ніж варіант a_j. Якщо $s_{ij} > s_{ji}$, варіант a_i у груповому ранжуванні передує варіанту a_j. Якщо $s_{ij} > s_{ji}$ для всіх $j \neq i$, то варіант a_i в агрегованому ранжуванні вважається найкращим.[3] Недоліком методу є можливість виникнення у 9 % випадків парадоксу Кондорсе, який полягає у неможливості визначення найкращого варіанта через логічне протиріччя, що виникає.

При використанні методу Борда кожному варіанту формулювання привласнюється сума рангів, які він отримав у індивідуальних ранжуваннях, даних експертами. При цьому ранги варіанта в індивідуальних ранжуваннях визначаються таким чином: якщо варіант є останнім у ранжуванні, йому привласнюється ранг 0, якщо — передостанній, то ранг 1 і т.д. У агрегованому груповому ранжуванні на перше місце ставлять варіант, який має найменшу суму визначених у такий спосіб рангів.

Зупинимось на методі Борда, що є простим у виконанні та найбільш зрозумілим для широкого використання.

Модель ранжування підприємств за допомогою правила Борда має наступну структуру. По кожному показнику x_{ij} впорядковуємо всі i підприємства від кращого до гіршого з точки зору ефективності енерговикористання. За останнє місце i підприємство отримує 0 балів, один бал за передостаннє і так далі, за перше місце i підприємство отримує $i–1$ бал. Згодом підраховуються бали, які отримані по кожному показнику. В загальному рейтингу на перше місце ставиться i підприємство з найбільшою сумою балів і т. ін.[4,5]

Алгоритм правила Борда, включає в себе наступну послідовність дій.

На початку формуємо матрицю спостережень. Вихідна множина складається з m елементів, що описані n ознаками; кожну її одиницю можна інтерпретувати як точку n-мірного простору з координатами, рівними значенням n ознак для підприємства що розглядається. Матриця спостережень має наступний вигляд:

$$X = \begin{Vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mk} & \dots & x_{mn} \end{Vmatrix}$$

де m - кількість підприємств; n – найменування показників для оцінювання; x_{ik} - значення ознаки k для i підприємства.[6]

Розглянемо підприємство «Строммашина» м. Хмельницький, та його виробничі підсистеми. Вхідні енерго-економічні дані отримані від підприємства за 2013 рік звітного періоду наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Показники енергоефективності на підприємствах за 2013 рік звітного періоду

Підприємство	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	$x_{1,6}$	$x_{1,7}$	$x_{1,8}$	$x_{1,9}$	$x_{1,10}$	$x_{1,11}$	$x_{1,12}$
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Цех № 1	1,32	70,3	88,4	89,3	98,9	1	98,9	6,7	2,12	0,51	1,25	86,92
ЦЕХ № 2	1,24	65,4	93,6	88,4	100	1	93,7	8,9	3,90	0,66	2,5	81,6
ЦЕХ № 3	1,13	45,7	86,5	90,5	98,3	1	89,91	10,2	9,82	0,45	1,25	88,53
Цех № 4	1,06	78,3	90,5	93,6	97,9	1	95,54	9,78	4,55	0,48	1,25	92,31
ЦЕХ № 5	1,55	56,7	89,7	86,6	95,5	1	88,6	11,6	3,48	0,37	1,67	92,65
Цех № 6	1,36	48,9	87,3	94,6	96,3	1	92,53	8,8	3,71	0,56	1,25	75,83
Цех № 7	1,27	78,4	90,6	90,2	97,7	0	92,08	6,86	5,1	0,45	1,67	84,07
Цех № 8	0,84	89,1	82,53	88,5	100	1	95,8	7,98	6,07	0,54	1,25	82,4
Цех № 9	1,04	90,3	86,1	94,7	97,6	0	88,8	5,94	2,28	0,76	2,5	74,6
Цех № 10	1,21	98,5	72,7	87,0	94,7	0	93,33	15,2	3,45	0,47	1,25	93,28
Цех № 11	0,95	66,2	88,0	95,6	98,5	1	100	10,3	5,04	0,63	1,25	87,84
Цех № 12	1,16	45,9	93,3	85,0	99,0	0	96,57	9,5	6,22	0,39	1,67	91,25
Цех № 13	1,34	60,4	89,8	89,7	94,0	0	91,67	16,5	4,56	0,53	1,67	77,84
Цех № 14	1,6	82,2	73,0	80,3	95,3	1	97,52	12,4	6,21	0,63	1,25	86,72
Цех № 15	1,36	70,5	91,6	79,8	96,0	0	99,05	17,4	7,23	0,55	1,25	89,51
Цех № 16	1,04	55,8	74,0	85,3	100	1	100	10,3	9,43	0,38	2,5	81,81
Цех № 17	1,46	50,6	92,5	86,5	94,0	0	98,08	8,5	6,33	0,62	1,25	87,5
Цех № 18	1,07	80,4	93,0	93,5	92,7	1	90,88	13,5	5,43	0,64	1,25	83,75
Цех № 19	0,84	90,4	91,0	93,1	93,0	0	97,03	6,95	4,29	0,56	1,67	84,06
Цех № 20	0,86	67,7	88,3	83,5	90,6	0	93,3	7,8	10,3	0,47	1,25	86,51
Цех № 21	1,03	64,6	78,9	86,8	96,6	1	95,7	5,94	3,71	0,38	1,25	91,4
ЦЕХ № 22	1,2	89,2	70,5	79,5	97,2	0	92,93	10,86	4,67	0,43	1,67	87,34
ЦЕХ № 23	1,23	90,1	80,5	78,5	98,0	1	92,02	11,7	3,45	0,31	1,25	75,89
Цех № 24	0,72	67,3	91,6	90,2	96,0	0	100	18,2	5,31	0,28	2,5	88,6
Цех № 25	1,26	78,8	74,5	85,6	100	1	100	14,5	8,45	0,47	1,25	90,5
Цех № 26	1,13	91,2	81,5	89,8	90,5	0	97,33	6,75	7,34	0,5	1,67	92,1
Цех № 27	1,25	65,8	91,6	90,2	92,3	1	100	17,7	7,01	0,43	1,25	93,56
Цех № 28	1,08	92,5	86,4	86,9	95,6	1	87,57	10,6	6,04	0,42	2,5	82,6
Цех № 29	0,81	94,6	90,4	91,1	99,2	1	89,1	12,8	5,20	0,51	1,25	89,6
Цех № 30	0,73	88,9	79,4	92,4	93,2	0	96,4	16,1	4,71	0,49	1,67	79,92

Для значень, які включені до матриці спостережень, необхідно виконати нормування показників, оскільки вони мають різну “фізичну природу”. Нормування показників виконуємо наступним чином:

$$a_{ij}^{н} = a_{ij} \Big/ \sum_{j=1}^{n} a_{ij}, \quad i = \overline{1,m}, \quad j = \overline{1,n}$$

Фрагмент таблиці нормалізованих значень ефективності енерговикористання на підприємствах показників $П_i$ наведено у табл. 2

Таблиця 2

Фрагмент таблиці нормування вхідних енерго-економічних даних ефективності енерговикористання на підприємствах

Підприємство	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	$x_{1,6}$	$x_{1,7}$	$x_{1,8}$	$x_{1,9}$	$x_{1,10}$	$x_{1,11}$	$x_{1,12}$
ЦЕХ № 1	0,039	0,032	0,034	0,034	0,034	0,059	0,035	0,020	0,013	0,034	0,027	0,034
ЦЕХ № 2	0,036	0,030	0,036	0,033	0,035	0,059	0,033	0,027	0,024	0,044	0,053	0,032
ЦЕХ № 3	0,033	0,021	0,034	0,034	0,034	0,059	0,032	0,031	0,059	0,030	0,027	0,034
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
Цех № 28	0,032	0,042	0,034	0,033	0,033	0,059	0,031	0,032	0,037	0,028	0,053	0,032
Цех № 29	0,024	0,043	0,035	0,034	0,034	0,059	0,031	0,039	0,031	0,034	0,027	0,035
Цех № 30	0,021	0,040	0,031	0,035	0,032	0,000	0,034	0,049	0,028	0,033	0,035	0,031

Кожний об’єкт оцінюємо з використанням коефіцієнта Борда. Для кожного показника коефіцієнт Борда визначаємо за формулою:

$$B(П_i) = \left| \{ П_k : П_i \succ П_k,\ П_k \in \{П_1, П_2, ..., П_m, \} \} \right|,$$

тобто, для кожного *j*-го показника домінант $П_i$ по кількості *П*. По коефіцієнтам, які визначаємо по кожному показнику, розраховуємо результуючий коефіцієнт $B(П_i)$ для

кожного *П*: $B(П_i) = \sum_{j=1}^{n} \rho_j B_j(П_i),\ i = \overline{1,m}$,

де ρ_j - ступінь важливості критеріїв, який визначається нормалізованими значеннями, тобто:

$$\sum_{j=1}^{n} \rho_j = 1, \quad \rho_j \geq 0, \quad j = \overline{1,n}.$$

Фрагмент таблиці значень проміжних коефіцієнтів Борда наведено у табл.3

Таблиця 3

Фрагмент таблиці значень проміжних коефіцієнтів Борда

Підприємство	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	$x_{1,6}$	$x_{1,7}$	$x_{1,8}$	$x_{1,9}$	$x_{1,10}$	$x_{1,11}$	$x_{1,12}$
ЦЕХ № 1	23	13	16	15	23	13	23	2	0	17	0	14
ЦЕХ № 2	19	8	29	13	26	13	13	10	7	28	25	5
ЦЕХ № 3	13	0	12	21	21	13	4	13	28	9	0	18
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
Цех № 28	12	27	11	11	11	13	0	16	18	6	25	8
Цех № 29	2	28	19	22	25	13	3	21	15	17	0	21
Цех № 30	1	20	6	23	5	0	17	25	12	15	17	4

За допомогою коефіцієнта Борда $B(П_i)$ об'єкти впорядковують за ступенем переважання, за необхідністю, ці коефіцієнти можна нормалізувати за стандартними правилам. Якщо розглядати питання визначення найкращого об'єкта $П^*$, то його вибираємо, виходячи з умови:

$$B(П^*) = \max_i B(П_i).$$

Таблиця 4

Наприкінці виписуємо результуючі значення ранжування методом Борда, для визначення кращого та гіршого з кожної групи.

	Підприємство	Ранжування підприємств (коефіцієнти Борда)
1	Цех № 10	196
2	Цех № 11	192
3	Цех № 13	189
4	Цех № 7	184
5	Цех № 1	178
6	Цех № 2	175
7	Цех № 5	171
8	Цех № 8	167
9	Цех № 6	163
10	Цех № 12	158
11	Цех № 9	155
12	Цех № 27	151
13	Цех № 4	149
14	Цех № 3	146
15	Цех № 21	142
16	Цех № 30	137
17	Цех № 23	134
18	Цех № 22	128
19	Цех № 17	122
20	Цех № 15	118
21	Цех № 20	114
22	Цех № 24	105
23	Цех № 14	103
24	Цех № 19	101
25	Цех № 29	94
26	Цех № 18	92
27	Цех № 28	81
28	Цех № 26	75
29	Цех № 16	74
30	Цех № 25	70

Отже ми бачимо, що використавши метод ранжування можна дізнатися, яка саме з виробничих підсистем найефективніша. Та провести деякі заходи щодо підвищення якості для відстаючих

ВИСНОВКИ

Запропонована методика рейтингової оцінки підприємства базується на комплексному, багатовимірному підході до аналізу енергоефективності, дозволяє визначити якість управління енергозбереженням і є надійним вимірником конкурентоспроможності підприємства у конкретній галузі.

Застосування розробленого алгоритму на практиці дасть змогу визначити реальне становище досліджуваних об'єктів, а тому стане ефективним аналітичним інструментом як для менеджерів вітчизняних машинобудівних підприємств, так і для зовнішніх контрагентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розен В.В. математические модели принятия решений в экономике. Учебное пособие. – М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. – 228 с.
2. Теория прогнозирования и принятия решений. Под ред. С.А.Саркисяна. М., Высшая школа, 1977. – 351 с.
3. Личный сайт Павла Горского [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.gorskiy.ru.
4. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. Подиновский В.В., Ногин В.Д. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
5. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
6. Балдин, К.В. Математические методы в экономике. Теория, примерные варианты контрольных работ: Учеб. пособие / К.В. Балдин, О.Ф. Быстров – М.: Издательство Московского психологического социального института; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2003. – 54 с.

УДК 681.515+62-551.453

ТИШЕВИЧ Б.Л., БИЧКІВСЬКИЙ О.С.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Пропонується інтелектуальна система управління для комбінованої фото- і вітро-енергетичної установки, яка оптимизує режим роботи із урахуванням багатьої факторів, що не підлягають математичному опису.

Ключові слова: інтелектуальна система управління, комбінована фото-вітро-енергетична установка, нейронна мережа.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Предлагается интеллектуальная система управления для комбинированной фото- и ветро-энергетической установки, которая оптимизирует режим работы с учетом многих факторов, которые не подлежат математическому описанию.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, комбинированная фото-ветро-энергетическая установка, нейронная сеть.

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR COMBINED POWER INSTALLATION

This article is devote intelligent control system for combined photo- and wind-power plants, which optimizes the operation mode is based on many factors that are not subject to mathematical description.

Key words: intellectual control system, combined photo-wind power installation, a neural network.

Вступ. Один з пріоритетних напрямків розвитку енергетики України на період до 2030 року - розвиток альтернативних джерел енергії для автономного постачання споживача, так звана "GREEN - енергетика", що містить у собі комбінування тих чи інших джерел енергії. Для сучасної науки пріоритетною задачею є створення автономних комбінованих енергокомплексів з нетрадиційними, поновлюваними джерелами енергії малої і середньої потужності, що знаходяться у важкодоступних регіонах, віддалених від ЛЕП і теплотрас.

Найбільш ефективна робота автономного комбінованого енергетичного комплексу (АЕК) з використанням нетрадиційних поновлюваних джерел енергії (НПДЕ) можливо тільки з використанням автоматичної системи управління (САУ), Така САУ дозволяє підвищити надійність системи за рахунок зменшення впливу людського фактора, а також дозволяє збільшити ефективність енергосистеми на 60-70%. При цьому, ефективність (оптимальність) автономної енергосистеми визначається економічним критерієм і критерієм надійності енергозабезпечення споживача.

При проектуванні складних САУ часто приходиться зіштовхуватися з різним ступенем невизначеності вихідних даних, параметрів системи і зовнішніх впливів. Причини невизначеності можуть полягати в хаотичній природі зовнішніх факторів, що впливають на систему, помилках статистичних даних, особливостях технологічного процесу в тім чи іншому навколишньому середовищі.

Мета дослідження. Метою дослідження є синтез САУ, яка буде оптимізувати режими роботи комбінованої енергетичної установки за визначеними критеріями.

Метою управління АЕК із НПДЕ є виключення ситуацій відсутності енергії і

скидання "зайвої" енергії. Ефективне рішення цієї задачі можливо з використанням прогнозованих значень стану об'єкта і ранжируванням навантаження за пріоритетами. З урахуванням цих факторів задача управління об'єктом носить суперечливий, невизначений характер.

Результати дослідження. Для поліпшення якості роботи автономної енергосистеми і зменшення впливу людського фактора на управління АЕК із НПДЕ пропонується використовувати САУ на базі нейронної мережі (НМ), яка показана на рисунку 1 [1, 2]. У якості вхідних, були обрані наступні сигнали, які приведені в таблиці 1.

Таблиця1

Назва вхідного сигналу	Опис сигналу
E_1	Швидкість вітру в режимі реального часу, для забезпечення точності у прогнозуванні швидкості вітру для наступного періоду
E_2	Швидкість вітру, яка зафіксована у попередньому періоді
E_3	Датчик освітленості, для забезпечення циклічного включення і відключення фото-енергетичних панелей ФЕП
E_4	Датчик положення сонця, для управління системою спостереження за сонцем і настроювання роботи фото-панелей на максимальний ККД
E_5	Кількість виробленої енергії ФЕП
E_6	Кількість енергії, що потрібна енергосистемі
E_7	Рівень заряду акумуляторних батарей

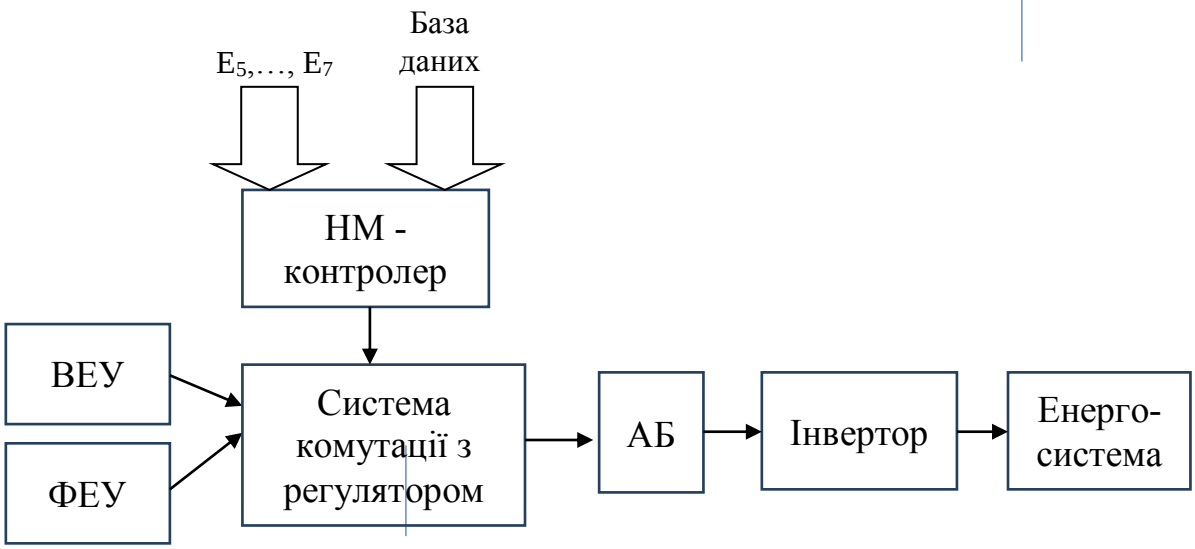


Рисунок 1. Структурна схема фото-вітро-електростанції (ФВЕС)

Прийняті позначення: ВЕУ - вітрова енергетична установка; ФЕУ – фото-енергетична установка; НМ - контролер - контролер з використанням НМ; АБ - акумуляторна батарея. Інвертор – перетворювач постійного в змінний струм зі зміною величини частоти та/чи напруги. Енергосистема - сукупність споживачів.

З огляду на ієрархічний принцип побудови інтелектуальних систем, звичайно, для автономних ФВЕС виділяють два рівні управління:

- безпосереднє управління ВЕУ і ФЕУ;
- системний рівень управління АЕК з НПДЕ.

При безпосередньому управлінні здійснюється управління системою за технічними критеріями. У цьому випадку використовуються датчики: датчик освітленості, датчик спостереження за сонцем ФЕУ, датчик вітру, система стабілізації обертання ротора ВЕУ, система управління інвертором і т.п. Безпосереднє управління може здійснюватися за допомогою локальних контролерів з використанням сигналів $E_1,...,E_4$.

Але основним для розгляду є саме системний рівень, на якому реалізується управління розподілом енергопотоків з метою найбільш повного і безперебійного забезпечення споживача електроенергією, при її нерівномірному надходженні, в умовах нормального експлуатаційного режиму всіх елементів енергосистеми.

Основними вхідними параметрами системи автоматичного управління станцією приймаємо: E_5 - сумарна кількість енергії, отриманої від ВЕУ і ФЕУ; E_6 - сумарна кількість енергії, яку потребує енергосистема; E_7 - рівень заряду АБ.

Метою системи є - знайти найбільш оптимальний режим роботи, при якому енергосистема буде одержувати потрібну кількість енергії. При цьому система буде приймати рішення самостійно, тільки з огляду на стан сигналів і інформації з бази даних. Внаслідок того, що система є автоматичною, а «ручні» операції практично виключені, то вплинути на систему можна тільки при запуску чи з появою помилки.

Найпростіший при реалізації САУ є багатошарова НМ (рисунок 2) прямого поширення з конфігурацією 20 tribas +10 tansig +5 poslin +1 purelin, де: tribas - трикутна функція активації (ФА); tansig - сигмоідальна (гіперболічна) ФА; poslin - напівлінійна ФА; purelin - лінійна ФА. Для навчання НМ використовувався алгоритм Левенберга-Марквардта.

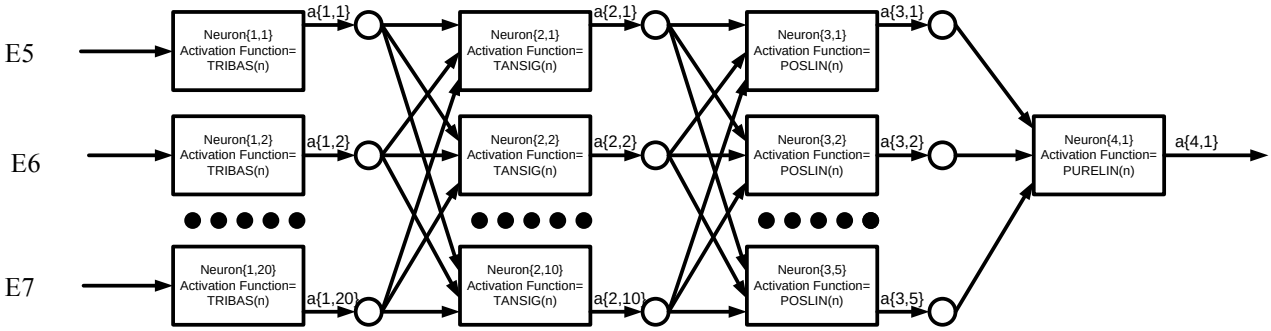
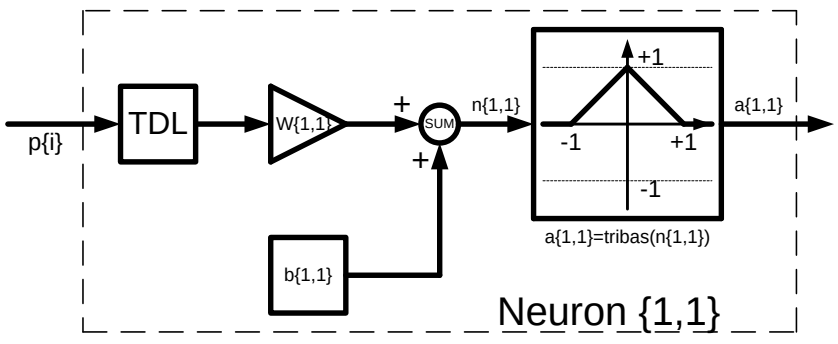
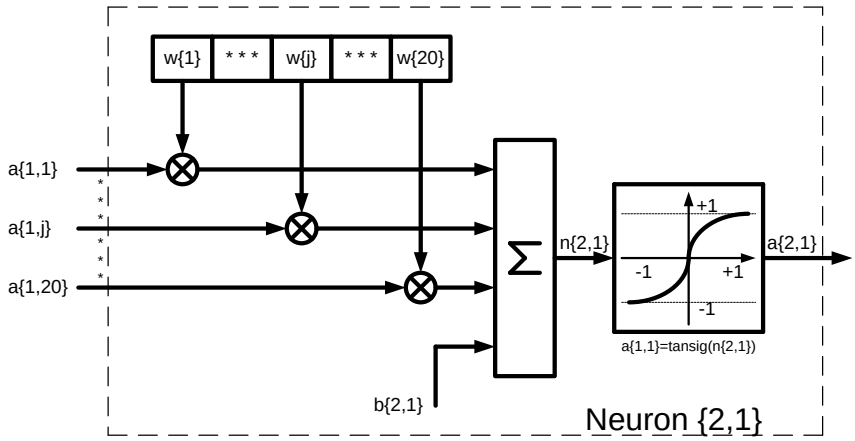


Рисунок 2. Функціональна схема багатошарової НМ

На рисунку 3 показані нейрони вхідного і прихованого шарів



а



б

Рисунок 3. Конфігурація нейронів вхідного шару (*а*) і прихованого шару (*б*)

Функціонування НМ-контролера, при формуванні управляючого впливу, у спрощеному вигляді, можна представити в такий спосіб. Стан АЕК із НПДЕ оцінюється через деякі дискретні проміжки часу. Отримана вхідна невизначена ситуація порівнюється з типовими ситуаціями, що зберігаються в базі даних. Визначається типова ситуація, яка найбільш близька вхідній ситуації. Виконується навчання НМ. Інформація про типову ситуацію проходить через НМ-контролер, і визначаються сигнали управління, що відповідають вхідній ситуації.

Література

1. *Astrom K.J., Wittenmark B.* "*Adaptive Control*", Addison Wesley, USA, 1989.
2. *Nozaka Y.*, "Trend of new control theory application in industrial process control", Proc of 12th IFAC World Congress, Sydney, Vol.VI, pp. 51...56, 1993.

УДК 681.515

ТИШЕВИЧ Б.Л., ДЕМЧИК Я.М.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Для керування роботою насосного агрегату пропонується використовувати нейронну мережа яка прогнозує можливий рівень споживання води з метою енергозбереження і з використанням бази даних про попередні періоди.

Ключові слова: нейронна мережа, прогнозування, енергозбереження, насосний агрегат.

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Для управления работой насосного агрегата предлагается использовать нейронную сеть которая прогнозирует возможный уровень потребления воды с целью энергосбережения, с использованием базы данных о предшествующих периодах.

Ключевые слова: нейронная сеть, прогнозирование, энергосбережение,насосный агрегат.

AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM ON THE BASIS NEURAL NETWORK FOR PUMPING STATION

For the control of pumping unit are encouraged to use the neural network which forecasts the consumption of water, using a database of prior periods.

For the control of pumping unit are propose to use a neural network that predicts possible level of water consumption for saving energy, using a database of prior periods.

Keywords: neural network, forecasting, saving energy, the pumping unit**.**

Вступ. Водопровідно-каналізаційне господарство є однією з найважливіших і найбільше матеріало- і енергоємних областей комунального господарства України. На перехідному етапі розвитку економіки це господарство опинилося в кризовому стані. Це було викликано цілим рядом факторів: відсутністю централізованого фінансування розвитку, реконструкції і модернізації; ростом неплатежів за послуги; зношеністю мереж і споруджень; високою енергоємністю виробництва; зростанням цін на електроенергію.

Тепер централізованими системами водопостачання забезпечені всі міста України і 89% селищ міського типу. Системи централізованого водовідводу мають 94% міст і 46% селищ. Потужності комунальних і відомчих водопроводів складають понад 14,3 млн. м^3 води на добу, при цьому забезпечується середньодобове водоспоживання на 1 міського жителя в обсязі 326 літрів. Близько 30% загального водоспоживання задовольняється за рахунок підземних джерел. Потужності комунальних очисних споруджень каналізації складають 11,5 млн. м^3 стічних вод на добу і 98% стоків, що пройшли очисні спорудження, піддаються біологічному очищенню. Експлуатується понад 67,4 тис. км водогінних мереж і водоводів, 25,7 тис. км каналізаційних мереж і колекторів. Однак, в аварійному стані знаходиться 4,5 тис. км водопровідних і 1,45 тис. км каналізаційних мереж.

Мета дослідження. Дослідити нейромережеву (НМ) систему управління насосним агрегатом з електроприводом змінного струму з перетворювачем частоти (ПЧ). Оцінити

якість прогнозування стану водоспоживання системи на базі нейромережевих технологій в середовищі Matlab.

Результати дослідження. З огляду на постійне зростання витрат на енергоресурси (у першу чергу на електроенергію) у собівартості послуг для водопроводу і каналізації тепер найбільш актуальним є питання енергозбереження. З енергетичної точки зору система водопостачання і каналізація для міста це складний комплекс, експлуатація якого вимагає систематичного проведення технічних, економічних і організаційних заходів щодо підвищення енергоефективності. У той час, коли ціни на енергоносії були на порядок нижче сучасних, заходи щодо підвищення енергоефективності не мали економічного змісту, але сьогодні підвищення енергоефективності дуже вигідно водопровідно-каналізаційним господарствам.

На насосних станціях активно відбувається впровадження такого засобу енергозбереження як електропривод на базі асинхронного двигуна (АД) з частотним регулюванням. Приклад системи управління насосним агрегатом з використанням ПЧ приведений на малюнку 1.

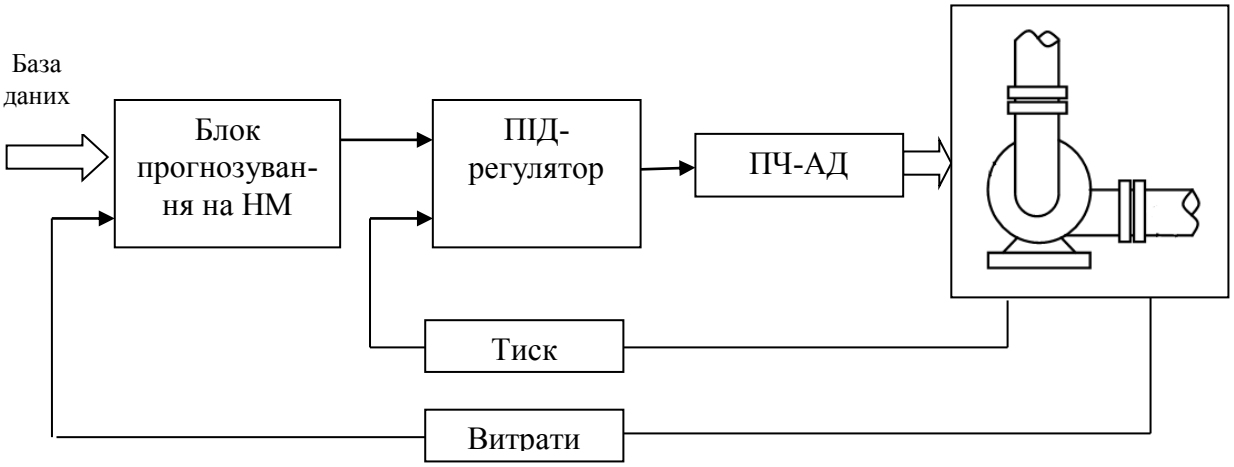


Рисунок 1. Функціональна схема керування насосним агрегатом

Основна задача такої системи - забезпечення постійного тиску води в трубопроводі. У такого алгоритму керування є недолік - у години пікового водоспоживання частина жителів недоотримають воду.

Одним з методів рішення даної проблеми може бути залежність режимів роботи насосної станції від рівня споживання води з трубопроводу. Такий підхід при наявності водопроводів значної довжини і складної конфігурації, передбачає визначення прогнозованого значення рівня споживання води.

Прогнозування обсягів водоспоживання (навантаження на насосну станцію), яке необхідно для рішення задач планування і оперативного управління режимами функціонування насосної станції, проводиться в наступних тимчасових діапазонах: оперативне (доба); короткострокове (доба-тиждень-місяць); довгострокове (місяць-квартал-рік).

Розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування навантаження. Традиційні статистичні моделі можуть бути умовно розділені на регресійні моделі і моделі на основі часових рядів.

Особливий інтерес представляє використання НМ як моделі, що виконує прогноз. Перевага НМ перед традиційними моделями обумовлена тим, що не потрібно будувати

модель об'єкта, не губиться працездатність при неповній вхідній інформації, у НМ висока стійкість до перешкод і швидкодія. НМ формує, на підставі прогнозу, сигнал завдання для ПІД-регулятора тиску. Дані прогнозів за різні періоди зберігаються в базі даних. Важливим етапом синтезу НМ прогнозування є вибір, формування і нормування вектора вхідних даних[1]. У залежності від розмірності цього вектора визначається кількість входів НМ. Для вибору оптимальної конфігурації НМ прогнозування були досліджені кілька типів НМ із різними параметрами [2]. Результати досліджень представлені в таблиці1.

Таблиця 1

Вид прогнозу	Назва НМ	Конфігурація НМ	Алгоритм навчання	Критерій регулярності Δр, ×10-6	Максимальна відносна похибка Δ, %
Довго-строковий	Каскадна	20×tansig+10×tribas+5×poslin+1×purelin	trainlm	606,22	5,5524
Довго-строковий	Каскадна	20×tansig+10×tribas+5×poslin+1×purelin	trainbfg	5746,9	13,028
Довго-строковий	Рекурент-на Елмана	20×tribas+10×tansig+5×poslin+1×purelin	trainbfg	471,2	4,3464
Середньо-строковий	Каскадна	20×radbas+10×tansig+×poslin+1×purelin	trainlm	1787,8	8,3801
Середньо-строковий	Каскадна	20×radbas+10×tansig+×poslin+1×purelin	trainbfg	239,17	3,3347
Коротко-строковий	«Класич-на»	20×tribas+10×tansig+5×poslin+1×purelin	trainlm	73,707	1,3948
Коротко-строковий	НМ з РБФ	400×radbas+1×purelin	-	0,85095	0,12987

НМ для рішення задачі прогнозування була змодельована в Matlab Neural Network Toolbox. Прийнято позначення: tansig - сигмоідальна (гіперболічна) функція активації (ФА); tribas - трикутна ФА; poslin - напівлінійна ФА; purelin - лінійна ФА; radbas - радіально-базисна (РБФ) ФА. Перед ФА зазначена кількість нейронів у шарі.

Для алгоритмів навчання НМ прийняті позначення: trainlm - алгоритм навчання НМ Левенберга-Марквардта; trainbfg - квазіньютоновський алгоритм навчання НМ.

Критерій регулярності Δ_p розраховувався за формулою:

$$\Delta_p = \frac{\sum_{i=1}^{N}(a_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} t_i^2} \to \min,$$

де a_i – вихід НМ для i-го входу нейрону p_i у шарі; t_i – цільове значення входу p_i ; N – кількість входів нейронів. Максимальна відносна похибка апроксимації Δ розраховувалася:

$$\Delta = \max\left(\left|\frac{a_i - t_i}{t_i}\right| * 100\%\right).$$

Висновок. З приведених у таблиці 1 результатів можна зробити висновки:

1. Найкращі результати довгострокового прогнозування отримані при використанні каскадних мереж і рекурентної мережі Елмана (для неї Δ_p=471,2e-6, Δ=3,3464%).

2. Для середньострокового прогнозування найкраще підійшли каскадні НМ (Δ_p=239,17e-6, Δ=3,3347%).

3. Для короткострокового прогнозування найкраще підійшли "класична" НМ (Δ_p=73,707e-6, Δ=1,3948%) і НМ із РБФ (Δ_p=0,85095, Δ=0,12987%).

Література

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика.– М. Мир, 1992. – 186с.

2. Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C. Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation // IEEE Trans. on Power System. –2001. -Vol. 16, No. 1. – P. 44-55.

УДК 620

к.т.н. доц.Пермяков В.Н. к.т.н. доц. Алтухов Е.І. Гавалешко С.С.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОТРЕКЕРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИОТРЕКЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. APPLICATION OF HELIOTRACKERS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC CELLS.

В даній роботі розглянуто ефективність використання сонячних трекерних установок. Запропонована методика дослідження системи.

В данной работе рассматривается эффективность использования солнечных трекеров. Предложена методика исследования системы.

In this work reviews the efficiency use of solar trackers. And the methods of research the system.

Ключові слова: трекер, сонячна батарея, орієнтація, сонячна радіація, фотомодулі.

Ключевые слова: трекер, солнечная батарея, ориентация, солнечнаярадиация, фотомодули.

Key words:solar tracker,solar cell, orientation, sun radiation, photovoltaic.

Виснаження земних ресурсів і наростаючі труднощі вирішення екологічних проблем розвитку енергетики призводять до необхідності пошуку нових , нетрадиційних методів отримання енергії. Серед них найбільш перспективним є фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії. Метод перетворення сонячної енергії в електричну енергію за допомогою напівпровідникових сонячних елементів є в даний час найбільш розробленим в науковому та практичному плані.

Коефіцієнт перетворення падаючої сонячної енергії сучасних сонячних фотоелектричних енергетичних установок не великий. У ясну сонячну погоду на кожен квадратний метр площі, перпендикулярної до сонячного вектору, падає приблизно 1 кВт сонячної енергії, проте з виходу автономних фотоелектричних енергетичних систем і установок до споживача надходить значно менша кількість енергії. Факторами, значно зменшують кількість генерованої енергії, є невисокий середній ККД кремнієвих фотоелементів масового виробництва (12-14 %) і недовикористання генеруючих можливостей сонячної батареї.

Енергетична ефективність (Ке) аналітично виражається відношенням різниці між енергією , виробленою сонячною батареєю ($W_{СБ}$) при прийнятому в системі законі регулювання напруги сонячної батареї (СБ) , і втратами енергії в перетворюючих пристроях ($\Delta W_{П}$) і акумуляторних батареях (АБ) ($\Delta W_{АБ}$) до енергії , яку може виробити СБ при безперервному регулюванні напруги СБ в точці максимальної потужності ($W_{СБмакс}$) .

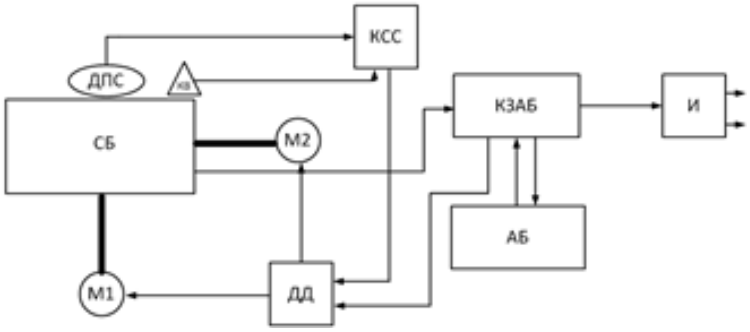
$$Кэ=(W_{СБ} - \Delta W_{П} - \Delta W_{АБ})/W_{СБмакс}=W_{Н}/W_{СБмакс} = \int_0^T \frac{P_Н dt}{\int_0^t P_{СБ\,макс} dt}$$

де Wн - енергія , що доставляються в навантаження ; $P_{СБ}$макс - екстремальне поточне значення потужності СБ ; Рн - поточне значення потужності навантаження ; Т - період функціонування .

Недовикористання сонячних батарей по енергії (не менше ніж на 30-50 %) пояснюється тим, що більшість енергетичних систем і установок не мають систем примусового охолодження

і безперервного автоматичного спостереження панелей за Сонцем , а також систем регулювання максимуму потужності з вольт-амперної характеристиці (ВАХ) сонячної батареї [1] .

Розглянемо приклад розробленої двохкоординатної системи стеження , конструкція якої складається: з фотоелектричного модуля; рухомого і нерухомого каркасів ; двох мотор-редукторів ; чотирьох датчиків положення Сонця, чотирьох кінцевих вимикачів. Нерухомий каркас установки складається з опори, в якій встановлено обертовий вал. Обертання валу забезпечується за рахунок двигуна через планетарний редуктор і циліндричну зубчасту передачу. Рухомий каркас установки складається зі сталевої рами, із закріпленою на ній відомою шестернею , яка пов'язана з валом нижньої опори для забезпечення обертання установки навколо вертикальної осі. На рамі встановлена вісь обертання СБ, яка через зубчасту передачу і редуктор з'єднана з двигуном, що забезпечує поворот рами по куту місця.



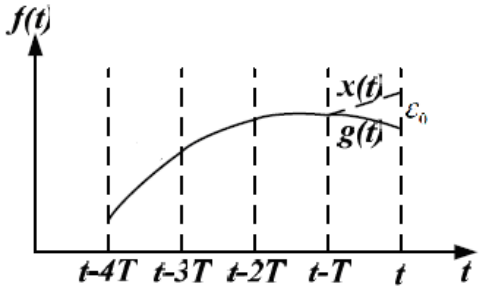
Малюнок 1 . Функціональна схема системи стеження

На малюнку 1 наведена функціональна схема системи стеження , де СБ - сонячна батарея ; КЗАБ - контролер заряду акумуляторної батареї; І - інвертор ; АБ - акумуляторні батареї; М1 , М2 - мотор-редуктори ; ДД - драйвер управління двигунами ; ДПС- датчики положення Сонця; КСС - контролер стеження за сонцем ; КВ- кінцеві вимикачі .

При автоматичному стеженні за Сонцем здійснюється точне наведення рами на Сонце , шляхом порівняння освітленості датчиків положення Сонця і переміщення рами за допомогою електроприводів по обох координатах . Якщо одна пара фотодатчиків освітлена однаково , то переміщати СБ не потрібно , а якщо є відмінність , то необхідно переміщення в такому напрямку , щоб компенсувати цю різницю. Якщо тиловий датчик освітлений більше всіх , то Сонце знаходиться із зворотного боку СБ У цьому випадку необхідно розгорнути раму в напрямку Сонця.

У період затемнення сонця потрібно також відстежувати положення Сонця , для цього використовується екстраполюється пристрій.

Екстраполююча дискретна слідкуюча система - особливий тип системи , на виході якої відтворюється безперервний сигнал , що співпадає в дискретні моменти часу з вхідним сигналом. У процесі стеження система будує поліном , в даному випадку вибираємо статечної поліном Ньютона. За допомогою полінома проводиться екстраполювання, передбачення майбутнього значення вхідного сигналу. Для генерації полінома зазвичай застосовуються інтегратори при їх паралельно послідовному з'єднанні. Послідовне інтегрування вимагає введення поправочних коефіцієнтів виду факторіалів . Процес екстраполяції зображений на малюнку 2 .



Малюнок 2 . Ілюстрація процесу екстраполяції .

У момент спостереження t = 0 в системі виникає помилка , що дорівнює різниці між вхідним і вихідним сигналами.

$$\varepsilon(t) = g(t) - x(t) = \varepsilon_0$$

Припустимо , що на виході екстраполюючої системи генерується сигнал , що задається поліномом , який в точності збігається з вхідним сигналом g (t) в моменти часу t -T , t - 2T , t - 3T , t - 4T , який визначається за формулою:

$$x(t) = a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t + a_3$$

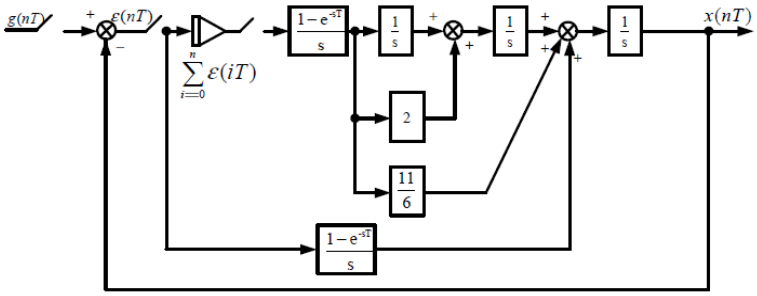
тоді , відповідно до методу Ньютона маємо поліном екстраполяції

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{t}{T}\right)\left(1 + \frac{t}{2T}\right)\left(1 + \frac{t}{3T}\right)$$

або,

$$\varepsilon(t) = t^3 \left(\frac{\varepsilon_0}{6T^3}\right) + t^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{T^2}\right) + t\left(\frac{11\varepsilon_0}{6T}\right) + \varepsilon_0$$

У результаті отримана структурна схема екстраполюючої системи, за умови : kT = 1 .



Малюнок 2 . Структурна схема екстраполюючої системи .

Застосувавши екстраполюючий пристрій , система стає більш стійкою в період затемнення Сонця [2] .

У наземних автономних фотоелектричних енергетичних установках переважно використовуються прості контролери струму заряду і розряду акумуляторних батарей (АБ) , які просто відключають джерело енергії (СБ) при досягненні певної напруги на АБ . При зниженні напруги на АБ, знову підключається сонячна батарея, і заряд поновлюється. У таких системах напруга на СБ визначається напругою на АБ в конкретний момент часу і залежить від ступеня зарядженості АБ . Очевидно, що в режимі заряду в таких системах робоча напруга СБ практично ніколи не збігається з напругою відповідним режиму генерування максимальної потужності. Таким чином, сонячна батарея пропорційно недовикористовується по потужності при всіх інших робочих температурах фотоелектричних панелей, відмінних від максимальної

розрахункової температури.

Застосувавши в системі контролер заряду з функцією екстремального регулювання можна домогтися енергетичної ефективності в 30 % в порівнянні з системами зі стабільним напругою сонячної батареї. Його реалізація, як і реалізація автоматичного спостереження фотоелектричних панелей за Сонцем, є найбільш дієвим способом підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів .

Список літератури:

1) Ю.А. Шіняков , Ю.А. Шуригін , О.Е. Аркатова , Підвищення енергетичної ефективності автономних фотоелектричних енергетичних установок.
2) Тхеін Лін У, Дослідження та розробка автоматичних систем управління мобільних сонячних енергетичних установок в умовах тривалого затінення. Москва 2010 .

УДК 697

к.т.н. доц. Пермяков В.М. Пьорушкіна Н.А.

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОНІЗОВАНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СРЕДЕ MATLAB
DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL ASYNCHRONOUS BRUSHLESS MOTORS IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Анотація. У даній науковій статті досліджується асинхронізований вентильний електропривод. Прийнята система управління електроприводом. Вироблено моделювання режимів роботи електродвигуна АВД.

This article examines the scientific asynchronous electric valve. The adopted system of electric. Manufactured simulation modes of the motor AVD.

В данной научной статье исследуется асинхронизированных вентильный электропривод. Принятая система управления электроприводом. Произведено моделирование режимов работы электродвигателя АВД.

Ключові слова: система електроприводу; частотно-регульований електропривод; моделювання; режими роботи.

Ключевые слова: система электропривода; частотно-регулируемый электропривод; моделирование; режимы работы.

KeyWords:, electric drive system, VFD, modeling, modes of operation.

Удосконалення електромеханічних перетворювачів, принципів управління ними, розвиток напівпровідникової техніки та елементної бази дозволило до теперішнього часу створити електромашини - вентильні системи як частково, так і повністю керовані. У асинхронізованого вентильному двигуні (АВД) на основі асинхронної машини з фазним ротором, включеної в режимі подвійного живлення , системою управління (СУ) і перетворювачами частоти в ланцюгах статора і ротора (рис. 1) при живленні роторної обмотки напругою низької частоти в машині формується обертове магнітне поле, яке може забезпечувати комутацію струму в фазах. Можливо інверсне включення. Такий двигун має, порівняно з іншими типами електричних машин, найбільші можливості впливу на процес перетворення енергії в електромеханічної системою - по амплітуді і частоті напруги живлення роторних обмоток, по амплітуді напруги живлення і фазі струму статорних обмоток, що, однак, вимагає наявності двох перетворювачів частоти з відповідними системами управління [1] .

У порівнянні з вентильним двигуном постійного струму, АВД, збуджуваний з боку ротора трифазним змінним струмом низької частоти, має переваги: можливістю комутації струму в фазах якоря в стопорному режимі, відсутністю датчика положення ротора, можливістю рекуперативного гальмування до повної зупинки. При використанні інвертора струму система управління перетворювача частоти синхронізується по наведенній в ланцюзі якоря ЕРС (управління по фазі ЕРС), а в разі живлення від інвертора напруги систему управління перетворювача частоти якоря можна синхронізувати по фазним струмам, що протікають в обмотці якоря (управління по фазі струму). На початку обертання ротора вихідна частота перетворювача частоти якоря (ПЧ) автоматично збільшується на величину частоти обертання [2] .

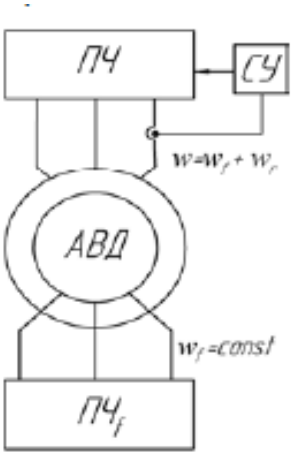


Рис.1 . Структурна схема АВД

Відмітна особливість АВД полягає в тому , що обмотка збудження живиться трифазним змінним струмом низької фіксованої частоти і тим самим створюється обертове магнітне поле вже при нерухомому роторі . Харчування з боку якоря здійснюється від перетворювача частоти , інверторна ланка якого є веденим мережею якірної обмотки.

Робота двигуна описується наступною системою рівняння :

$$\begin{cases} \vec{U} = (r + j \cdot \vartheta \cdot x_\sigma) \cdot \vec{I} + j\vartheta\vec{\Psi} \\ \overrightarrow{U_f} = (r_f + j \cdot s_0 \cdot x_f) \cdot \overrightarrow{I_f} + j s_0 \cdot \vec{\Psi} \\ \vec{\Psi} = x \cdot (\vec{I} + \overrightarrow{I_f}) \\ M = R_e j \cdot \vec{\Psi} \cdot \vec{I} \end{cases} \quad (1)$$

Де Ψ - узагальнений вектор магнітного потоку в зазорі машини ,$\vec{I}, \overrightarrow{I_f}$ - узагальнені вектора струмів якоря і збудження ,$\vec{U}, \overrightarrow{U_f}$ - узагальнені вектора напружень якоря і збудження, r, r_f- активні опори якоря і збудження, s,s_0 - відносні частоти струмів якоря і збудження, x, x_f - індуктивні опори розсіювання якоря і збудження. M - електромагнітний момент на валу двигуна. Усі величини у відносних одиницях.

На базі системи рівнянь розроблено імітаційну модель ЕП з АВД рис.2.

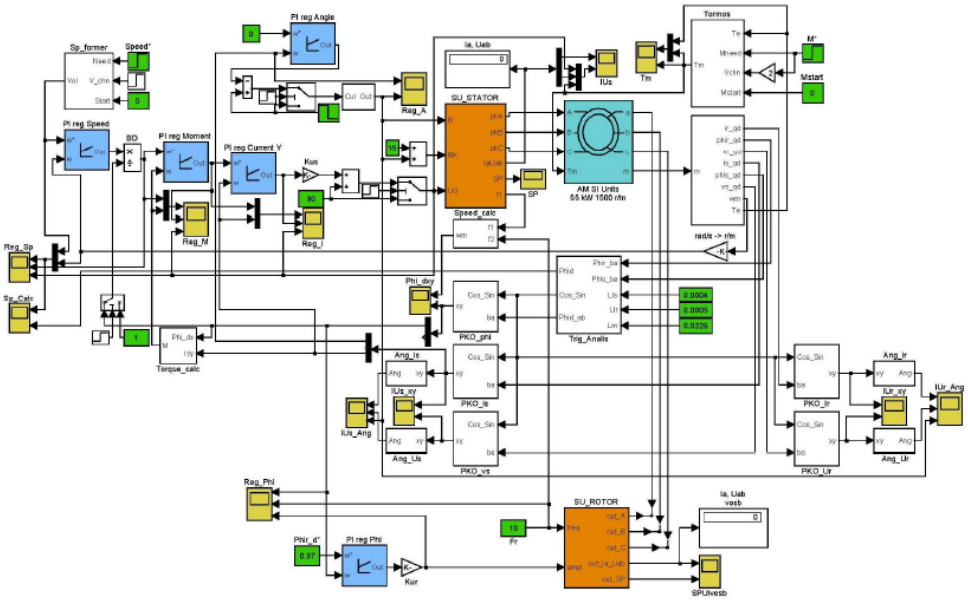


Рис.2 . Імітаційне модель АВД

Живлення АВД здійснюється від двох перетворювачів частоти : АІН з ШІМ в ланцюзі ротора і інвертора струму (ІС) з двоступеневою штучною комутацією (ІК) в ланцюзі статора , жорстко фіксує фазу струму якоря щодо його напруги . Вихідна напруга АІН з ШІМ синусоїдальна , і його гармонійний склад визначається конкретним схемотехнічними рішенням. Тому моделювання силової схеми АІН не має сенсу , і в моделі електроприводу був застосований керований джерело синусоїдальної напруги з регульованою амплітудою і вихідною частотою.

На рис.3 представлені перехідні процеси ЕП.

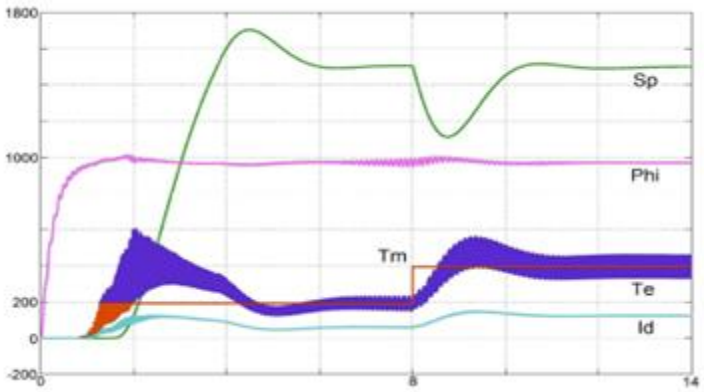


Рис . 3 . Перехідні процеси АВД

Перехідні процеси при пуску і розгоні приводу при ортогональному управлінні до номінальної швидкості з моментом опору на валу 0,5 МСН і подальшим набросом нагрузки до номінального значення . Перерегулювання по електромагнітному моменту і швидкості складає близько 25 % , а час перехідного процесу - 6 сек. Експериментальні дослідження імітаційних моделей АВД показали гарну працездатність приводу, підтвердили обгрунтованість математичних моделей.

Список літератури

1) Сонін Ю.П. , асинхронізованого вентильний двигун. Саранськ: Вид-во Мордовского ун-ту , 1998 .

2) Природні характеристики асинхронізованого вентильного електродвигуна на базі інвертора напруги , Казаков Ю.Б. , Гуляєв І.В. ,

3) Дослідження моменту асинхронізованого вентильного двигуна в режимі підтримки номінального струму порушення . Гуляєв І.В. , Юшков І.С.

УДК 681.515

Тишевич Б. Л., Іванов І.П.

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗМІННОГО СТРУМА З МАТРИЧНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

В статті розглянуто систему управління швидкістю електропривода змінного струму з матричним перетворювачем на основі нейромережевих технологій. Розглянуто як стандартну систему з використанням класичного ПІД регулятора, так і альтернативну з адаптивним налаштуванням коефіцієнтів регулятора. Проаналізовані отримані характеристики та оцінена якість управління складними системами.

Ключові слова: *асинхронний двигун, матричний перетворювач частоти, нейрона мережа управління, нейрона мережа моделююча.*

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С МАТРИЧНІМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

В статье рассмотрена система управления скоростью электропривода переменного тока с матричным преобразователем на основе нейросетевых технологий. Рассмотрено как стандартную систему с использованием классического ПИД регулятора, так и альтернативную с адаптивной подстройки коэффициентов регулятора. Проанализированы полученные характеристики и оценено качество управления сложными системами.

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, матричный преобразователь частоты, нейронная сеть управления, нейронная сеть моделирующая.*

NEURAL NETWORK CONTROL FOR AC DRIVE WITH MATRIX CONVERTOR

The article describes the speed AC drive control system with matrix converter based on neural network technology. Considered as the standard system using the classic PID and an alternative adaptive tuning controller coefficients. Analyze the characteristics and evaluated the quality of complex systems.

Keywords*: induction motor, the matrix converter, neural network control, neural network modeling.*

Вступ. Високі вимоги, які пред’являються технологічним обладнанням до якості управління різноманітними електромеханічними системами , не можуть бути реалізовані без широкого впровадження прогресивних принципів їх побудови [1] та інтелектуальних технологій управління. Серйозною альтернативою класичним методам цифрового управління є автоматичне управління із використанням нейронної мережі, нечіткої логіки, що дозволяє знизити складність алгоритмів керування. Особливо ефективним виявляється використання таких методів для складних технологічних агрегатів, для яких практично не можливо побудувати адекватну математичну або фізичну модель, зокрема для електроприводу з асинхронним двигуном.

Мета дослідження. Дослідити нейромережеву систему управління швидкістю електропривода змінного струму з матричним перетворювачем частоти (МПЧ). Оцінити якість управління електропривода змінного струму з МПЧ на базі нейромережевих технологій в середовищі Matlab.

Результати дослідження. Прикладні математичні моделі, побудовані раніше, які майже повністю відображали фізичні властивості систем використовували статистичну теорію [2] . Наприклад авто-регресивна модель, авто-регресивна модель з ковзаючим середнім, гратчастої моделі та інші. Ці моделі були розроблені статистиками та інженерами для практичних застосувань [3]. Для опису складних динамічних систем методи статистики

не підходять, так як для відображення точних властивостей і синтезу моделі, з подальшим відображенням зміни параметрів, вимагають багато часу. Тому, сучасна теорія управління була непопулярна і складна для практичних застосувань за винятком деяких специфічних проблем таких як управління супутниковими системами . Наприклад в Японії близько 84 % систем управління технологічними комплексами використовують класичні ПІД контролери [4].

Враховуючи всі перераховані проблеми, використання нових методів синтезу з використанням нечіткої логіки і нейронних мереж (НМ) призвело до появи інтелектуальних систем управління які побудовані на алгоритмах, що відповідають вимогам для управління складними динамічними системами .

До таких систем, безумовно, відноситься електропривод змінного струму з асинхронним двигуном за системою МПЧ-АД , який набув широкого розповсюдження. При цьому, для забезпечення високої якості управління в електроприводі змінного струму, широко почали використовуватися МПЧ.

МПЧ є одним з найбільш перспективних напівпровідникових перетворювачів енергії з безпосереднім зв'язком джерела і навантаження для застосування в тих випадках, коли потрібна наявність режиму рекуперації енергії в живильну мережу і є підвищені вимоги до якості споживаної і повернутої енергії В даний час, завдяки використанню останнього покоління біполярних транзисторів, з ізольованим затвором (IGBT) МПЧ забезпечує високу якість перетворення енергії. На рисунку 1 представлена принципова схема МПЧ-АД.

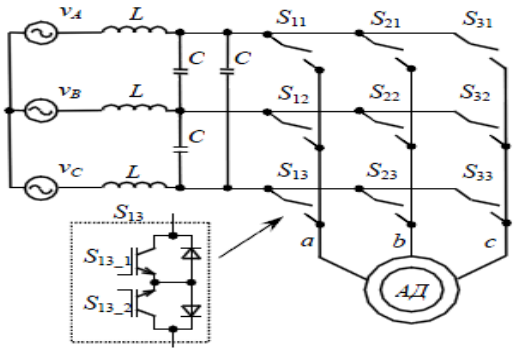


Рисунок 1. Принципова схема МПЧ-АД

Силові ключі МПЧ підключені таким чином, що енергія може як підводитися до двигуна , так і відводитися назад в мережу при гальмуванні у режимі рекуперації.

Основні переваги МПЧ при використанні в приводах змінного струму:

- можливість рекуперації енергії без допомоги додаткових пристроїв;
- високі значення ККД (98 %) і коефіцієнта потужності (0,95). При цьому коефіцієнт потужності не залежить від швидкості двигуна, оскільки МПЧ навіть без використання режиму рекуперації забезпечує більшу економію, ніж звичайні перетворювачі;
- високий показник електромагнітної сумісності з мережею живлення;
- у МПЧ більш високі динамічні характеристики, включаючи реакцію на стрибок напруги і ударне навантаження;
- зниження вхідних гармонійних спотворень;
- в МПЧ синусоїда формується безпосередньо, внаслідок чого поліпшується чистота живлячої напруги, а це підвищує термін роботи двигуна і дозволяє збільшити відстань між ним і перетворювачем частоти без використання додаткових фільтрів.
- МПЧ можуть працювати з великими напругами і струмами, що важливо в потужних приводах.

У системі управління швидкістю використовується класичний пропорційно-інтегро-диференціюючий (ПІД) регулятор з налаштуванням коефіцієнтів НМ управління (НМУ) в реальному часі. Додатковим засобом для підвищення точності управління є введення НМ моделювання (НММ), яка виконує ідентифікацію електроприводу МПЧ-АД. Наявність НММ дозволяє підвищити точність адаптації вагових коефіцієнтів НМУ і як наслідок поліпшити управління. Процес навчання НММ може проводитися в статичному, не робочому режимі. НММ вважається навченою, якщо при відомих значеннях на входах і входах реального об'єкта, відмінність цих значень від виходів НММ стає незначною. Після завершення навчання НММ, проводиться навчання НМУ. Іншим засобом прискорення адаптації параметрів системи управління є застосування лінійної математичної моделі (ЛММ), яке паралельно з НММ відтворює властивості електроприводу. Застосування адаптивного ПІД-регулятора і ЛММ ускладнює алгоритм роботи системи управління, що не має істотного значення у зв'язку з бурхливим розвитком комп'ютерних технологій.

При реалізації системи управління с НММ і НМУ необхідно використовувати елементи затримки z^{-1}, і z^{-2} які забезпечують підвищення точності адаптації вагових коефіцієнтів. Для адаптації вагових коефіцієнтів $w_{ji}^{E}(t)$ НММ і $w_{ji}^{C}(t)$ НМУ використовується алгоритм „зворотнього поширення” (backpropagation algorithm). На рисунку.2 представлена нейромережева система управління для електропривода змінного струму з матричним перетворювачем.

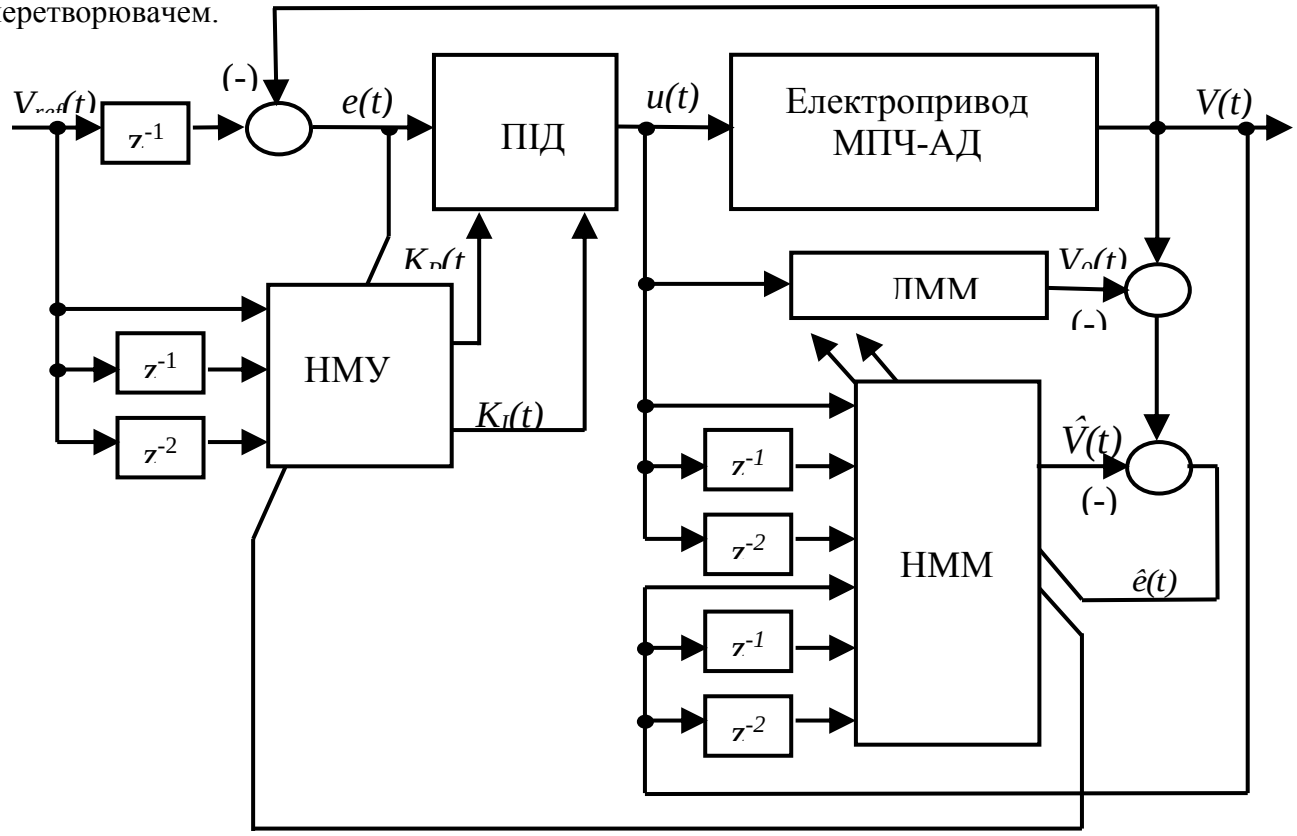


Рисунок 2. Нейромережева система управління для електропривода змінного струму з матричним перетворювачем

Крім переваг які дає адаптивне підстроювання коефіцієнтів ПІД регулятора, застосування НМУ і НММ з ЛММ забезпечує зниження параметричних, зовнішніх і вимірювальних збурень. Для побудови моделі системи керування швидкістю, передавальна функція ПІД регулятора може бути задана як

$$G_c(s)= k_c\,[1+(1/T_i)(s^{-1})+ T_d\,s]; \quad (1)$$

$$k_c =100/(P_{BF}+ P_{BN}), \quad (2)$$

де k_c – сумарний пропорційний коефіцієнт; P_{BF} – незмінна частина; P_{BN} – частина яка налаштовується НМУ; T_i – стала інтегрування; T_d – стала диференціювання.

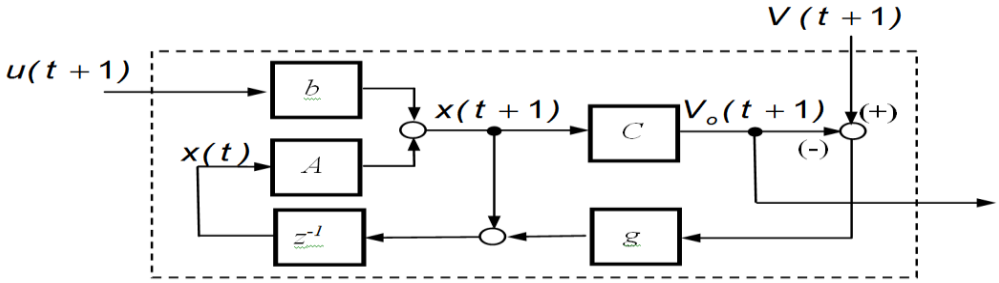


Рисунок 3. Структурна схема лінійної математичної моделі

Система рівнянь лінійної математичної моделі може бути задана:

$$\begin{cases} x(t+1) = Ax(t) + bu(t); \\ V_o(t+1) = Cx(t+1); \\ x_p(t+1) = x(t+1) + g(V(t+1) - V_o(t+1)), \end{cases} \quad (3)$$

Для комп'ютерної реалізації, необхідно скласти математичний опис системи у дискретному часі. При цьому вихідний сигнал ПІД регулятора $u(t)$ для управління електроприводом має вигляд:

$$u(t)=u(t-1)+[1/(P_{BF}+ P_{BN})][(1-T/2\,T_i)(e(t)-e(t-1))+ T/T_i\,e(t)]; \quad (4)$$

$$K_P(t)= k_c- K_I(t)/2,\ K_I(t)= k_cT/ T_i, \quad (5)$$

де $e(t)$ – похибка виходу; $K_P(t)$, $K_I(t)$ – пропорційний коефіцієнти відповідно для пропорційної та інтегруючої частин регулятора; T – інтервал дискретизації.

НМУ підстроює коефіцієнти (2),(5) таким чином, щоб мінімізувати значення оціночної функції:

$$J_V=0,5\,[V_{ref}\,(t-m)- V(t)]^2, \quad (6)$$

де V_{ref} – задана швидкість; V - дійсна швидкість.

Вагові коефіцієнти $w_{ji}^C\,(t)$ входів нейронів НМУ задаються відповідно

$$\Delta w_{ji}^C(t) = -\eta\frac{\partial J_V}{\partial w_{ji}^C(t-1)} + \alpha w_{ji}^C(t-1) + \beta\Delta w_{ji}^C(t-2); \quad (7)$$

$$w_{ji}^C(t)= w_{ji}^C(t-1)+\Delta w_{ji}^C(t), \quad (8)$$

де η,α,β – коефіцієнти відповідно зміни, швидкості зміни, прискорення зміни адаптації вагових коефіцієнтів [6]. Зміна оціночної функції відносно адаптації вагових коефіцієнтів відповідає виразу:

$$\frac{\partial J_V}{\partial w_{ji}^C(t-m)} = -[V_{ref}(t-m) - V(t)]\frac{\partial V(t)}{\partial u(t-m)}\frac{\partial u(t-1)}{\partial P_{BN}}\frac{\partial P_{BN}}{\partial w_{ji}^C(t-1)}. \quad (9)$$

Зміна сигналу управління відносно адаптації пропорційних коефіцієнтів відповідає виразу:

$$\frac{\partial u(t-1)}{\partial P_{BN}} = -[1/(P_{BF}+P_{BN})^2(1-T/2T_i)e(t-1) - e(t-2)) + (T/T_i)e(t-1)]. \quad (10)$$

Іншим варіантом застосування НМУ для адаптації ПІД регулятора є можливість

зміни сталих часу. Якщо прийняти:

$$T_i = T_{iF} + T_{iN}, \quad (11)$$

де T_{iF} – незмінна стала часу; T_{iN} – стала часу, яка підстроюється НМУ, то рівняння (9), (10) приймають вигляд:

$$\frac{\partial J_V}{\partial w_{ji}^C(t-m)} = -[V_{ref}(t-m) - V(t)] \frac{\partial V(t)}{\partial u(t-m)} \frac{\partial u(t-1)}{\partial T_{iN}} \frac{\partial T_{iN}}{\partial w_{ji}^C(t-1)}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial u(t-1)}{\partial T_{iN}} = 100/(P_{BF} + P_{BN})^2 T/2T_i^2 [e(t-1) - e(t-2)) + (-T/T_i^2)e(t-1)]; \quad (13)$$

Зв'язок між зміною параметрів НММ і НМУ можна описати через зміну похибок між шарами нейронів. Спочатку обчислюється сигнал похибки між вихідним і прихованим шарами нейронів НММ, який відповідає:

$$\delta_k^E = u(t)\,(1 - u(t))\,\hat{e}(t) \left[\frac{\hat{V}(t) - \hat{V}(t-1)}{u(t) - u(t-1)} \right], \quad (14)$$

потім обчислюється зміна вагових коефіцієнтів $w_{ki}^E(t)$ вихідного шару НММ відповідно

$$\Delta w_{ki}^E(t) = \eta \delta_k^E O_j^E + \alpha w_{ki}^E(t-1) + \beta \Delta w_{ki}^E(t-2), \quad (15)$$

де O_j^E - виходи нейронів у прихованому шарі.

Наступний крок – обчислення похибки для вхідного і прихованого шару НММ :

$$\delta_j^E = w_{kj}^E \delta_k^E O_j^E (1 - O_j^E), \quad (16)$$

і зміни вагових коефіцієнтів $w_{ji}^E(t)$ прихованого шару НММ відповідно

$$\Delta w_{ji}^E(t) = \eta \delta_j^E u(t) + \alpha w_{ji}^E(t-1) + \beta \Delta w_{ji}^E(t-2). \quad (17)$$

Похибки НММ і НМУ пов'язані між собою залежністю

$$\delta_k^C = \sum_j \delta_j^E w_{ji}^E \quad (18)$$

Далі, вирази, які описують зміну вагових коефіцієнтів і похибок НМУ відповідають виразам (15),...,(17) для НММ. Обчислення зміни вагових коефіцієнтів $w_{ki}^C(t)$ вихідного шару НМУ виконується відповідно

$$\Delta w_{kj}^C(t) = \eta \delta_k^C O_n^C + \alpha w_{kj}^C(t-1) + \beta \Delta w_{kj}^C(t-2), \quad (19)$$

де O_n^C - виходи нейронів у вихідному шарі ($O_1^C = K_P(t)$ $O_2^C = K_I(t)$).

Похибка для вхідного і прихованого шару НМУ обчислюється за виразом

$$\delta_j^C = w_{kj}^C \delta_k^C O_j^C (1 - O_j^C). \quad (20)$$

Зміна вагових коефіцієнтів $w_{ji}^C(t)$ прихованого НМУ відповідає

$$\Delta w_{ji}^C(t) = \eta \delta_j^C V_{ref}(t) + \alpha w_{ji}^C(t-1) + \beta \Delta w_{ji}^C(t-2). \quad (21)$$

Графік перехідного процесу для систему управління зі звичайним ПІД регулятором представлений на рисунку 4.

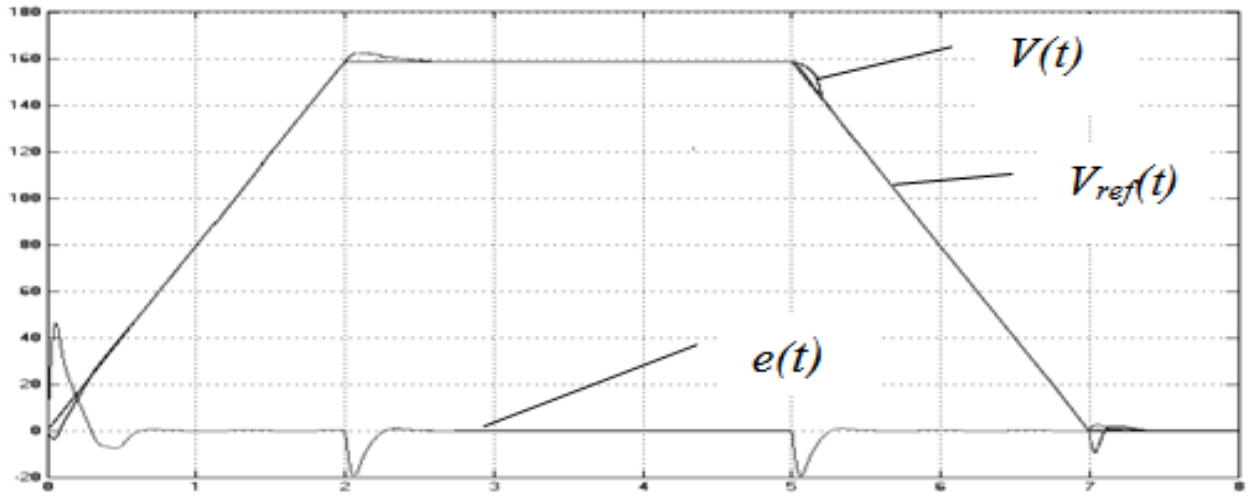


Рисунок 4. Перехідний процес для систему управління зі звичайним ПІД регулятором

Сигнали: $V_{ref}(t)$- сигнал завдання швидкості; $V(t)$ - сигнал відпрацювання швидкості системою управління; $e(t)$ – похибка системи управління.

Графік перехідного процесу для системи управління з використанням ПІД регулятора з НМУ і НММ з ЛММ, представлений на рисунку 5.

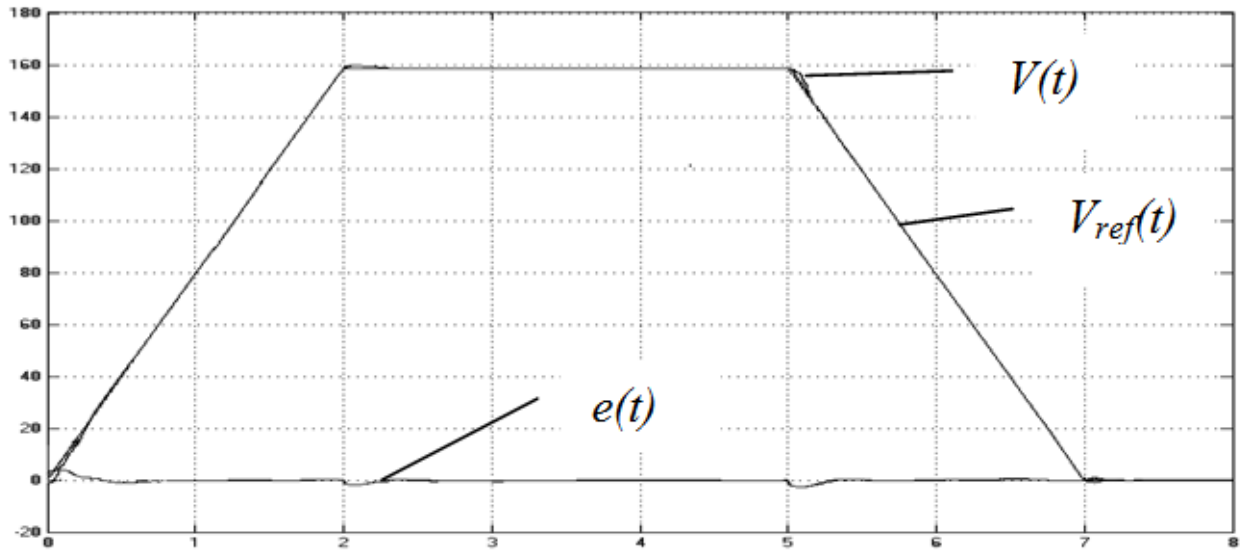


Рисунок 5. Перехідний процес для системи управління з використанням ПІД регулятора з НМУ і НММ з ЛММ

Висновок. В результаті виконаного дослідження розроблено нейромережеву систему управління для електропривода змінного струму з матричним перетворювачем, яка покращує якість управління складними динамічними системами за рахунок адаптивного налаштування параметрів ПІД регулятора. Таким чином, можна стверджувати, що використання нейромережевих систем управління дозволяє досягти високих значень якості для систем з наперед невідомими параметрами.

ЛІТЕРАТУРА:

3. Astrom K.J., Wittenmark B. “Adaptive Control”, Addison Wesley, USA, 1989.
4. Narendra K.S., Ortega R., Dorato P. “Advances in Adaptive Control”, IEEE Press, New York,1991.
5. “Special Issue on Neural Network Hardware”,IEEE Trans on Neural Networks, Vol.3,pp.347-506,1992.
6. Togai M., Watanabe H. “Expert system on a chip: An engine for real-time Approximate Reasoning”, IEEE Expert, Vol. 1, pp.55-62, 1986.
7. Yamakawa T., “Fuzzy microprocessors – rule chip and defuzzification chip” Proc. of Int.Workshop on Fuzzy Systems Applications, Iizuka-88, Kyushu, pp. 51-52, 1988.
8. Kong S. G., Kosko B. “Adaptive fuzzy systems for backing upa truck-and-trailer”, IEEE Truns. on Neural Networks, Vol.3, pp.211-223, 1992.

УДК 681.52

Лебедєв Л.М., доц., Майданенко В.В., студ.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР СИСТЕМИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕКСКАВАТОРА МЕТОДОМ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ

Робота присвячена питанню багатокритеріального вибору регульованого електропривода екскаватора. Виконано аналіз факторів, котрі впливають на вибір системи електроприводу. Для вирішення поставленого завдання використовується метод функціонально-вартісного аналізу, який у разі кваліфікованого застосування сприяє підвищенню рівня якості вибору.

Ключові слова: *екскаватор, багатокритеріальний вибір, функціонально-вартісний аналіз, система електроприводу.*

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭКСКАВАТОРА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

Работа посвящена вопросу многокритериального выбора регулируемого електропривода экскаватора. Выполнен анализ факторов, которые влияют на выбор системы электропривода. Для решения поставленного задания используется метод функционально-стоимостного анализа, который в случае квалифицированного применения способствует повышению уровня качества выбора.

Ключевые слова: *экскаватор, многокритериальный выбор, функционально-стоимостный анализ, система электропривода.*

MULTICRITERIA SELECTION OF ELECTRIC SHOWEL DRIVE SYSTEM USING VALUE ANALYSIS APPROACH

This work is devoted to multicriteria selection of electric showel drive system. An analysis of factors that influence the choice of drive system was made.To solve given task had been used the value analysis approach, which contributes to higher quality choice in case of qualified application.

Key words: *electric shovel, multicriteria selection, value analysis approach, drive system*

Вступ

На сьогодні як в наукових виданнях, так і на сайтах фірм-виробників рекомендуються до використання і пропонуються до впровадження різні системи електроприводу для одноковшових екскаваторів типу «механічна лопата». При цьому кожна з них має певні переваги і недоліки. В якості аргументів приводяться такі чинники, як тип і потужність установки, вплив на мережу, динамічні характеристики, економічні і енергетичні показники і таке інше.

Таким чином, вибір раціональної системи електроприводу екскаватора повинен грунтуватися на порівняльному багатокритеріальному аналізі оцінок технічних і економічних можливостей конкретного підприємства. З урахуванням технологічної особливості роботи екскаватора для системи електроприводу в якості критеріїв оцінки найбільш актуальними можна рахувати динамічні показники (точність відпрацювання необхідної швидкісної діаграми за робочий цикл) і енергетичні характеристики (енергозберігаючі аспекти).

Одним із способів, який може сприяти у вирішенні питання вибору раціонального автоматизованого електроприводу екскаватора, є застосування методів

багатокритеріального вибору, що дозволяють виконати вибір раціональної системи електроприводу з врахуванням найбільш важливих факторів.

Аналіз попередніх досліджень.

В даній роботі виконано вибір системи регульованого електроприводу екскаватора із застосуванням методу функціонально-вартісного аналізу (ФВА). У якості критеріїв,за якими виконувався вибір, були обрані такі, що за результатами експертної оцінки виявилися найбільш вагомими. В статті [1] розглянуті схеми багатокритеріального вибору обладнання, що основані на неаддитивній мірі цінності,що задається за допомогою експертів в області, що розглядається. У роботі [2] розлянута задача багатокритеріальної оптимізації електропривода з врахуванням динамічних та енергетичних показників шляхом дослідження процесів електромагнітного перетворення енергії. Робота [3] присвячена багатокритеріальному вибору однотипних елементів, тобто елементів, що володіють однаковим набором характеристик.

Мета роботи.

Підвищити рівень якості вибору системи регульованого електроприводу екскаватора за рахунок використання методу фукціонально-вартісного аналізу.

Матеріал та результати роботи.

В процесі вибору раціонального електроприводу доводиться враховувати багато чинників, що часто суперечать один одному. Наприклад, вимога підвищення якості регулювання швидкості призводить до ускладнення і підвищення ціни електроустаткування. Застосування електроприводів з тихохідними двигунами збільшує вартість електроприводу і витрати матеріалів.

Підвищення механічної інерції приводу покращує згладжування навантаження, але ускладнює пуск і регулювання швидкості електроприводу.

Застосування напівпровідникових перетворювачів, що підвищує регулювальні властивості електроприводу, знижує показники енергоспоживання, зокрема, коефіцієнт потужності.

Вибір електроприводу є завданням, що вимагає усебічної оцінки і системного аналізу. Зрозуміло,що для конкретних машин і механізмів не усі чинники грають однакову роль, іноді деякі вимоги обмежують альтернативні варіанти. Часто вибір раціональної системи електроприводу припускає компромісні рішення або змушує йти на погіршення деяких показників (наприклад, капітальних витрат) для отримання загального економічного ефекту.[4]

Для візуалізації факторів, котрі враховуються в процесі вибору системи електроприводу на рис.1 представлена діаграма Ісікави. Будь-який із кореневих факторів може бути пріоритетним в залежності від технологічних вимог.

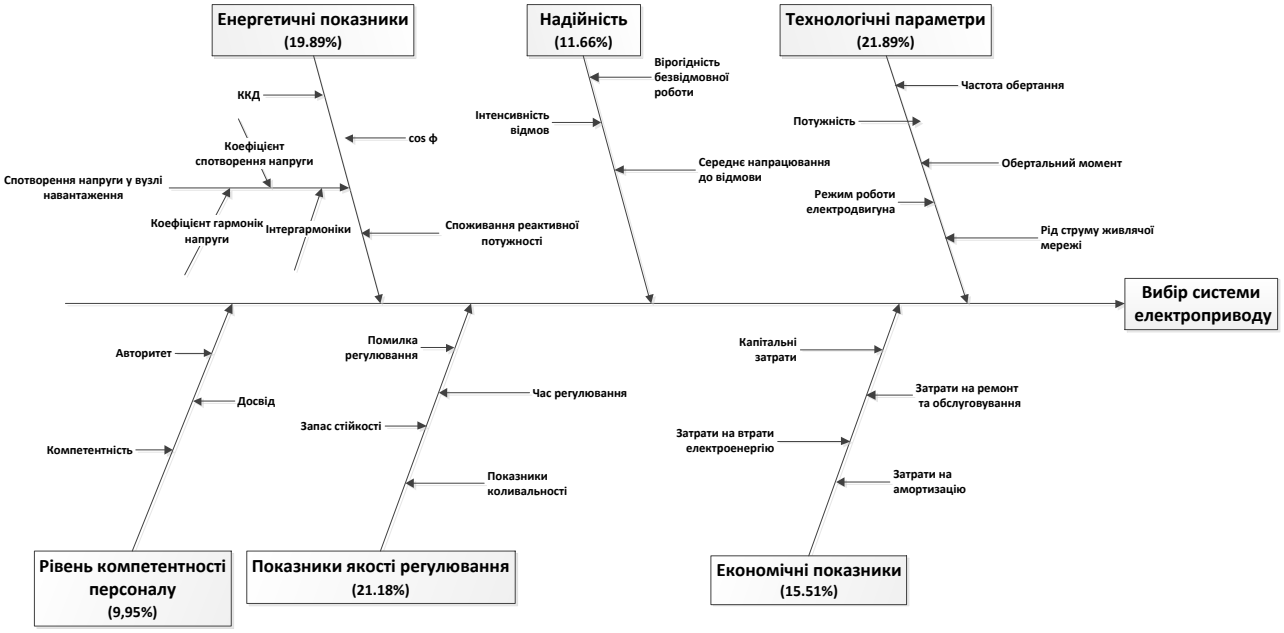


Рисунок 1 – Фактори, що впливають на вибір системи електроприводу

Таким чином вибір системи електроприводу із врахуванням всіх факторів представляє собою задачу, для вирішення якої необхідно використовувати складний математичний апарат, що потребує значних зусиль та часу та часто не забезпечує прийняття оптимального рішення.

Для спрощення задачі необхідно визначити фактори, котрі є найбільш вагомими для заданих технологічних умов використання системи електроприводу. Дане спрощення було виконано за домпомогою експертних оцінок. Для експертизи було створено групу з 20 спеціалістів, котрі обиралися серед викладачів кафедри автоматизації та управління електротехнічними комплексами. Проаналізувавши оцінки експертів, було виконано ранжування факторів за мірою важливості при виборі системи електропривода екскаватора. На рис.2 представлена діаграма Парето, котра дає можливість наглядно визначити фактори, що мають першочергове значення при виборі системи електроприводу екскаватора.

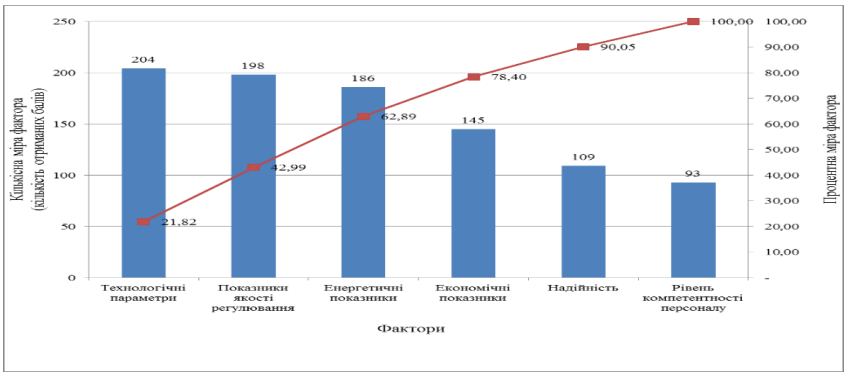


Рисунок 2 – Діаграма Парето

Виконані спрощення дають можливіть перейти до рішення задачі багатокритеріального вибору методом функціонально-вартісного аналізу.

Зміст та цілі функціонально-вартісного аналізу.

Метод ФВА базується на тому, що витрати, пов'язані з використанням будь-якого об'єкту, що виконує задані функції, складаються з необхідних для його експлуатації, а також додаткових, функціонально невиправданих зайвих витрат, які виникають із-за введення непотрібних функцій, що не мають прямого відношення до призначення об'єкту, або пов'язаних з недосконалістю конструкції, технологічних процесів, вживаних матеріалів, методів організації виробництва, праці і тому подібне.

Система ФВА є сукупністю дій, що органічно поєднують організаційні засоби, науково-методичні принципи, техніко-економічні прийоми, націлені на виявлення, попередження, скорочення або ліквідацію зайвих витрат. Це забезпечується за рахунок усебічного вивчення функцій, що виконуються досліджуваним об'єктом, і витрат, необхідних для їх проведення. Саме функції продукту праці задовольняють потребам людини : транспортні засоби переміщають вантажі і пасажирів, холодильне устаткування створює необхідну температуру для збереження продуктів або підтримки робочих процесів і тому подібне. Конкретне виконання, спосіб обробки, що реалізовують цю функцію, виступають як один з великої кількості можливих варіантів її вираження і, відповідно, витрат на забезпечення функції. Тому досліджуваний об'єкт розуміється не у своїй конкретній, реальній формі, а як комплекс функцій, які він виконує або повинен виконувати. При цьому ставиться мета - якнайповніше задовольняти задані об'єкту вимоги і забезпечувати ефективні шляхи їх реалізації, що досягається при дотриманні принципу корисності функцій витратам на їх здійснення.[5]

Нині дослідниками запропоновані різні методики проведення ФВА, що розрізняються в основному глибиною охоплення об'єкту. Для оперативного вирішення питань вибору тих або інших варіантів устаткування, параметрів процесу, початкових матеріалів і тому подібне, що виникають в процесі технологічної підготовки виробництва, може бути використаний варіант проведення ФСА, викладений нижче.

Алгоритм функціонально-вартісного аналізу.

Перший етап - збір початкових даних для розрахунку. Для цього необхідно вибрати найважливіші (основні) характеристики, які мають вагу при виборі того або іншого об'єкту. Після чого вибрані характеристики індексуються, тобто кожній з них надається індекс відповідно X_1, X_2, X_3, .., X_n. Необхідно також мати числові значення кожної характеристики для кожного об'єкту. Усі початкові дані записуються у формі таблиці 1.

Опираючись на [6] у якості об’єктів для порівняння були обрані найбільш перспективні системи екскаваторного електроприводу, котрі використовуться зараз або знаходяться в розробці та можуть бути використані в електроприводах екскаваторів.

Таблиця 1

Найменування характеристики	Одиниці вимірювання	Індекс характеристики	Значення показників системи електропривода		
			ТП-Д	БПЧ-АД	АІН-АД
Коефіцієнт корисної дії	в.о	X1	0,879	0,9	0,863
Рід струму живлячої мережі	-	X2	постійний	змінний	змінний
Капітальні затрати	у.о.	X3	70321,6	75604,4	52379,9
Помилка регулювання	%	X4	5	4	6

Спотворення напруги у вузлі навантаження	-	X5	Рисунок 3	Рисунок 4	Рисунок 5

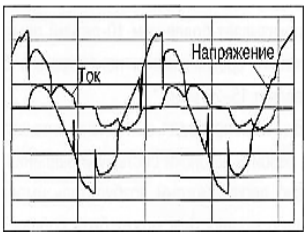


Рисунок 3

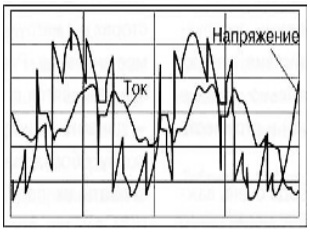


Рисунок 4

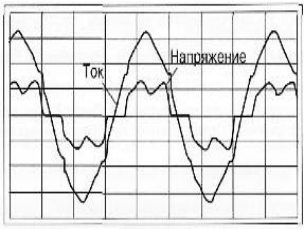


Рисунок 5

Другий етап - встановлення міри важливості (пріоритету) серед характеристик або, іншими словами, ранжирування. Міра важливості характеристик визначається за допомогою експертних оцінок. Часто на практиці експерти затрудняються в ранжуванні характеристик за якоюсь ознакою або характеристик надто багато, щоб можна було обгрунтовано їх розташувати в порядку зростання або спадання оцінки цієї ознаки.У таких випадках, якщо і вдається отримати ранжування, то говорити про їх достовірність важко, навіть на погляд самих експертів. Тому сумарне ранжування в методі ФВА робиться іншим шляхом - методом парних порівнянь. Для виконання цього етапу необхідно притягнути певну кількість експертів, які повинні зробити деякі порівняння пар характеристик. Кількість таких порівнянь залежить від кількості характеристик. Якщо n - кількість характеристик, то кількість порівнянь p визначається по формулі:

$$p = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$$

При парному порівнянні зазвичай використовують три міри вагомості характеристик : більш значуща, менш значуща і рівнозначні, з відповідною символікою: " > ", " < ", " = ". Оцінки переводять в кількісний вид: знак " > " - 1,5, знак " < " - 0,5 і знак "=" - 1.

Таблиця 2

Порівнювані пари характеристик	Експертна оцінка				Середня оцінка порівнюваних характеристик	
	Експерт№1	Експерт№2	Експерт№3	Експерт№4	1-а	2-а
x1-x2	>	=	>	>	1,375	0,625
x1-x3	>	>	<	>	1,25	0,75
x1-x4	<	<	>	>	1	1
x1-x5	>	>	=	>	1,375	0,625
x2-x3	<	<	<	<	0,5	1,5
x2-x4	>	>	=	=	1,25	0,75
x2-x5	>	<	=	>	1,125	0,875
x3-x4	>	>	>	>	1,5	0,5
x3-x5	>	>	>	>	1,5	0,5
x4-x5	<	<	<	<	0,5	1,5

Підсумкову (середню) оцінку встановлюють як результат думки усіх експертів по наступній

формулі: $$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m} B_i}{m}$$

де Bi - значення міри вагомості характеристики, визначене кожним експертом; m - кількість експертів.

Значення k_1 і k_2 (1-а і 2-а середня оцінка) мають бути визначені дня кожної порівнюваної пари. 2-а середня оцінка визначається по формулі:

$k_2 = 2 - k_1$

На підставі даних експертного опитування заповнюють таблицю пріоритету характеристик.Коефіцієнт пріоритету характеристик визначають в такій послідовності: спочатку розраховують суму по усіх рядках і записують в графу Сума таблиці 3, потім знаходять коефіцієнт пріоритету по наступній формулі:

$$K_{пріор} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} k_i}{n \cdot (n-1)}$$

де значення $\sum_{i=1}^{m-1} k_i$ береться із стовпця Сума таблиці 3; n –кількість порівнюваних характеристик.

Таблиця 3

Індекс характеристики	x1	x2	x3	x4	x5	Визначення пріоритету		Пріоритет характеристики
						Сума	$K_{пріор}$	
x1	-	1,375	1,25	1	1,375	5	0,417	1
x2	0,625	-	0,5	1,25	1,125	3,5	0,292	3
x3	0,75	1	-	1,5	1,5	4,75	0,396	2
x4	0,625	1,5	0,75	-	0,5	3,375	0,281	4
x5	0,85	0,5	0,5	1,5	-	3,35	0,279	5

Третій етап - бальна оцінка характеристик реального об'єкту. На підставі таблиці початкових даних (таблиця 1) необхідно оцінити числове значення кожної характеристики реальних об'єктів за десятибальною шкалою. Тобто міра їх відповідності певним вимогам, наприклад вимогам виробничого процесу. Найкращим значенням привласнюємо 10 балів; близьким до найкращих: 8-9 балів, прийнятним значенням: 4-7 балів; близьким до прийнятних: 2-3 балів; незадовільним значенням: 0-1 балів.

Результати бальної оцінки характеристик об'єктів заносять в таблицю 4.

Таблиця 4

Найменування об'єкту	Інтегральна оцінка характеристик					Сума інтегральних оцінок	Пріоритет об'єкту
	x1	x2	x3	x4	x5		
ТП-Д	0,417*9	0,292*7	0,396*6	0,281*7	0,279*6	11,811	3
БПЧ-АД	0,417*1	0,292*10	0,396*5	0,281*9	0,279*5	12,991	2
АІН-АД	0,417*8	0,292*10	0,396*10	0,281*5	0,279*8	13,850	1

З таблиці 4 видно,що найраціональнішою системою електроприводу можна рахувати систему АІН-АД.

Висновки

Виконаний аналіз дозволяє визначити фактори, що впливають на вибір системи електроприводу екскаватора. Виконано вибір системи електроприводу екскаватора за

допомогою методу функціонально-вартісного аналізу, що у разі кваліфікованого застосування забезпечує підвищення рівня якості прийняття рішень.

Література

1. Резниченко А.Ф. Многокритериальный выбор оборудования на основе нечеткой меры ценности критериев/А.Ф.Резниченко, Н.П.Митяшин, Б.М.Кузьменко и др.- Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №1. Вып.1. С.54-58.
2. Кузнецова О.А.Многокритериальная оптимизация электропривода с учетом динамических и энергетических показателей/ О.А.Кузнецова, В.А.Сушкин.- Сборник материалов V международной конференции по автоматизированному электроприводу «АЭП-2007».С.139-141.,
3. Кандырин Ю.В.Многовариантный многокритериальный выбор механических приводов зеркальных антенн / Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. /Ю.В.Кандырин, А.М.Кошелев. - Волгоград, 2008.. – Т. 8. – № 5. – С. 31-36.
4. Вершинин, В. И. Выбор электроприводов типовых производственных машин и механизмов : учеб.пособие / В. И. Вершинин, А. Е. Козярук, А. С. Соловьев. - СПб. :, 2000. - 35 с.
5. Методические указания для работы студентов по лабораторному практикуму по курсам «Модели и методы оптимизации систем электроснабжения», «Автоматизированные системы управления и переработки информации» к «Энергетический менеджмент» для студентов специальностей «Электротехнические системы электроснабжения» и «Электромеханические системы автоматизации и электропривод» /Сост. В.П. Розен, АН Соловей, А.А. Белашев, - К.: НТУУ «КПИ», 1999 – 27с.
6. Микитченко А.Я. Перспективы применения в экскаваторах различных систем электропривода/А.Я.Микитченко, М.В.Могучев, А.Н.Шевченко.- Горный журнал.2006. №10. С.86-90

УДК 621.311.1: 621.926.3

Мейта О.В., Полищук В.О., ГунькоП.М.

ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена питанням формування факторного поля для об'єктів дробильно-помольного комплексу та створенні на його основі нейромережної моделі для забезпечення оптимального за електроспоживанням режиму роботи агрегатів.

Ключові слова: дробильно-помольний комплекс, факторне поле, штучні нейронні мережі, шаровий млин.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам формирования факторного поля объектов дробильно-помольного комплекса и создании на его основе нейросетевой модели для обеспечения оптимального по електропотреблению режима работы агрегатов.

Ключевые слова: дробильно-помольный комплекс, факторное поле, искусственные нейронные сети, шаровая мельница.

ABSTRACT

The article is sanctified to the questions of forming of the factor field of objects of crush-milling complex and creation on his basis artificial neural networks model for providing optimal on electro-consumption mode for aggregates

Keywords:crush-milling complex, factor field, artificial neural networks, ball mill.

Вступление.

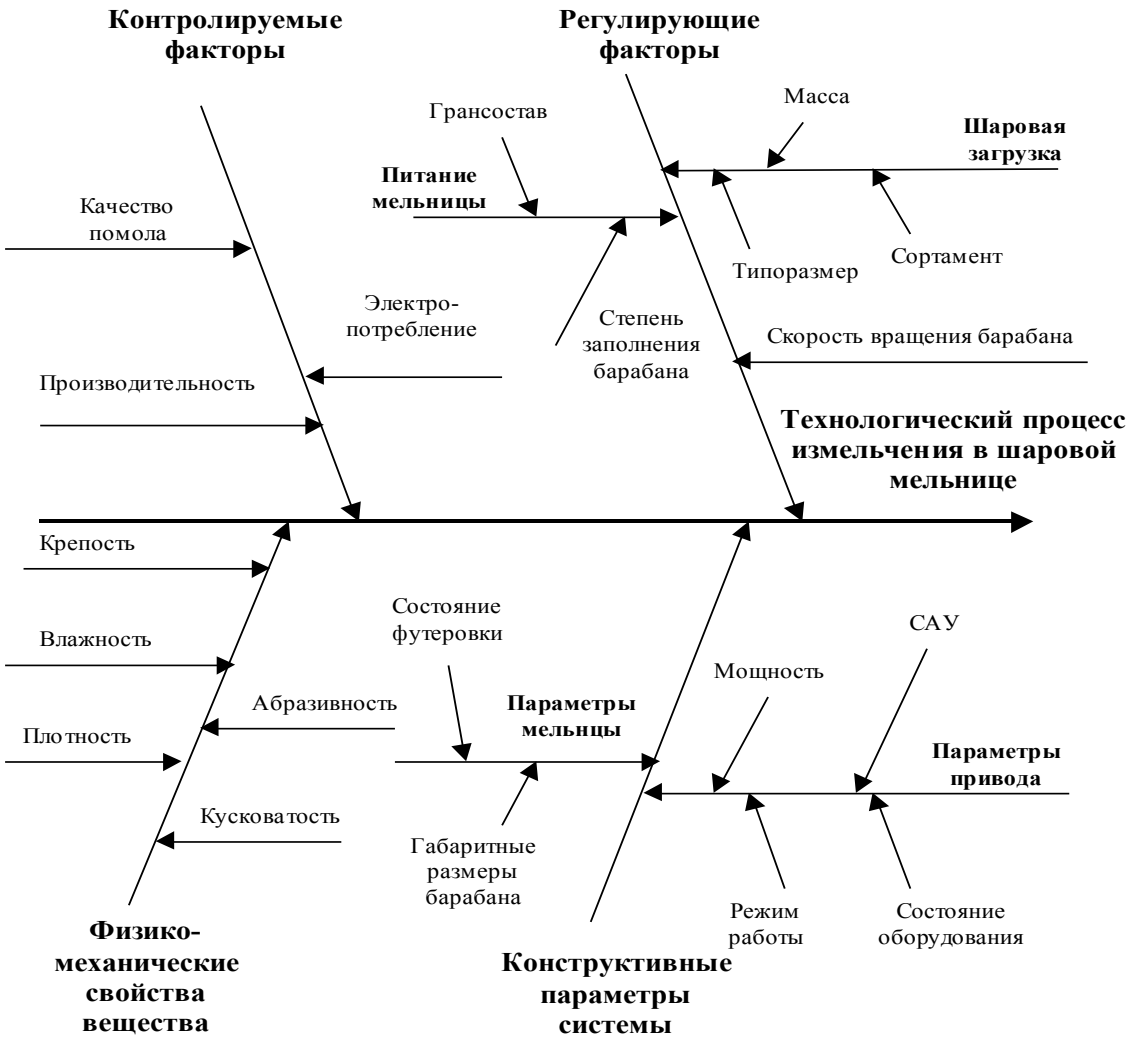
В строительной промышленности одной из наиболее энергоемких технологий является измельчение материалов. Применение систем управления помолом позволяет обеспечивать стабильность выпуска продукции и оптимизировать энергопотребление дробильно-помольного комплекса.Работа дробильно-помольного комплекса определяется несколькими десятками факторов, многие из которых носят случайный характер. Каждому сочетанию факторов соответствует определенный технико-энергетический режим работы комплекса. Чем полнее учтено при оперативном управлении факторное поле свойств системы, влияющее на характеристики режима работы, тем более эффективным будет управление и ниже энергозатраты на процессы дробления и измельчения. Однако, увеличение числа факторов, принимаемых во внимание, увеличивает сложность модели, вследствие усложнения топологии системы. Поэтому, при управлении необходимо формировать управляющее воздействие, находя компромиссное решение, учитывающее степень информативности факторного поля и его сложность.В основе построения систем оптимального управления измельчающими агрегатами лежит выявление управляемых, управляющих и возмущающих воздействий. Достоверность модели процесса будет в значительной мере зависеть от полноты знаний об изучаемом объекте.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является обеспечение энергоэфективного режима работы дробильно-помольного комплекса. Для достижения поставленной цели выполняются следующие задачи:

формирование и анализ факторного поля для определения границ множества показателей процесса измельчения, которые влияют на эффективность энергоиспользования дробильно-помольного комплекса.

разработка, реализация и обучение нейромодели элементов дробильно-помольного комплекса на основании имеющихся данных о его режиме работы



Результаты исследований.

Факторное поле шаровой мельницы может быть представлено диаграммой Исикава (рис. 1). и включает в себя такие группы величин: контролируемые, регулирующие, величины, характеризующие обрабатываемый материал и величины, характеризующие оборудование. Группа контролируемых факторов может быть представлена производительностью, тониной помола и электропотреблением. Группа величин, характеризующих оборудование наиболее статична по отношению к другим группам факторов. Сюда входят мощность привода, состояние футеровки, габаритные размеры мельницы. В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Физико-механические свойства измельчаемого вещества образуют отдельную группу факторов которые необходимо учитывать при создании системы управления измельчением, поскольку именно эти факторы определяют тот необходимый минимум энергии для выполнения технологического процесса. Сюда относят крепость, влажность, абразивность, плотность, сыпучесть, кусковатость, гранулометрический состав.

Рис. 1. Факторное поле шаровой мельницы

Такая диаграмма отображает основные структурные связи внутри системы и

позволяет наглядно представить иерархию факторов. Основные позиции на диаграмме отведены четырем группам факторов, определяющим технологический процесс. Разбиение и сортировка факторов внутри каждой из групп упрощает оценку влияния того или иного фактора. Некоторые факторы, (например, гранулометрический состав) могут быть включены в две группы, или относиться к той или иной группе в зависимости от целевой функции оптимизации процесса.

На основании приведенных данных возможно построение нейронной сети для управления дробильно-помольным комплексом. Контролируемые параметры выступают в качестве выходного вектора, а соответствующие им значения регулируемых величин, параметров оборудования и измельчаемого вещества – входного вектора. Построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов), которые по результатам энергоаудита окажутся наиболее энергоемкими и будут иметь наибольшие возможности регулирования.

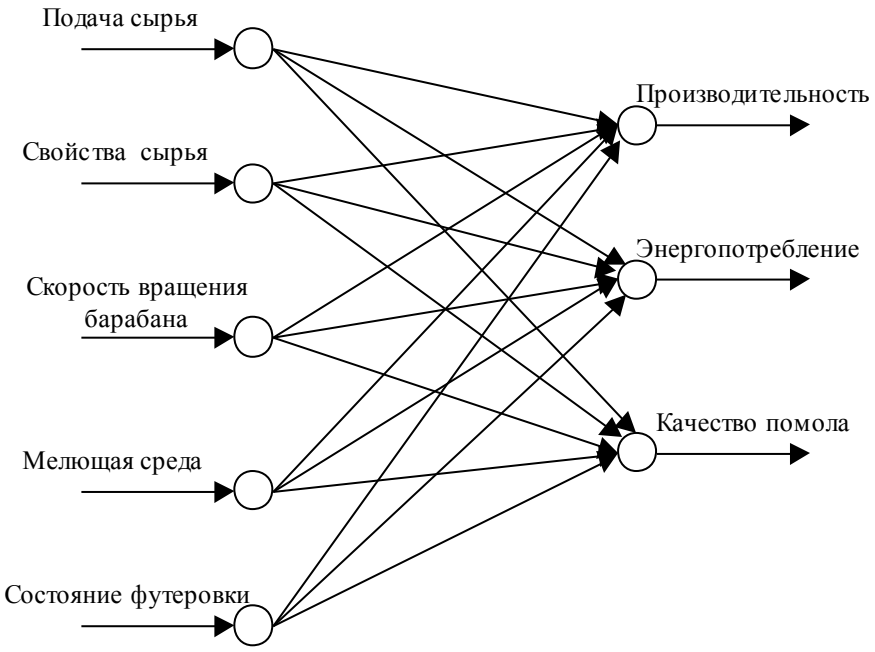


Рис.2 . Модель управления помолом.

Алгоритм решения задач с помощью искусственной нейронной сети.

1. Формализовать задачу (Определить физический смысл входного вектора).
2. Выбрать выходной вектор таким образом, чтобы его компоненты содержали полный ответ поставленной задачи.
3. Выбрать активационную функцию нейронов.
4. Выбрать число слоев и нейронов в каждом слое.
5. Задать диапазон изменения входов, выходов, весов и пороговых уровней нейронов, учитывая множество значений выбранной функции активации.
6. Присвоить начальные значения весовым коэффициентам и пороговым уровням.
7. Произвести обучение сети, т. е. подобрать параметры сети так, чтобы задача решалась наилучшим образом.Критерием обученности сети считается отображение с заданной погрешностью связи между входным и выходным векторами на обучающей и тренировочной последовательностях.

8. Произвести анализ сети. Цель анализа выявление элементов связанных в сети каналами с наибольшими весовыми коэффициентами. Элементы входного вектора, связанные с элементами выходного вектора связями с незначительными весовыми коэффициентами признаются факторами, слабо влияющими на процесс, и не учитываются. Дальнейшее построение моделей осуществляется только со значимыми факторами
9. Подать на вход сети условия задачи в виде входного вектора. Рассчитать выходной вектор, который и является формализованным решением поставленной задачи.

Нейронные сети обучаемы, предназначены для работы с большим количеством переменных, успешно осуществляют прогнозирование и могут заменить человека в принятии решений. Задача управления помолом с помощью нейронных сетей реализуется следующим образом. В данной нейронной сети входы сети будут отражать все факторы, определяющие работу измельчающего комплекса, а в качестве выходных величин параметры процесса либо те управляющие воздействия, которые их регулируют. Подобная сеть представлена на рис.2. Выходные величины могут быть заданы либо в абсолютных величинах либо в относительных величинах с учетом экспертной оценки важности составляющих целевой функции.

Реализуя вышеописанные принципы на имеющихся выборках данных с применением вышеописанных алгоритмов в среде Mathlab были обучены ряд нейронных сетей. Каждая сеть состоит из двух слоев. Число нейронов в первом слое варьируется в пределах от 2 до 75, во втором слое 2 нейрона. Активационная функция нейронов первого слоя – сигмоидальная, второго слоя – линейная. Общий вид архитектуры сети приведен на рис.3. На входы сети подаются данные о производительности и загрузке мельницы. Выходной вектор содержит информацию о удельном электропотреблении и тонине. Предварительная подготовка входных векторов данных (отсев малозначимых переменных) снижает длительность процесса обучения, что немаловажно для больших объемов данных в случае многокомпонентных систем. Выбор математического аппарата ИНС для реализации модели объясняется тем, что такие модели обеспечивают адекватность отображения нелинейных многофакторных систем, за счет учета существующих в реальном объекте взаимных связей.

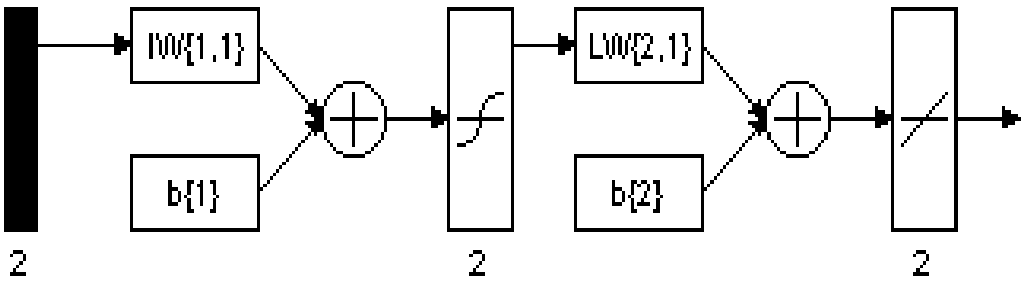


Рис. 3. Модель искусственной нейронной сети

Сравнение результатов обучения нейронных сетей при помощи разных алгоритмов обучения приведены в таблице 1

Таблица 1

Ошибка при обучении нейронных сетей

Функция обучения		Число нейронов в первом слое сети					
		2	5	10	25	50	75
Traingd	Ошибка	11.81	11.75	11.15	10.57	8.71	7.31
Trainlm	Ошибка	8.44	7.91	7.09	4.38	2.11	1.38
Traingdx	Ошибка	11.75	11.75	11.75	9.81	6.47	5.74
Traingdm	Ошибка	11.76	11.75	11.75	10.21	8.96	7.96
Traingda	Ошибка	11.74	11.77	11.78	8.35	7.58	6.41
Trainrp	Ошибка	11.75	10.16	9.58	7.99	6.11	5.32
Trainscg	Ошибка	11.75	11.75	10.35	9.28	5.83	4.89

Выводы

Проведено аналитическое исследование факторного поля объекта, выявлены факторы в наибольшей мере определяющие работу системы, что позволяет повысить уровень качества управления за счет учета факторов в мере, пропорциональной их значимости. Факторное поле комплекса включает в себя четыре группы факторов: контролируемые, регулирующие, характеристики оборудования и характеристики вещества. Наиболее значимыми факторами определены производительность, загрузка и тонина помола.

ИНС применимы к управлению измельчением и их возможности будут определяться количеством учтенных факторов, регулирующих воздействий и качеством обучающей последовательности.Нейронная сеть может решить задачу построения многофакторной модели мельницы. По имеющимся обучающим последовательностям сеть может установить значимость факторов (весовые коэффициенты), связь между ними и закономерности изменения каждого из факторов. Полученная информация дает возможность осуществлять прогнозирование и оптимизацию процесса помола по параметрам электропотребления, производительности и качества помола, а так же свести задачу многокритериальной оптимизации к однокритериальной оптимизации по обобщенному параметру, например, экономической эффективности. Целевая функция такой задачи будет изменяться в зависимости от заложенных экспертом приоритетов, что позволит решать различные задачи управления помолом с учетом их специфики.

Литература

1. Розен В.П., Мейта А.В. Некоторые вопросы информационного описания дробильно-помольного комплекса в условиях создания автоматизированной системы управления // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2002, вип. 6. - С. 95 – 100.
2. Розен В.П., Калинчик В. П., Мейта А.В. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.
3. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Бенюх Р.Э.

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В данной статье представлены некоторые способы защиты асинхронных электродвигателей. Рассмотренные способы могут быть использованы для разработки устройств защиты асинхронных электродвигателей от аварийных режимов.

Ключевые слова: защита, асинхронные электродвигатели.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Бенюх Р.Е.

Деякі способи захисту асинхронних електродвигунів

У даній статті представлені деякі способи захисту асинхронних електродвиг-гунів. Розглянуті способи можуть бути використані для розробки пристроїв захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів.

Ключові слова: захист, асинхронні електродвигуни.

Dubovik V.G., Lebedev L.N., Benyukh R.E.

Some ways to protect induction motors

This article presents some ways to protect asynchronous electric motor. The above methods can be used to develop safety devices asynchronous motors from emergency operation.

Keywords: protection, induction motors.

Для того чтобы защитить электродвигатель от повреждений при нарушении нормальных условий работы, а также своевременно отключить его от сети при неисправности, предотвратив или ограничив тем самым развитие аварии, предусматриваются средства защиты [1].

Электрические аварии электродвигателей разделяют на три типа:

- сетевые аварии, связанные с авариями в питающей электросети;
- токовые аварии, связанные с обрывом проводников в обмотках статора, ротора, или кабеля, межвитковое и междуфазное замыкание обмоток, нарушением контактов и разрушении соединений;
- аварии, связанные со снижением сопротивления изоляции вследствие ее старения, разрушения или увлажнения.

Наиболее действенным средством является электрическая защита двигателей, выполняемая в соответствии с «Правилами устройства электроустановок». В зависимости от

характера возможных повреждений и ненормальных режимов работы различают несколько основных наиболее распространенных видов электрической защиты асинхронных двигателей. Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по значению, но продолжительных тепловых перегрузках. Защита от коротких замыканий отключает двигатель при появлении в его силовой цепи или в цепи управления токов короткого замыкания. Аппараты, осуществляющие защиту от коротких замыканий - плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями действуют практически мгновенно.

Можно отметить общие недостатки традиционных защитных устройств:

— неоправданная избирательность срабатывания, не поддающаяся корректировке (срабатывание при допустимых рабочих режимах и несрабатывание при аварийных режимах);

— пусковые токи превышают номинальные в 5-10 раз, при отсутствии отстройки от процесса пуска необходимо увеличивать время реакции реле, что практически исключает функцию защиты;

— невозможность отключения заторможенного ротора за определенное минимальное время;

— отсутствие сигнала о начале перегрузки;

— несогласованность токо-временной характеристики с перегрузочной кривой двигателя;

— невозможность точного определения критического количества тепла, накопленного в электродвигателе [2].

В известных способах защиты электродвигателей контролируются разные параметры. Например, способ защиты электродвигателя, содержащий непрерывное измерение информативного параметра формирования временного ряда, информативного параметра прогнозирования его изменения, отключение электродвигателя от сети при превышении прогнозным информативным параметром предельно допустимого значения обеспечивает контроль над эквивалентными токами только с одним определенным временем усреднения, что является причиной невысокой надежности в условиях переменного характера нагрузки [3].

Для повышение надежности работы защиты, при переменном характере нагрузки,

путем контроля прогнозируемых значений эквивалентных токов с нарастающим временем усреднения в заданном временном промежутке, с дискретностью измерений и прогнозов достаточной для достижения желаемой надежности можно использовать способ защиты электродвигателя, который включает непрерывное измерение тока электродвигателя, отключение электродвигателя от сети при превышении предельно допустимой продолжительности токовой перегрузки в любой из n-контролируемых точек, а ток электродвигателя возводят в квадрат, временной ряд квадратов значений тока электродвигателя записывают в элементы памяти временного ряда заданной длины и дискретности. При поступлении очередного значения квадрата тока электродвигателя содержание ячеек памяти сдвигают на шаг, последнее значение удаляют, вновь измеренное значение квадрата тока ставят на первое место временного ряда и добавляют к содержимому всех последующих элементов памяти временного ряда. При превышении суммы квадратов тока в любом элементе памяти временного ряда предельно допустимого значения электродвигатель отключают от сети [4].

При переменном характере нагрузки можно измерять не абсолютное, а эквивалентное по тепловым потерям значение тока и расчет ведется в течении промежутка времени изменения нагрузки. Если эквивалентный ток определяют на коротких промежутках времени (секундах), то обнаружить длительные, но незначительные, 5% ... 10% токовые перегрузки невозможно, а если их определяют на длительных промежутках времени (десятках минут), то сложно вовремя отключить электродвигатель при перегрузках пусковыми токами. Таким образом, для повышения точности работы защиты требуются измерения эквивалентных токов с различным временем усреднения от Δt до $n \cdot \Delta t$, где Δt - шаг дискретизации контролируемого временного интервала перегрузки, n - количество шагов. Для этого формируется временной ряд с увеличенным временным промежутком определения эквивалентного тока при возрастании номера ячейки памяти. Далее при этом способе непрерывно измеряют и возводят в квадрат значение тока электродвигателя и после очередного измерения проводят сдвиг ячеек ряда. На первое место ставят вновь измеренное значение квадрата тока, а последнее значение ряда удаляют. Во все ячейки ряда к содержимому добавляют последнее измеренное значение квадрата тока. При этом исходят из того, что квадрат эквивалентного значения тока определяется по выражению

$$I^2_{экв} = (I^2_1\Delta t_1 + I^2_2\Delta t_2 + \ldots + I^2_n\Delta t_n)/(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots + \Delta t_n).$$

При равенстве времен $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \ldots = \Delta t_n = \Delta t$ квадраты эквивалентных токов в каждой

из n - ячеек будут равны

$$I^2_{экв1} = I^2_1,$$

$$I^2_{экв2} = (I^2_1 + I^2_2)/2,$$

$$I^2_{экв3} = (I^2_1 + I^2_2 + I^2_3)/3,$$

$$I^2_{экв\ n} = (I^2_1 + I^2_2 + \ldots + I^2_n)/n.$$

Соответственно, сумма квадратов токов в каждой из ячеек может быть определена следующим образом

$$I^2_1 = I^2_{экв1},$$

$$I^2_1 + I^2_2 = 2\, I^2_{экв2},$$

$$I^2_1 + I^2_2 + I^2_3 = 3\, I^2_{экв3},$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$I^2_1 + I^2_2 + \ldots + I^2_n = n\, I^2_{экв\ n}.$$

Следовательно, сумма значений квадратов токов в каждой ячейке соответствует произведению $I^2_{экв} \cdot n$, где n - номер ячейки памяти во временном ряду и $I^2_{экв\ n}$ - квадрат предельно допустимого тока для данной n-ой ячейки. В результате в каждой из ячеек в порядке возрастания находятся значения следующих сумм квадратов тока электродвигателя:

$$(I^2_1),\ (I^2_1 + I^2_2),\ (I^2_1 + I^2_2 + I^2_3),\ (I^2_1 + I^2_2 + \ldots + I^2_n).$$

Определение предельно допустимых значений сумм квадратов тока в каждой ячейке временного ряда проводится, исходя из установок на отключение для реле с выдержкой времени, и уменьшается по мере увеличения значения характеристической величины.

Предельно допустимое значение сумм квадратов токов в n–ой ячейке временного ряда равно:

$$\sum^{n} I^n_{экв\ n} = nI^2_{ном}\left((K / n\Delta t) + 1\right),$$

где n - порядковый номер ячейки временного ряда, $I^2_{ном}$ – значение квадрата номинального тока, K – постоянная величина, Δt – период дискретизации.

Далее сравнивают значения сумм квадратов тока в ячейках с их предельно допустимыми значениями. При выходе текущего значения за пределы хотя бы в одной ячейке отключают электродвигатель от сети. Таким образом, проводится контроль по кривой допустимой нагрузки от времени во всем временном диапазоне разрешенных токовых перегрузок. Способ обеспечивает высокую точность, как при больших, так и при малых, но

длительных перегрузках электродвигателя.

Представляет интерес также способ защиты электродвигателя, содержащий непрерывное измерение токов электродвигателя и возведения его значения в квадрат, запись сумм квадратов тока в элементы памяти исходного временного ряда заданной длины и дискретности, удаление содержимого последнего элемента и сдвиг на шаг содержимого всех ячеек памяти временного ряда при поступлении очередного значения измеренного тока и запись нового значения квадрата тока на первое место и суммирования его к содержимому всех последующих элементов памяти выходного часового ряда, отключение электродвигателя от сети пре превышении в ячейке памяти предельно допустимого значения суммы квадратов токов, которое постоянно обновляют в ячейках памяти исходного временного ряда при очередном измерении токов. Формируют дополнительные временные ряды с выбранной дискретностью и длиной, прогнозируют их изменение, при превышении любым прогнозируемым значением предельно допустимого уровня суммы квадратов токов отключают электродвигатель от сети [5].

Для повышения надежности этого способа предусмотрено прогнозирование изменений сумм квадратов тока в ячейках памяти исходного временного ряда. Для прогнозирования формируют дополнительные временные ряды, выбирают их количество и длину. Длина дополнительных временных рядов обеспечивает, необходимую для повышения надежности, точность прогнозирования, а их количество - желаемую надежность защиты. Количество этих дополнительных рядов не обязательно должна совпадать с количеством элементов памяти исходного временного ряда. Далее формируют дополнительные временные ряды с помощью данных, обновляют их в элементах памяти исходного временного ряда при каждом очередном измерении.

Выбор периода дискретизации определяет количество n контролируемых точек и желаемую точность срабатывания защиты. Команду на отключение электродвигателя от сети принимают за прогнозными значениями сумм квадратов тока. При выходе прогнозного значения за пределы максимально допустимого в любом из элементов памяти отключают электродвигатель от сети. Так контролируют ток во всем допустимом времени и диапазоне перегрузок.

Список использованных источников

1. Грундулис А. О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве. Москва, Агропромиздат, 1988 г.

2. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. – М.: Колос, 1979.

3. Патент Украины на полезную модель №39230. Дубовик В.Г, Лебедев Л. Н., Розен В.П. Способ защиты электродвигателя. МПК H02H 3/00. Бюл. №3. 10.02.2009 г.

4. Патент Украины на полезную модель №42964. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н. Способ защиты электродвигателя. МПК H02H 7/08. Бюл. № 14. 27.07.2009 г.

5. Патент Украины на полезную модель №43034. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Розен В.П. Способ защиты электродвигателя. H02H 7/08. Бюл. № 14. 27.07.2009 г.

УДК 62.83.52

О. В. Чермалих, І.Я. Майданський, О. Б. Доценко

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ БАСЕЙНУ ШКОЛИ

Розглянуті питання оптимізації режимів роботи насосних установок при підтриманні постійного рівня води в резервуарі басейну за допомогою комп'ютерних математичних моделей. В якості основного фактора оптимізації прийнято мінімум споживаної активної потужності для варіанту використання частотно-регульованого електроприводу при відсутності надлишкового напору в гідравлічній мережі. Надана кількісна порівняльна оцінка двох способів регулювання – дроселювання та частотного управління. Отримані графічні залежності та кількісні показники економії споживаної активної потужності насосним агрегатом руху води в басейні з регульованим частотним електроприводом при строгій відповідності в будь-якій робочій точці витрати та напору.

Ключові слова: оптимізація, насосна станція, частотний електропривод, моделювання, енергозбереження.

А.В. Чермалих, И.Я. Майданский, О.Б. Доценко

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ БАССЕЙНА ШКОЛЫ

Рассмотрены вопросы оптимизации режимов работы насосных установок при поддержании постоянного уровня воды в резервуаре бассейна с помощью компьютерных математических моделей. В качестве основного критерия оптимизации принят минимум потребляемой активной мощности для варианта применении частотно-регулируемого электропривода при отсутствии избыточного напора в гидравлической сети. Дана количественная сравнительная оценка двух способов регулирования – дросселирования и частотного управления. Получены графические зависимости и количественные показатели экономии потребляемой активной мощности насосным агрегатом движения воды в бассейне с регулируемым частотным электроприводом при строгом соответствии в любой рабочей точке расхода и напора насоса.

Ключевые слова: оптимизация, насосная станция, частотный электропривод, моделирование, энергосбережение.

A. Chermalykh, I. Maidansky, O. Dotsenko

SIMULATION OF ELECTRIC OPERATING MODE PUMPING STATION EQUIPMENT POOL SCHOOL

The problems of optimization of pumping units at the maintenance of a constant water level in the reservoir basin using computer mathematical models. As the main optimization criterion adopted minimum active power consumption for applications variable frequency drive in the absence of excess pressure in the hydraulic circuit . A quantitative comparative evaluation of the two methods of regulation - throttling and frequency control . Obtained a graph of quantitative indicators and active power consumption saving pumping unit movement of water in the pool with adjustable frequency electric strict accordance with any operating point of the pump flow and head.

Keywords: optimization, pumping station, the drive frequency, modeling, energy conservation.

Вступ. Завдання раціонального витрачання електроенергії в даний час досить актуальне з економічної та технічної точок зору. Одним із шляхів заощадження електричної енергії в насосних установках є ефективне регулювання режимів роботи електроприводів насосних агрегатів. Удосконалення систем управління електроприводами все в більшій мірі пов'язане із впливом електроприводу на якість технологічного процесу. Однією зі складових частин поняття якості є енергоємність технологічного процесу, котра визначається ефективністю використання електричної енергії, споживаної електроприводом. Завдання так управляти електромеханічною системою насосу, щоб даний технологічний процес при заданих його параметрах здійснювався з найменшими витратами електричної енергії [1].

Практично ця задача може розглядатися як розробка методик побудови комп’ютерних енергетичних моделей насосних систем, яка дозволяє визначати величину споживаної електричної енергії та її втрати у всіх елементах електро-механо-технологічної системи при різних режимах її роботи. Така модель дозволяє провести аналіз ефективності використання електроенергії, визначити шляхи скорочення її витрати, в тому числі на основі вдосконалення електроприводу й алгоритмів його управління. Одним із заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання електроенергії в системах водопостачання, є застосування в якості способу регулювання продуктивності насосів зміни їх швидкості обертання.

Таким чином, енергетична оптимізація системи електропривод-насос-гідравлічна мережа, базується на методі енергетичного балансу, який полягає в наступному: проводиться аналіз того, скільки енергії спожив електропривод, відповідно з цим, скільки "гідравлічної енергії" пішло на насос і на що остання енергія витратилася. Метою енергетичної оптимізації є визначення таких режимів роботи насосної станції, яким буде відповідати мінімум втрат енергії.

Визначити, чи є режим оптимальним на реальній гідравлічній системі, досить важко. Однак, маючи комп'ютерну математичну модель електрогідравлічної системи, яка дає можливість досліджувати режими роботи насосної станції, можна проаналізувати і вибрати найкращий із режимів, а потім перенести його на реальну систему. При цьому комп'ютерна модель має значні переваги особливо при дослідженні або реконструкції насосної системи. Серед них можна виділити наступні основні: дозволяє задавати різні гідравлічні параметри, які диктуються мережею; проводити облік сезонних і добових змін напірно-витратних параметрів; дає можливість змінити схему і склад насосного обладнання, відповідні зміни робочого режиму насосної станції; змінювати продуктивність насосної станції; дозволяє варіювати ступінь регулювання продуктивності насосної станції; наявність різних методів регулювання дає можливість на моделі оцінити і проаналізувати ефективність кожного з них, що особливо цінно на стадії проектування насосних станцій; наочність результатів моделювання; простота у використанні моделі; точність розрахунків на моделі досить висока і це дозволяє уникнути порушення технологічного процесу.

Таким чином, на сьогодні є два основних найбільш перспективних шляхи енергозбереження в насосних системах: використання регульованого електроприводу та оптимізація режимів роботи насосних агрегатів на основі комп'ютерної математичної моделі.

Враховуючи вище викладене, можна зробити висновок, що вирішення питань побудови комп’ютерних моделей насосних систем як єдиного технологічного комплексу: електропривод-насос-гідравлічна мережа є доцільною й актуальною задачею.

Мета та завдання дослідження. На базі математичних залежностей функціонування

насосного агрегату руху води в басейні побудувати універсальні структурні моделі для дослідження та кількісної оцінки впливу робочих параметрів установки на енергоефективність застосування частотно-регульованого електроприводу.

Основні завдання досліджень наступні:

- вивчити стан в галузі технологічних та енергозберігаючих аспектів роботи насосних станцій басейнів;
- описати сучасні підходи до оптимізації режимів водообміну води в басейні;
- сформувати пакет математичних залежностей та синтезувати модель для порівняльної кількісної оцінки методів дроселювання та частотного регулювання;
- встановити взаємозв'язок між електромеханічною частиною електропривода та механічною складовою насосу;
- розробити універсальну структурну модель насосної установки басейну для дослідження робочих параметрів, енергетичних характеристик та поведінки системи в динаміці.

Результати дослідження. Особливістю технології роботи басейнів є цілодобовий режим роботи з необхідністю підтримання сталості рівня води в резервуарі. Це пов'язано з тим, що процес повної зміни води займає значний час і фактично виконується при необхідності проведення профілактичних або ремонтних робіт. А оскільки склад води за якістю служить визначальним чинником і, одночасно, енергозберігаючі аспекти функціонування електромеханічного обладнання виходять на перший план, то представляється можливим вирішення обох завдань за рахунок використання для насосної станції басейну регульованого частотного асинхронного електроприводу. Оптимізація режиму роботи полягає в тому, що підтримуючи рівень води в резервуарі басейну постійним, приплив води можна регулювати залежно від часу доби (день/ніч) і з урахуванням завантаженості ванни (середня кількість людей, котрі одночасно знаходяться в резервуарі).

Можливість реалізації такого підходу і оцінки його ефективності розглянемо за допомогою методу структурного моделювання функціонування насосного агрегату руху води в басейні з застосуванням пакета *MATLAB – Simulink* [2, 3], який дозволяє вирішити поставлені завдання.

На першому етапі дослідження проведено порівняльний аналіз функціонування насоса з використанням фактично двох на сьогодні основних способів – дроселювання засувкою і використання частотно-регульованого електроприводу. Справа в тому, що відносно регульованого електроприводу в різних джерелах наводяться відповідні математичні залежності, що дозволяють проводити необхідні дослідження. Що стосується питання дроселювання засувкою, то найбільш часто розглядається просто наочна графічна ілюстрація, або характеристики дроселювання будуються на підставі експериментальних даних. Таким чином, на стадії проектування призвести кількісні оцінки такого способу не представляється можливим. У цьому зв'язку, в роботі зроблено спробу отримати математичний опис процесу дроселювання і змоделювати його для отримання графічної і кількісної інформації на прикладі насосного агрегату руху води в басейні.

На підставі матеріалів вивчених літературних джерел отримані необхідні математичні залежності для дослідження режиму роботи приводного двигуна насоса при дроселюванні засувкою (др) і частотно-регульованому електроприводі (чрп).

Універсальна структурна модель, що дозволяє провести спільно дослідження обох способів регулювання режиму насосної установки басейну представлена на рис. 1.

Фактично модель складається із двох основних частин.

Перша містить блок *J*, який формує вхідний сигнал моделі у вигляді лінійної зміни припливу (витрати) води в резервуар басейну від нуля до номінального значення. Елементи

*C*1…*C*8 задають необхідні константи, отримані при виборі обладнання та виконаних розрахунках.

Друга частина моделі виконана на однотипних блоках *Fcn1 ... Fcn8*, які безпосередньо реалізують необхідні математичні залежності, щодо зміни параметрів насосного агрегату у функції витрати (припливу) води в басейн *Q*.

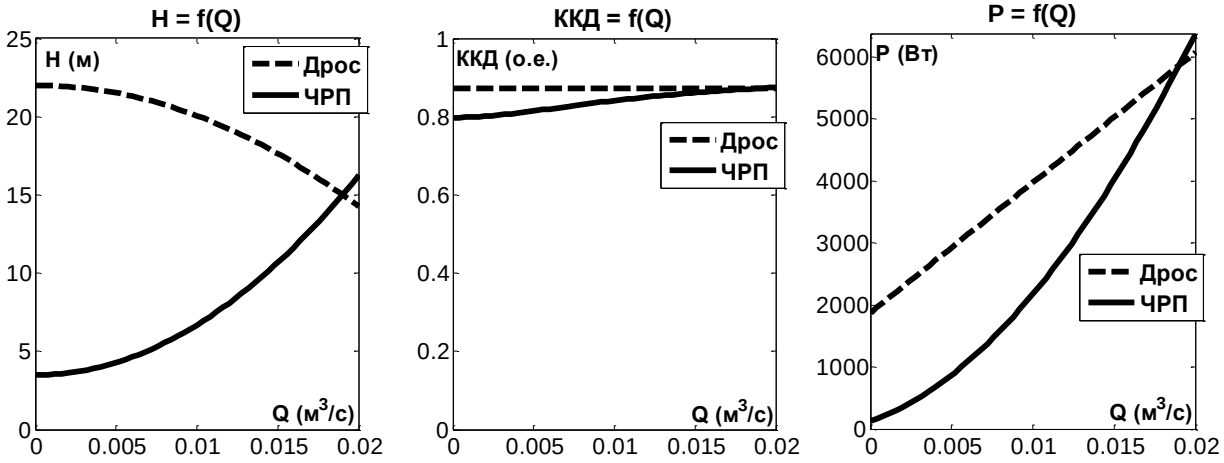
Візуалізацію фазових траєкторій змінних забезпечують спеціальні двоканальні графопобудовники *X2Y_H = f*(*Q*), *X2Y_*η *= f*(*Q*), *X2Y_P = f*(*Q*).

Графічна ілюстрація отриманих в результаті моделювання залежностей для двох способів регулювання режимів роботи насосного агрегату з дроселюванням і з частотним регулюванням показана на рис. 3.

Для кількісної оцінки отриманих результатів використовуємо визначені раніше при технологічному розрахунку насосних агрегатів басейну значення відповідних параметрів для трьох режимів роботи приводного електродвигуна, а саме:

- номінальний режим $Q_{ном}$ = 70 м^3/год, $\omega_{ном}$ = 303 рад/с;
- режим с мінімальним припливом води $Q_{мін}$ = 44 м3/год при мінімальній кутовій швидкості $\omega_{мін}$ = 212 рад/с;
- близько граничний режим в робочій зоні насоса $Q_{гр}$ = 2,65 м^3/год, $\omega_{гр}$ = 122 рад/с.

Рисунок 2 – Модель насосного агрегата при дроселюванні та частотному регулюванні



а б в

Рисунок 3 – Графічні залежності зміни параметрів насосного агрегату при дросельному та частотному регулюванні:
а – за напором, б – за ККД, в – за активною потужністю

Графіки напірної характеристики наочно підтверджують факт збільшення напору при дроселюванні зі зменшенням витрати, і, навпаки, при частотному регулюванні напір зменшується. Результати показують, що зі зменшенням витрати при дроселюванні напір збільшується на 26 % (мінімальна витрата) і 47% (гранична точка робочої зони), а при частотному регулюванні напір зменшується відповідно на 47 % (мінімальна витрата) і 77 % (гранична точка робочої зони). Таким чином, можна відзначити суттєві значення надлишкового напору при дроселюванні засувкою, і значне зменшення напору при регульованому частотному електроприводі.

Результати моделювання відносно ККД показують, що зі зменшенням витрати при дроселюванні ККД двигуна залишається постійним і рівним номінальному значенню, а при частотному регулюванні ККД двигуна дещо знижується за рахунок зменшення швидкості, проте для розглянутого технологічного комплексу басейну школи його мінімальне зниження складає всього 2,3 % від номінального, а для робочої зони насосного агрегату в цілому можливе максимальне зниження ККД складе 8 %. Таким чином, можна відзначити, що відносно коефіцієнта корисної дії обидва способи регулювання режимів роботи насосного агрегату приблизно рівноцінні.

Результати моделювання відносно споживаної активної потужності показують, що зі зменшенням витрати при дроселюванні споживана активна потужність зменшується відповідно на 2 % (номінальний режим), 20 % (мінімальна витрата) і 63 % (гранична точка робочої зони), а при частотному регулюванні зниження споживаної потужності становить 15 % (номінальний режим), 47 % (мінімальна витрата) і 96 % (гранична точка робочої зони). Таким чином можна відзначити суттєві зниження споживаної активної потужності при частотно-регульованому електроприводі в порівнянні з дроселюванням засувкою.

При розробці моделі насоса спільно з електроприводом використана методика, запропонована в [4]. Синтезована модель насоса спільно з системою електроприводу (рис. 4) виконана універсальною, що дозволяє проводити дослідження режимів роботи будь-яких насосних агрегатів, де за технологією потрібно забезпечувати підтримку постійним рівня рідини в резервуарі.

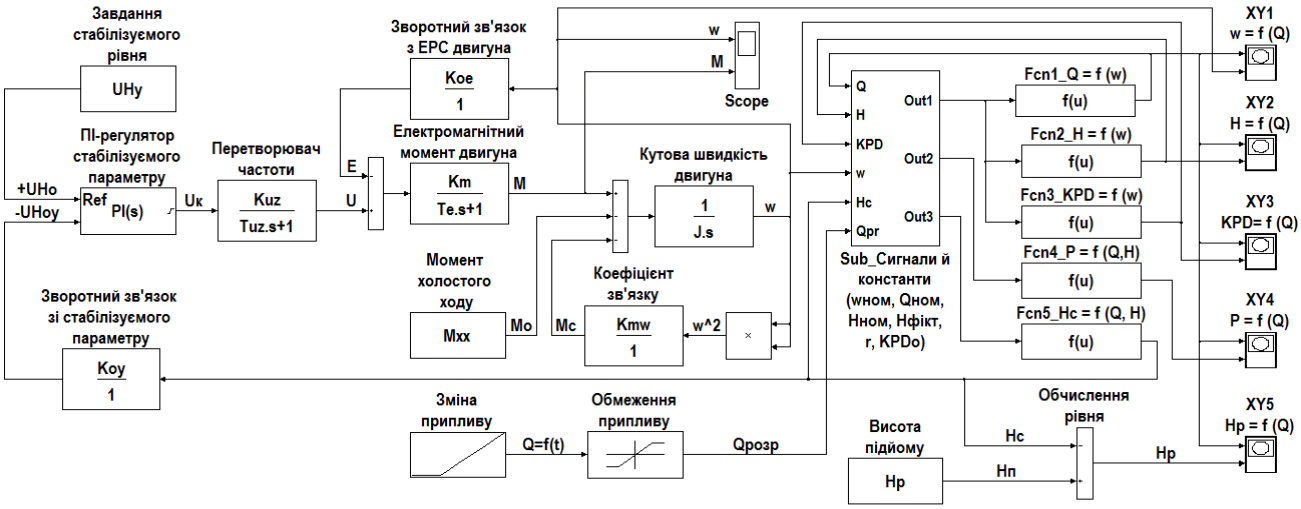


Рисунок 4 – Комп'ютерна модель насосної установки руху води в басейні

У розглянутій моделі над блоками наведено назви та призначення елементів електропривода і насоса.

Модель містить дві основні складові: структурну модель електроприводу за системою ПЧ-АД і математичну модель визначення робочих параметрів насоса.

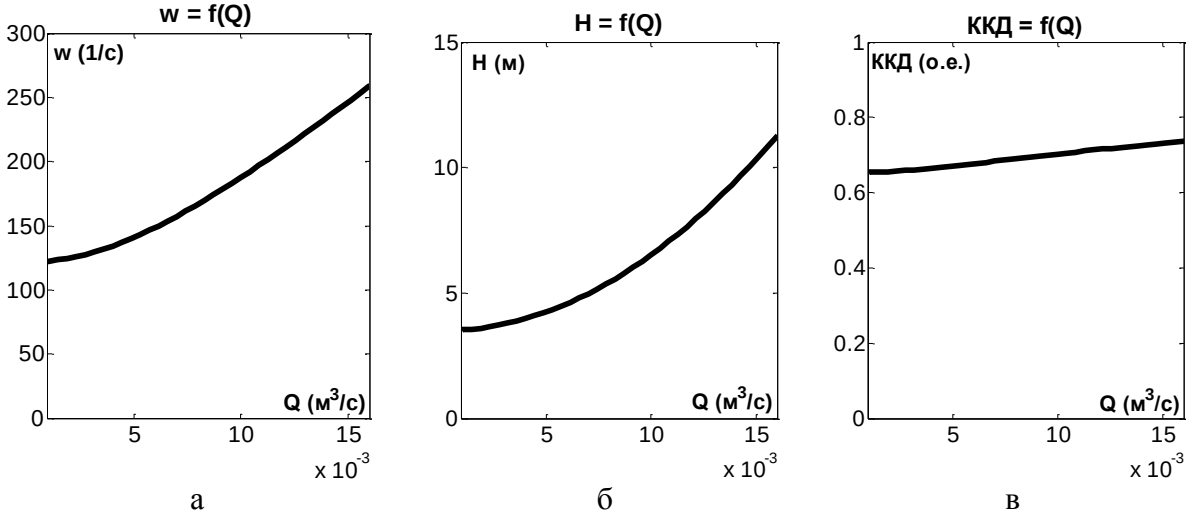
Система управління виконана за сучасною структурою з одним ПІД-регулятором технологічного параметра – стабілізуємого напору насоса.

Вентиляторний характер статичного моменту навантаження забезпечується за допомогою блоку перемноження (квадратична залежність для моменту опору від кутової швидкості) і відповідних коефіцієнтів зв'язку.

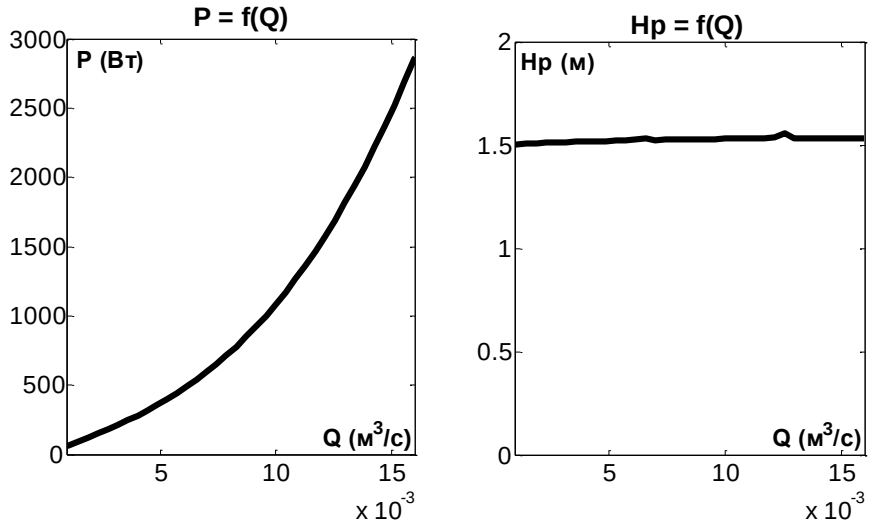
Значення необхідного рівня води в басейні $H_р$ знаходиться за допомогою суматора як різниця висоти підйому води $H_п$ і статичного напору $H_с$.

Реєстрацію робочих параметрів насосного агрегату реалізують графопобудовники *XY1*...*XY5*, які фактично за рахунок виключення часу дають можливість оцінювати поведінку системи в статиці.

На рис. 5 наведені графічні залежності кутової швидкості ω, напору H, коефіцієнта корисної дії $\eta_{нас}$, активної потужності P і рівня води $H_р$ в резервуарі басейну від витрати Q насосної установки руху води.



а б в



г д

Рисунок 5 – Графічні залежності параметрів насосного агрегату руху води від припливу свіжої води в басейн

Результати, отримані при моделюванні, підтверджують розглянуті вище теоретичні положення щодо регулювання режимів роботи насосних установок. При цьому, з точки зору енергозберігаючих аспектів для робочого режиму насосних агрегатів басейну $Q_{мін} \le Q \le Q_{розр}$ при частотному регулюванні кутової швидкості приводного двигуна, можна відзначити наступне: зниження ККД становить 2...1 % від номінального значення, а зменшення споживаної потужності лежить в межах 71...43 %.

Побудована модель дозволяє також дослідити поведінку насосної установки руху води в динаміці. Візуалізацію забезпечує віртуальний осцилограф *Scope* . Діаграми зміни швидкості і моменту двигуна для розглянутого режиму мають вигляд (рис. 6).

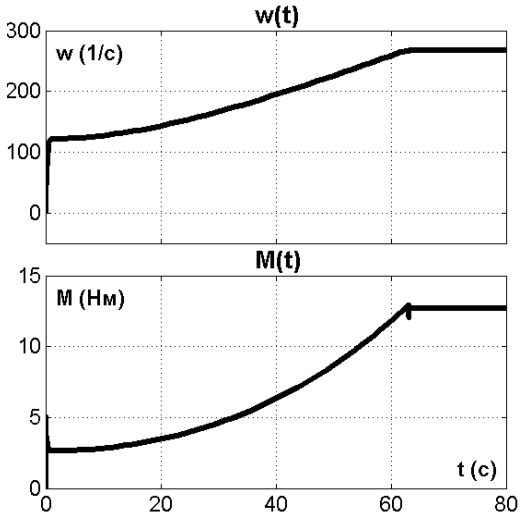


Рисунок 6 – Діаграми швидкості та моменту двигуна при стабілізації рівня рідини в резервуарі басейну

Необхідно відзначити, що для розглянутого насосного агрегату в режимі підтримки постійного рівня води в резервуарі басейну динамічні показники визначають спокійний характер поведінки системи як для швидкості, так і для моменту. Відносно великий час регулювання пояснюється інерційністю протікання перехідних процесів в насосних установках при регулюванні витрати.

Висновки. Отримані результати доводять саму можливість синтезу універсальних комп'ютерних моделей для дослідження роботи насосних установок в режимі підтримання постійного рівня води в резервуарі. Проведена кількісна порівняльна оцінка способу дроселювання та управління кутової швидкості двигуна за допомогою розробленої об'єднаної структурної моделі показала досить значний енергозберігаючий ефект при застосуванні регульованого електроприводу. Результати комп'ютерного дослідження насосного агрегату як єдиного технологічного об'єкту у вигляді електроприводу та самого насосу підтвердили теоретичні положення відносно ефективності та доцільності використання системи ПЧ-АД, яка дозволяє оптимізувати процес вибору робочої точки насосу для мінімізації споживання активної потужності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

3. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

4. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 260 с.

УДК 621.3.078.3

Закладний О.М., Прядко С.Л., Мішурняєв Д.О.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Проведено аналіз методів зниження енергоспоживання насосних систем, вибрано найбільш ефективний метод, Запропоновано моделювання системи керування.

Ключові слова: *Енергозбереження, регулювання частоти, система керування, регулятор тиску.*

Закладной А.Н., Прядко С.Л., Мишурняев Д.О.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ЖИЛИЩНОГО КОМПЛЕКСА

Проведен анализ методов снижения энергопотребления насосных систем, выбран наиболее эффективный метод, Предложено моделирование системы управления.

Ключевые слова: Энергосбережение, регулирования частоты, система управления, регулятор давления.

Zakladnyi O., Pryadko S., Mishurnyaev D.

THE INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY FOR THE PUMP STATION OF HOUSING COMPLEX

Were performed the analysis methods to reduce energy consumption of pumping systems, selected the most effective method. Proposed control system modeling.

Keywords: Energy saving, frequency control, control system, pressure regulator.

Вступ

Близько 60% витрат електроенергії в промисловості і комунальному господарстві припадає на електродвигуни. При цьому велика частина цього енергоспоживання припадає на вентилятори, компресори, насоси та на інші установки з циклічним режимом навантаження.

Швидке зростання цін на енергоносії та ресурси призвело до того, що витрати на них стали дуже великими. У результаті перед багатьма промисловими підприємствами та підприємствами ЖКГ гостро постало завдання зменшення енерго- та ресурсоємності послуг та продукції, що випускається, тобто задача енергозбереження. Аналіз витрати енергоресурсів на багатьох підприємствах показує , що вирішення цього завдання має два напрямки – організаційно - технічні заходи, спрямовані на виключення марного витрачання енергоресурсів , та впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання , що дозволяють виконати той же обсяг робіт при менших витратах енергії.

Основні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності насосного устаткування;
- Аналіз методів підвищення енергоефективності насосної системи;
- Вибір способу регулювання подачі рідини і тиску;
- Дослідження насосної станції за допомогою математичної моделі

Мета та постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності насосної станції житлового комплексу за рахунок використання раціональної системи електроприводу.

Проектована установка входить до складу насосної станції, яка забезпечує подачу холодної води у водопровідну мережу житлового комплексу.

Для задоволення потреб житлового комплексу, а також для підвищення ККД насосної

станції, на заміну старого насосу було обрано насос 1Д315-71. Порівняльні характеристики яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Типорозмір насосу та його параметри	За документацією	За іспитами
Д 320-50 -подача, м3/ч -напір, м -ККД, %	 320 50 77	 32 0 53 76
1 Д315-71 -подача, м3/ч -напір, м -ККД, %	 315 71 80	 31 5 74 82

Для вибору двигуна розрахуємо потужність на валу двигуна за формулою

$$P_{вал} = \frac{g\rho Q_{н.N}(H_{н.N}+\Delta H)}{1000\times\eta_{н.N}} = \frac{9{,}81\times1000\times0{,}087\times(71+6{,}5)}{1000\times0{,}83} = 79{,}69 \text{ кВт}$$

Тут

$g = 9{,}81$ м/с^2 – прискорення вільного падіння;

$\rho = 1000$ кг/м^3 – щільність води;

$Q_{н.N} = 0{,}087$ – номінальна продуктивність насоса, м^3/с;

$H_{н.N}$ – номінальний напір насоса, м;

$\Delta H = 6{,}5$ – кавітаційний запас, м;

$\eta_{н.N}=0{,}83$ – номінальний ККД насоса.

Отже двигуни, встановлені на насосній станції повинні мати номінальну потужність більше 79,69 кВт.

Основні причини низької ефективності насосного устаткування

Основними причинами низької ефективності насосного устаткування є:

- Невідповідність робочих характеристик обладнання і системи в цілому;
- Регулювання режиму роботи насосів шляхом дроселювання (за допомогою дросельної засувки);
- Неправильне управління системою;
- Зношування обладнання.
- Низькі енергетичні показники системи.

Дуже важливим є ККД всієї насосної станції. ККД насосної станції часто виявляється нижче ККД встановлених на ній окремих насосів. Нерідкі випадки, коли ККД насосних систем не перевищує 10-20%, в той час як ККД встановлених у них насосів становить 60-90% [1]. Для підвищення ефективності підприємства необхідно знизити вартість експлуатації насосного обладнання, підвищити його надійність і довговічність.

Основна проблема при розробці енергозберігаючих заходів пов'язана з тим , що реальні параметри мережі часто невідомі або подані не в повному обсязі і сильно відрізняються від проектних параметрів. Відмінності, як правило, пов'язані з корозією трубопроводів, зміною схем водопостачання, обсягів водоспоживання. Для визначення реальних режимів роботи насосів і параметрів мережі виникає необхідність у здійсненні замірів безпосередньо на об'єкті з використанням спеціального контрольно- вимірювального обладнання, тобто технічного аудиту гідравлічної системи.

Аналіз методів підвищення енергоефективності насосної системи

Підвищення енергоефективності є зниження енергоспоживання. Цього можна досягнути різними методами (таблиця 2).

Таблиця 2. Методи зниження енергоспоживання насосних систем

Причини високого енергоспоживання	Рекомендовані заходи щодо зниження енергоспоживання
1. Наявність в системах періодичної дії насосів, що працюють в постійному режимі незалежно від потреб системи, технологічного процесу.	- Визначення необхідності в постійній роботі насосів. - Включення і виключення насоса в ручному або автоматичному режимі.
2. Системи з мінливою у часі величиною необхідної витрати.	- Використання приводу з регульованою частотою обертання для систем з переважними втратами на тертя - Застосування насосних станцій з двома і більше паралельно встановленими насосами для систем з переважно статичної складової характеристики.
3. Знос основних елементів насоса	- Ремонт та заміна елементів насоса в разі зниження його робочих параметрів.
4. Засмічення і корозія труб.	-Очищення труб - Застосування фільтрів, сепараторів і подібної арматури для запобігання засмічення. - Заміна трубопроводів на труби з сучасних полімерних матеріалів, труби із захисним покриттям
5. Робота насоса за межами робочої зони.	Застосування електродвигунів з меншою частотою обертання або редукторів в тих випадках, коли параметри насоса значно перевершують потреби системи.

З наведених методів підвищення енергоефективності насосної системи був обраний метод використання приводу з регульованою частотою. Саме цей метод дозволяє в умовах високого ступеня зносу матеріально-технічної бази ЖКГ різко підвищити енергоефективність роботи, підвищити якість надаваних послуг і істотно знизити аварійність системи.

Вибір способу регулювання подачі рідини і тиску

Регулювання швидкості обертання дозволяє здійснювати точне і плавне регулювання. Завдяки застосуванню регулювання швидкості обертання трубопроводи і клапани отримують менше навантаження; збільшується їх термін служби, і зменшується потреба в їх обслуговуванні. Динамічні навантаження помітно знижуються при «м'якому» регулюванні порівняно з переривчастим регулюванням. Усуваються гідравлічні удари, які зношують трубопроводи та обладнання. Термін служби обладнання може навіть подвоюватися.

За своїми енергетичними характеристиками регульовані електроприводи поділяються на три основні групи:

- Приводи з втратами енергії на ковзання (електродвигуни з реостатом у ланцюзі ротора, приводи з гідравлічними і електромагнітними муфтами ковзання);
- Приводи з рекуперацією енергії ковзання (електричні , електромеханічні і асинхронні вентильні каскади.) ;
- Приводи, регульовані без втрат енергії ковзання (частотні приводи , вентильні двигуни) .

Найбільшого поширення в сучасній практиці водопостачання та водовідведення отримали наступні види регульованого електроприводу :

- Частотний з перетворювачем на транзисторних IGBT - модулях ;
- За схемою асинхронно - вентильного каскаду ;
- За схемою вентильного двигуна;
- З індукторними муфтами ковзання;
- З гідромуфтами ;
- З гідравлічними варіаторами .

На відміну від прямого пуску, електродвигун насоса з регулюванням від перетворювача частоти отримує з мережі лише частину пускового струму. Статичне навантаження на магістраль зменшується, так як система не працює постійно при високому тиску. Тиск підтримується на заданному рівні. Найбільш простим, дешевим і надійним електричним двигуном є асинхронний короткозамкнутий двигун, тому його використання в регульованому електроприводі представляє особливий інтерес. Частотний спосіб регулювання швидкості асинхронних двигунів є самим економічним в порівнянні з іншими відомими способами та виконує регулювання на необхідному рівні.

Застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода дозволяє вирішити ряд технологічних завдань (знизити або повністю ліквідувати гідравлічні удари, забезпечити необхідний рівень напору в системі) і одночасно за допомогою системи автоматичного управління (САУ) швидкістю двигуна з підтримання сталого напору істотно знизити енергоспоживання і витрати ресурсів [2].

Зважаючи на переваги приводу за системою ПЧ-АД було обрано саме цей спосіб регулювання

Дослідження насосної станції за допомогою математичної моделі

Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель насосної установки, що дозволяє проводити моделювання з урахуванням і без урахування обмежень регулятора тиску і з можливістю подачі на вхід системи завдання різного виду [4].

Проектована система являє собою одноконтурну систему управління, з одним зовнішнім контуром - контуром тиску. Структурна схема проектованої системи представлена на (Рисунок 1)

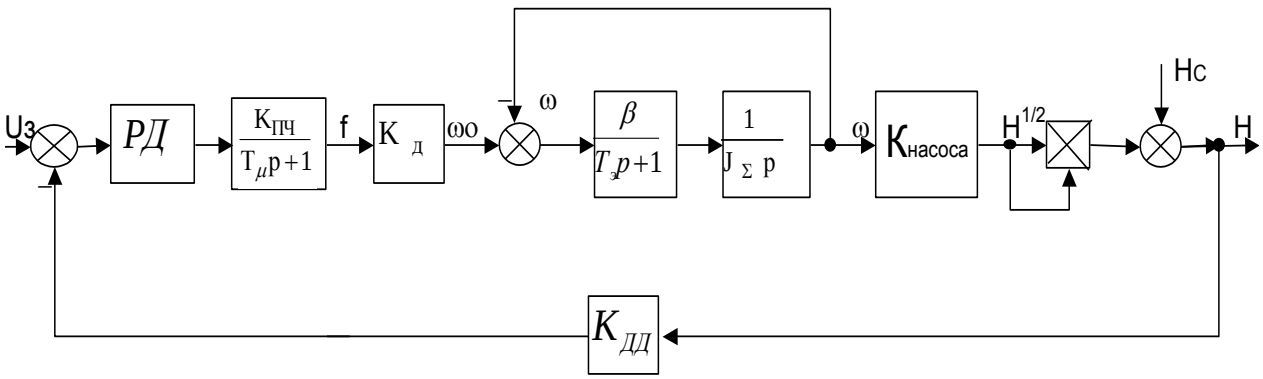


Рис. 1- Структурна схема електромеханічної системи.

Де, РД – регулятор тиску;
КД – коефіцієнт передачі двигуна.

$$K_Д = \frac{2\pi}{p}$$

$K_{ДД}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку по тиску

$$K_{ДД} = \frac{U_З}{H_Н}$$

Застосування регульованого електроприводу дозволяє значно підвищити ефективність технологічних процесів у різних галузях виробництва. В даний час в різних областях промисловості, системах тепло та водопостачання, що працюють з постійним або повільно мінливих моментом навантаження, найбільше поширення отримав асинхронний електропривод, що споживає більше половини всієї вироблюваної електроенергії.

Для дослідження динамічних режимів роботи АД, використана математична модель в осях α-β [3]. Система диференціальних рівнянь електричного рівноваги має такий вигляд:

$$\frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} = U_m \sin(\omega t) - K_{s1}\Psi_{s\alpha} + K_{s2}\Psi_{r\alpha}$$

$$\frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} = U_m \cos(\omega t) - K_{s1}\Psi_{s\beta} + K_{s2}\Psi_{r\beta}$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = -K_{r1}\Psi_{r\alpha} + K_{r2}\Psi_{s\alpha} + \omega_r\Psi_{r\beta}$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = -K_{r1}\Psi_{r\beta} + K_{r2}\Psi_{s\beta} + \omega_r\Psi_{r\alpha}$$

$$K_{s1} = \frac{r_s L_r}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{s2} = \frac{r_s M}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{r1} = \frac{r_r L_s}{L_s L_r - M^2}$$

$$K_{r2} = \frac{r_r M}{L_s L_r - M^2}$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = M_Э \frac{p}{J} - 0.01 M_н \frac{\omega_r}{\omega_{rн}} \frac{p}{J} - M_c \frac{p}{J}$$

$$M_Э = \frac{3}{2}\frac{pM}{L_s L_r - M^2}(\Psi_{s\alpha}\Psi_{r\beta} - \Psi_{s\beta}\Psi_{r\alpha})$$

На основі цих рівнянь, були створені моделі ПЧ-АД в пакеті Simulink.

Диференціальне рівняння, що описує насос має вигляд:

$$\frac{m}{\rho g}\dot{Q} + s^2(a + a_ф)Q^2 = s^2\frac{H_{0н}}{\omega_н^2}\omega^2 + s^2 H_{ст}$$

Де m – маса води в насосі і трубопроводах;

g – прискорення вільного падіння;

ρ - густина рідини.

Згідно даному рівнянню можна скласти наступну схему.

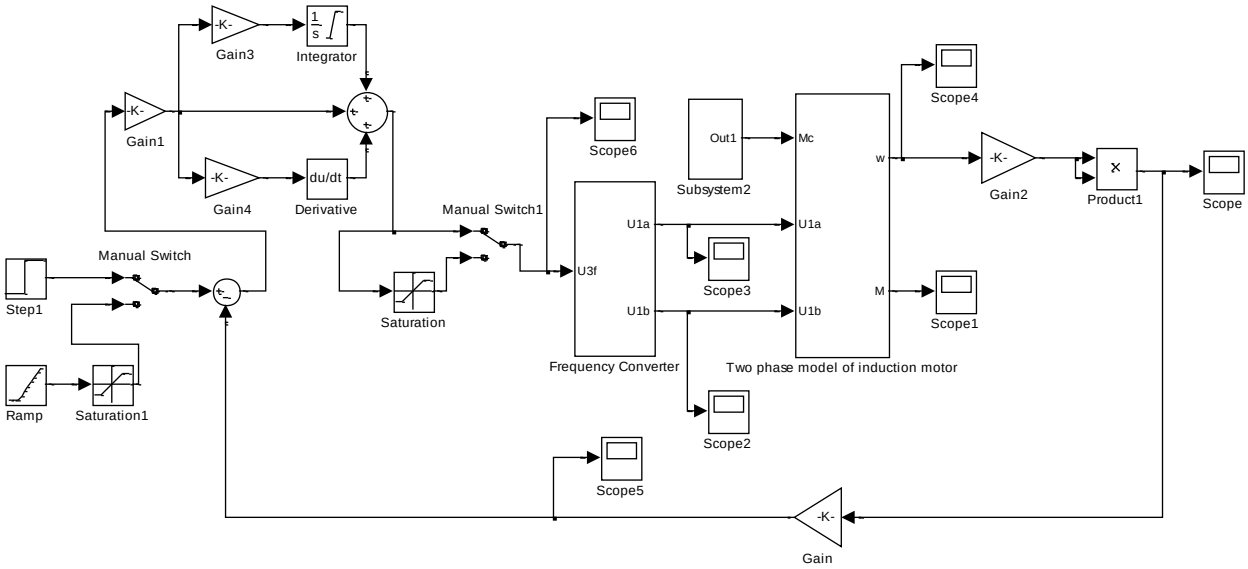


Рис. 2 - Схема моделі насосної установки

Регулятор тиску реалізуємо за допомогою програмного універсального ПІД-регулятора, вбудованого в перетворювач частоти. Перевіркою результатів синтезу регулятора буде моделювання системи в пакеті MATLAB.

Для моделювання системи управління насосної установки скористаємося додатком SIMULINK пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB 7.1 [4].

Проаналізуємо дану систему в наступних режимах без обмеження регулятора тиску і з обмеженням:

- Пуск стрибком на холостому ходу ($M_C = 0$);
- Наброс навантаження, рівний $M_C = 0{,}9 \cdot M_H = 0.9 \cdot 707 = 636{,}3$ Н·м
- Плавний пуск від задатчика інтенсивності та наброс навантаження;

У даній праці прийнято, що вплив гидромережі на АД враховується ступінчастим характером наброса M_C. Так як параметри електромережі залежать від конкретної конфігурації і зазвичай забезпечують плавне наростання M_C, то цей випадок є найбільш важким.

Облік обмеження здійснюється за допомогою блоку Saturation. Тобто для випадку з обмеженням рівень обмеження виставляється на рівень 20.

Перемикачем Manual Switch-1 комутується режим: вхідний сигнал: стрибок - задатчик інтенсивності (лінійне наростання сигналу до заданого рівня); ManualSwitch-2 включає режим обмеження; ManualSwitch-3 здійснює накид навантаження.

Аналіз динамічних режимів без врахування обмежень

Графік зміни тиску, при реакції на вхідний стрибок без врахування обмежень на виході регулятора тиску наведено на рисунку 3.

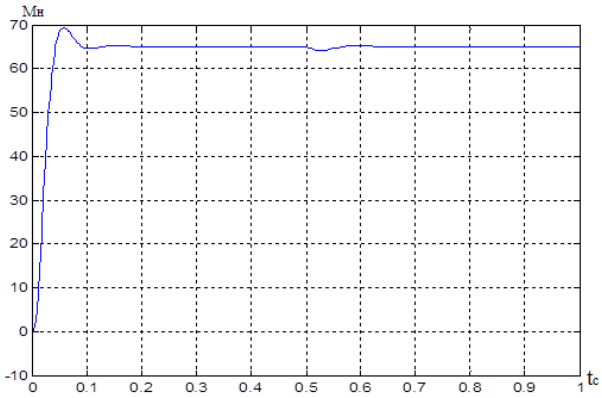


Рис. 3

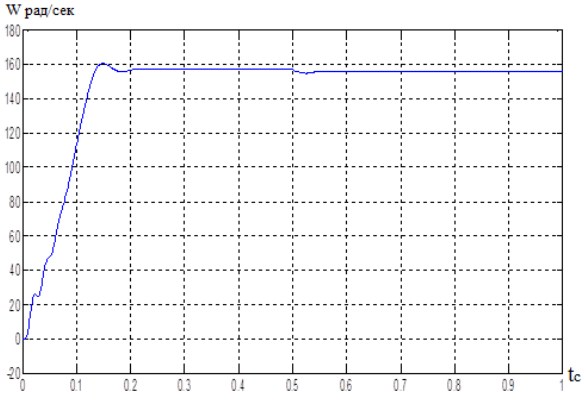


Рис. 4

На рисунку 4 зображено графік перехідного процесу зміни швидкості, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і наброс навантаження.

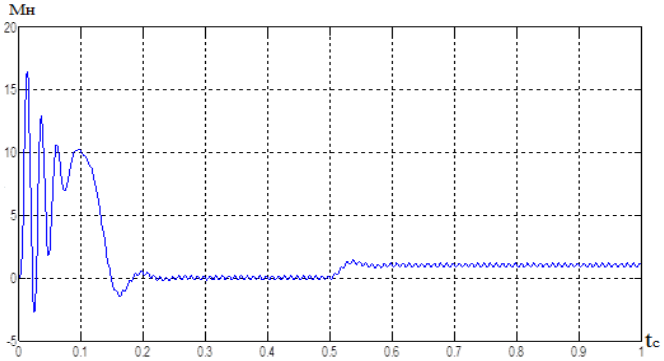


Рис. 5

На рисунку 5 зображено графік перехідного процесу зміни моменту, при реакції на стрибок сигналу завдання без врахування обмежень на виході регулятора тиску і наброс навантаження.

Висновки

Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання було вибрано метод регулювання частоти обертання робочого колеса насосної станції. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Основні показники якості перехідних процесів говорять про правильність синтезу регулятора напору.

Застосування регульованого електроприводу за системою ПЧ - АД дозволяє значно підвищити енергоефективність насосної станції підкачування води житлового комплексу, та значною мірою уникнути непродуктивного використання енергоресурсів.

Література

1. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «ОсвітаУкраїни», 2009.

2. Лезонов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках.: Видавництво «Энергоатомиздат»,1991

3. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.

Закладний О. О., Прядко С.Л. Дудко К. С.

Підвищення рівня енергоефективності ліфтової установки з синхронним електроприводом

Розглянуто енергоефективні рішення для ліфтових установок. Проведено аналіз існуючих систем електроприводу ліфтових установок. Розроблено математичну модель вентильного двигуна з постійними магнітами для ліфтової установки.

Ключові слова: енергоефективність, вентильний двигун, ліфтова установка.

Закладной О. А., Прядко С.Л. Дудко Е. С.

Повышение уровня энергоэффективности лифтовой установки с синхронным электроприводом

Рассмотрены энергоэффективные решения для лифтовых установок. Проведен анализ существующих систем электропривода лифтовых установок. Разработана математическая модель вентильного двигателя с постоянными магнитами для лифтовой установки.

Ключевые слова: энергоэффективность, вентильный двигатель, лифтовая установка.

Zakladnyi O.O, Pryadko S., Dudko K.

IMPROVING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF ELEVATOR WITH SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

Considered energy-efficient solutions for lift installations. Analyzed of existing systems of the electric lift installations. Developed a mathematical model of the valve motor with permanent magnets for the elevator installation.

Keywords: energy efficiency, permanent magnet synchronous motor, elevator installation.

Вступ. Електроенергія, що споживається ліфтами, займає в спільному показнику по будівлі значну частку. За приблизними оцінками, виконаними CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers - професіональна британська організація інженерів комунальних послуг), в офісних будівлях електроспоживання вертикального транспорту складає в середньому 11%. Ліфти в житлових будівлях експлуатуються більше інтенсивно, і їх електроспоживання може досягати 50% від загального показника по будівлі. У зв'язку з цим, зменшення енергоспоживання в даній сфері на сьогодні набуває особливої актуальності.

Одним з основних заходів, до яких вдаються для скорочення енергоспоживання систем вертикального транспорту, є використання високоефективних приводів ліфтів. Це має особливе значення для висотних будівель, оскільки із збільшенням швидкості руху ліфтових кабін зростає і необхідна потужність приводу.

Основним типом застосовуваного електроприводу ліфта є редукторний з двошвидкісним асинхронним двигуном. Такий електропривод широко використовується до теперішнього часу, проте має ряд недоліків техніко-економічного характеру. Виробництво редукторів - трудомісткий процес, що вимагає наявності складного обладнання. Редуктори потребують регулярного технічному обслуговуванні (заміні масла, ущільнювальних сальників і т. д.). Сили тертя в редукторі обумовлюють втрати енергії , що знижує енергетичні показники електроприводу.

Сучасним актуальним напрямом розвитку електромеханіки є перехід від некерованих до керованих автоматизованих систем, що забезпечують значне поліпшення динамічних та енергетичних показників електроприводу та механізму. У галузі пасажирських ліфтів це заміна некерованих асинхронних електроприводів з двошвидкісними двигунами частотно керованими електроприводами з одношвидкісними двигунами, а також впровадження

безредукторних лебідок з низькошвидкісними приводними двигунами. Головними техніко-економічними показниками при обґрунтуванні технічних рішень з різних систем електроприводу ліфтів є здатність забезпечити оптимальні комфортні умови перевезення пасажирів, енергетична ефективність та масо-габаритні показники.

Перспективним у підйомно-транспортному обладнанні є використання синхронних (вентильних) двигунів з збудженням від постійних магнітів (ВДПМ), які володіють кращими регулювальними й енергетичними характеристиками в порівнянні з АД.

Мета роботи. Підвищення рівня енергоефективності ліфтової установки з синхронним електроприводом.

Матеріали та результати дослідження. Основні вимоги , яким повинні задовольняти приводи ліфтів , наступні:

- забезпечення мінімального часу перехідних процесів при обмежених прискореннях (порядку 1 ... 5 м/с2) і похідних прискорень - ривку, який залежно від номінальної швидкості кабіни для пасажирських ліфтів допустимо в межах 3 ... 10 м/с3;
- швидкість і прискорення не повинні залежати від завантаження ліфта;
- повинна бути забезпечена точність зупинки кабіни на заданій відмітці;
- для забезпечення небезпеки обслуговування напруга силових електричних ланцюгів в машинних приміщеннях не повинна перевищувати 660 В, в кабіні, шахті і на поверхових майданчиках - 380 В змінного струму і 220 В постійного струму;
- напруга в ланцюгах керування, освітлення і сигналізації у всіх приміщеннях повинна бути не вище 220 В;
- напруга аварійного освітлення і переносних ламп не повинна перевищувати 36 В.

Шляхи підвищення енергоефективності ліфтових установок.

Економія може бути досягнута за рахунок використання в конструкції ліфта безредукторного приводу, приводу дверей кабіни, частотного перетворювача, а також силових ліній і запобіжників з більш низькою потужністю.

Однією з важливих складових енергозбереження є оснащення підйомного обладнання пристроями регенерації – з їх допомогою можна досягти економії споживаної енергії до 20%. Наприклад, при гальмуванні кабіни вивільняється певна кількість енергії, яка згодом перетворюється в електричний струм завдяки безредукторному приводу.

Деякі виробники також використовують двері з синхронним двигуном на постійних магнітах і високоефективний планетарний редуктор. Крім того, сучасні ліфти оснащують інтелектуальною системою контролю, яка дозволяє повністю відключити привід у той час, коли ліфт не використовується пасажирами (наприклад, в нічний час). При цьому ліфт знову почне роботу практично миттєво: запуск відбувається протягом двох секунд, без пробного циклу.

Скоротити витрати енергії можна за рахунок освітлення кабіни ліфта, для цього потрібно лише замінити люмінесцентні і галогенні лампочки на світлодіоди. При цьому вони забезпечують оптимальне освітлення кабіни, мають більш довгий термін служби і споживають всього 18 Вт в кабіні ліфта вантажопідйомністю 630 кг.

Деякі розробники оснащують ліфтове обладнання спеціальним регулятором швидкості, який відповідає за живлення одношвидкісного двигуна головного приводу (лебідки). Подібна міра допоможе знизити споживання електрики приблизно на 34 %.

Більш радикальним кроком на шляху підвищення енергоефективності є відмова від механічного редуктора. Це значно підвищує загальний ККД механізму і забезпечує відносне перерозподілення інерційних мас механізму і електроприводу у бік зменшення впливу останнього, що також підвищує ефективність електромеханічного перетворення енергії в перехідних процесах пуску і гальмування. Головною проблемою тут є практична відсутність

тихохідних, від 100 до 150 об / хв, приводних двигунів в діапазоні потужностей до 20 кВт. В останні роки з'явилися теоретичні розробки та експериментальні зразки таких двигунів, з досить привабливими параметрами по ККД, масі і габаритам, і, що важливо, з безпрецедентно малими моментами інерції ротора.

Розглянемо енергетичну ефективність різних систем електроприводу на прикладі пасажирського ліфта вантажопідйомністю 1000 кг та швидкістю 1,6 м/с. Для аналіза було обрано нерегульований електропривод з двохшвидкісним АД, частотно-регульований ЕП та вентильний двигун. Оцінка енергетичної ефективності проводилася для сталого режиму підйому номінального вантажу з номінальною швидкістю і розгону до номінальної швидкості у бік підйому кабіни з номінальним вантажем. У всіх випадках за базову величину приймалася корисна енергія з підйому номінального вантажу і енергія, що витрачається для розгону номінального вантажу. Уточнення енергетичної ефективності вироблялось за результатами розрахунків, виконаних з урахуванням параметрів пасажиропотоку при круговому циклі поїздки в ранковому і вечірньому режимах роботи ліфта. Результати у табл. 1

Таблиця 1 - Енергетична ефективність пасажирського ліфта з різними типами електроприводу і механічної передачі

Тип механічної передачі	Редуктор і поліспаст			Поліспаст	
Тип електропривода	Бистрохідний			Тихохідний	
	Двухшв. АД	ПЧ-АД	ВД	ПЧ-АД	ВД
Частота обертання двигуна, об/хв	1500	1500	1500	160	150
Потужність двигуна, кВт	17	18,5	16	12	16,6
ККД двигуна, %	86	90	90	81	90
Маса двигуна, кг	360	165	99	836	300
Момент інерції двигуна, кгм^2	0,64	0,18	0,033	1,7	0,79
Сталий режим переміщення номінального вантажу					
ККД ліфта, %	61,3	64,1	64,1	77,1	85,7
Перехідний процес пуску ліфта з номінальним вантажем					
ККД ліфта, %	15,8	31,6	35,5	45,5	51,9

Бачимо, що у всіх режимах роботи ліфта безредукторний регульований електропривод має значно кращу (в 3-4 рази) енергетичну ефективність порівняно з редукторною системою. Серед безредукторних систем слід виділити вентильний двигун, так як він забезпечує значну економію електричної енергії та має більший ККД в порівнянні з іншими системами електроприводу.

Вентильний двигун. У самому загальному випадку вентильним можна назвати будь-який електропривод, у якому регулювання режиму роботи електродвигуна виробляється за допомогою керованих вентильних (напівпровідникових) перетворювачів електричної енергії: випрямляча, імпульсного регулятора постійного струму, перетворювача частоти. У більше вузькому, загальноприйнятому змісті вентильний електропривод (ВЕП) або вентильний двигун (ВД) являє собою електромеханічну систему, у якій об'єднані синхронна електрична машина, як правило, з збудженням від постійних магнітів (СДПМ), електронний комутатор (інвертор), за допомогою якого здійснюється живлення обмоток якоря машини, і система автоматичного керування інвертором, укомплектована необхідними вимірювальними

пристроями (датчиками).

Існують наступні способи керування комутатором ВД .

Перший, найбільш простий, спосіб керування полягає у підтриманні постійного значення кута випередження β_0 = const (β_0 – кут між струмом і ЕРС холостого ходу машини). Джерелом напруги синхронізації є ДПР.

У другому способі керування підтримується сталим кут випередження β = const (β – кут між струмом і напругою машини). Джерелом напруги синхронізації є датчик напруги статора (ДНС).

Третій спосіб полягає у підтриманні постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні

Останній метод керування потребує наявності датчиків кутів комутації і навантаження, а також системи імпульсно-фазового керування (СІФК), синхронізованої від ДПР, або ДНС.

Третій спосіб є найбільш енергоефективним, про що свідчать результати розрахунків .

На рисунку зображена структурна схема вентильного двигуна

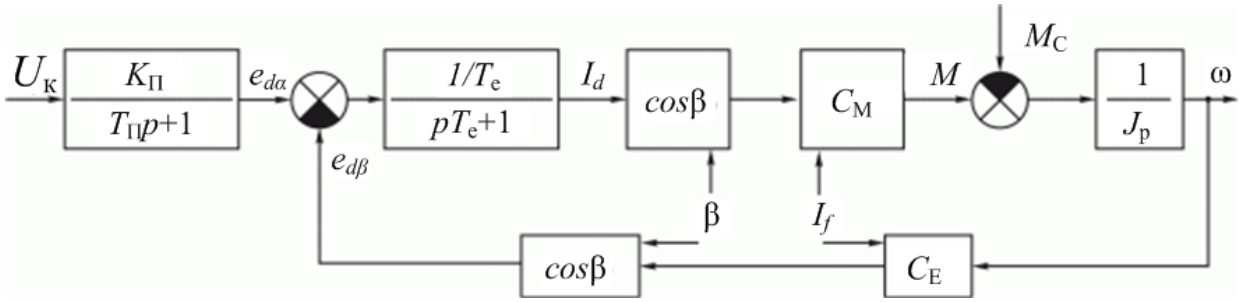


Рис. 1 – структурна схема ВД

Управління ВД у пропонованій моделі реалізовано за принципом підлеглого регулювання. Система розбивається на два контури – швидкості та струму. Кожен контур містить свій регулятор і негативний зв'язок по контрольованій змінної. На вхід системи подається сигнал з задатчика інтенсивності (ЗІ). В системі MATLAB модель ВД має вигляд (рис. 2).

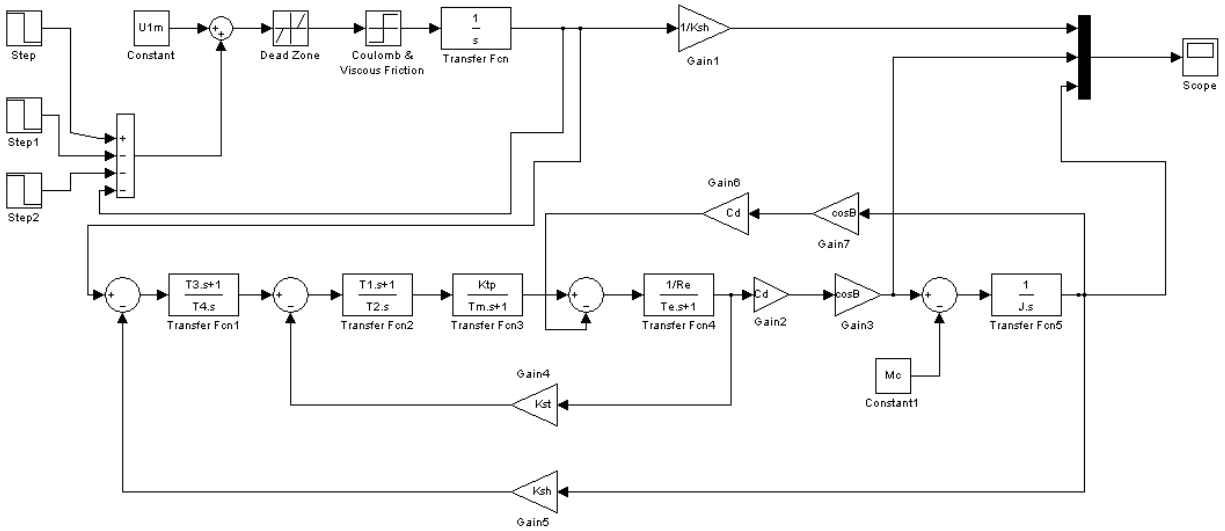


Рис. 2 – схема моделі вентильного двигуна

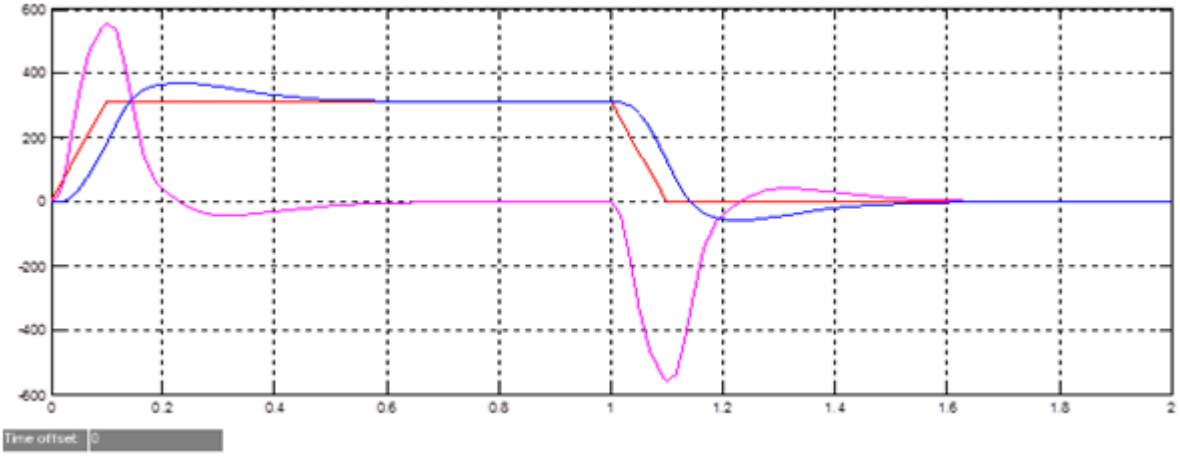
В таблиці 1 приведені позначення основних елементів схеми.

Таблиця 1 –позначення основних елементів схеми

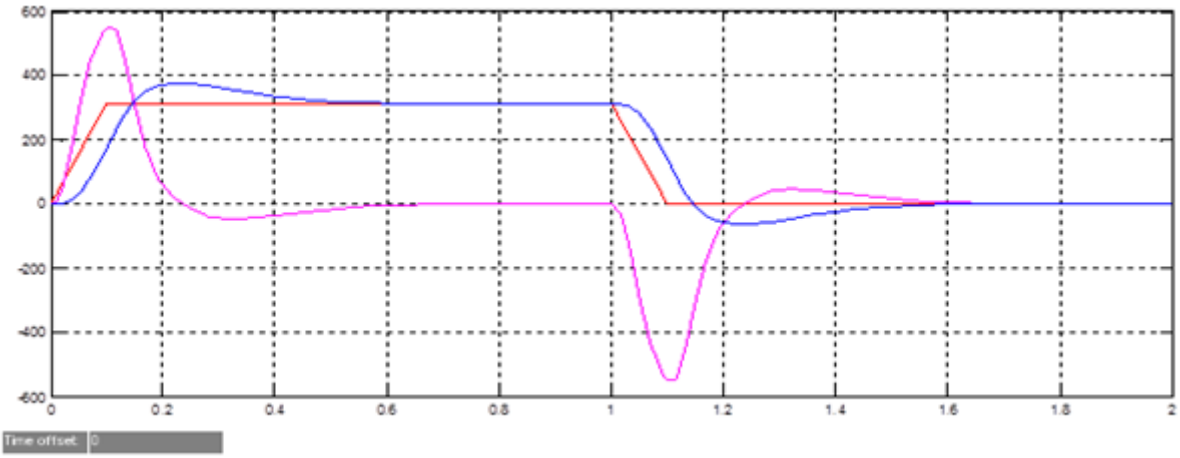
Позначення	Призначення
$U_{1m} = 10$ В; $K_1 = \frac{\varepsilon_{max}}{\omega_{max}}$; $\varepsilon_{max} = \frac{(0{,}8 \dots 0{,}9)M_{max} - M_{\text{с}}}{J}$;	Задатчик інтенсивності
$K_{\text{с}} = \frac{U_{\text{ос}\,max}}{I_{max}}$;	Коефіцієнт передачі за струмом
$W_{\text{рс}}(p) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2 \cdot p}$; $T_1 = T_{\text{е}}$; $T_2 = \frac{a_{\text{с}} \cdot T_\mu \cdot K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{с}}}{R_{\text{е}}}$	Передатна функція регулятора струму
$W_{\text{рш}}(p) = \frac{T_3 \cdot p + 1}{T_4 \cdot p}$ $T_3 = a_{\text{с}} \cdot a_{\text{ш}} \cdot b_{\text{ш}} \cdot T_\mu$; $T_4 = \frac{T_3}{K_{\text{рш}}}$ $K_{\text{рш}} = \frac{K_{\text{с}} \cdot J}{a_{\text{с}} \cdot a_{\text{ш}} \cdot T_\mu \cdot C_{\text{д}} \cdot K_{\text{с}}}$	Передатна функція регулятора швидкості
$1/K_S$, 0,01	Масштабний коефіцієнт

Для прикладу було обрано двигун Lenze MCS19P30
Номінальні дані двигуна наступні:
U = 380 В;
P = 10 кВт;
n = 3000 об/хв.;
$I_{\text{Н}}$ = 19 А;
f = 50Гц;
$M_{\text{ном}}$ = 32 Н·м;
J = 160 кг·м^2.

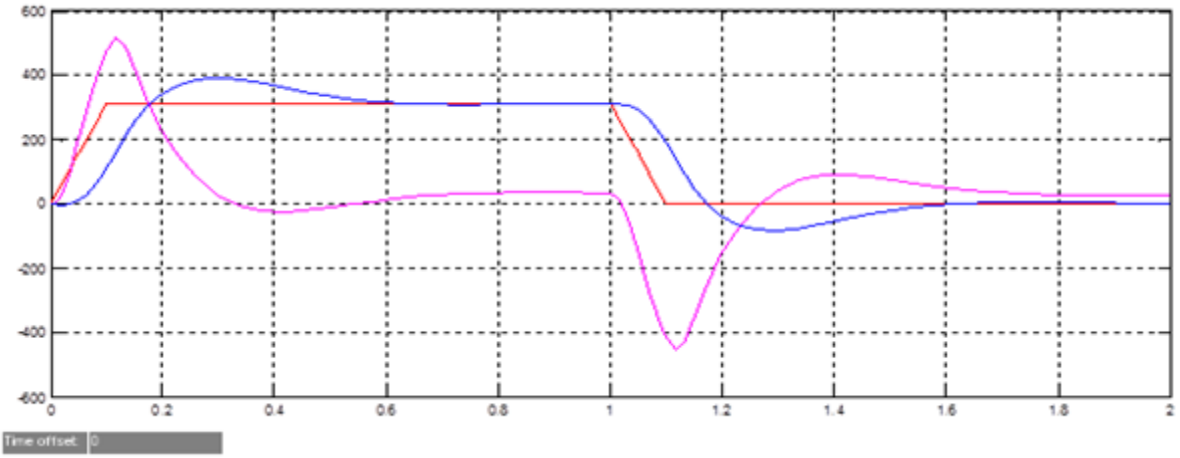
На рисунку 3.11 представлені діаграми заданої й дійсної швидкості, і моменту ВД відповідно: а)β=0°, б)β=30°, в) β=60° при $M_{\text{с}}$=$M_{\text{н}}$ и $U_{\text{з}}$=100%; г) β=60° при $M_{\text{с}}$=$M_{\text{н}}$ и $U_{\text{з}}$=30%


600
400
200
0
-200
-400
-600
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
Time offset: 0

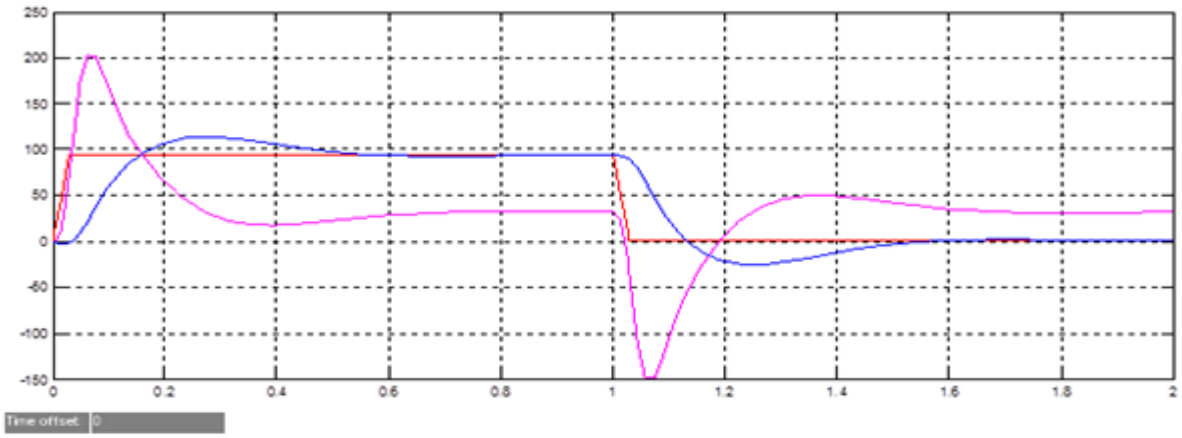
а


600
400
200
0
-200
-400
-600
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
Time offset: 0

б


600
400
200
0
-200
-400
-600
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
Time offset: 0

в



г

Висновки. 1. Розглянуто основні шляхи енергозбереження та методи підвищення енергоефективності ліфтових установок. Визначено, що одним з основних заходів, до яких вдаються для скорочення енергоспоживання систем вертикального транспорту, є перехід до регульованого електропривода

2.Досліджено вентильний двигун з постійними магнітами за допомогою віртуальної моделі в середовищі MATLAB Simulink

3.Виходячи з результатів моделювання, робимо висновок, вентильний двигун має більший ККД та більшу перевантажувальну здатність, тобто є більш енергоефективним.

Література

1. Закладний О.М., Закладний О.О. Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном:Монографія /. – К.: «Либра», 2012.
2. А.И. Хитров, А.А. Хитров «Перспективы применения энергосберегающих решенийв электроприводах главного движения лифта», // Журнал "Труды Псковского политехнического института" 2011. –№ 14.3, с 367-376.
3. Андрющенко О.А., Булгар В.В., Семенюк В.Ф. «Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей», // «Подъемные сооружения. Специальная техника» 2010 г. - №2, с 23-28.

УДК 62-83-52.003(082)
Закладний О.О, Сівцова Т.О.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧІВ З РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Анотація

В даній роботі наведено заходи та засоби підвищення енергетичної ефективності електронавантажувачів. Проведено аналіз та порівняння різних типів електроприводів тягових двигунів (постійного струму, асинхронний, вентильний з постійними магнітами). Показано, що найбільш перспективним є тяговий електропривод з вентильним двигуном з постійними магнітами. Було досліджено дві віртуальні моделі електроприводу з ВД у середовищі MATLAB та обрана краща за високими динамічними показниками.

Ключові слова: Вентильний двигун, енергоефективність, електронавантажувач, віртуальна модель електропривода, нечітка логіка

Закладной О.А, Сивцова Т.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКОВ С РЕГУЛИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В данной работе приведены меры и средства повышения энергетической эффективности электропогрузчиков. Проведены анализ и сравнение разных типов электроприводов тяговых двигателей (постоянного тока, асинхронный, вентильный с постоянными магнитами). Показано, что наиболее перспективным является тяговый электропривод с вентильным двигателем с постоянными магнитами. Исследовано две виртуальные модели электропривода с ВД в среде MATLAB и выбрана лучшая по высоким динамическим показателям.

Ключевые слова: Вентильный двигатель, энергоэффективность, электропогрузчик, виртуальная модель электропривода, нечеткая логика.

Zakladnyi O.O., Sivtsova T.

THE INCREASE OF ENERGY PARAMETERS OF ELECTRIC FORKLIFT WITH REGULATED ELECTRIC DRIVE

This paper presents measures and means to improve the energy efficiency electric forklift. The analysis and comparison of different types of electric traction motors (DC asynchronous valve with permanent magnets) was performed. It is shown that the most promising is the traction with brushless motor with permanent magnets. Studied two virtual model electric drive with the valve motor in MATLAB and selected the best on the high dynamic performance.

Keywords: Valve tractive motor, energy efficiency, electric forklift, virtual model of the drive, fuzzy-logic.

Обираючи тяговий електродвигун для електроприводу електронавантажувача, слід в першу чергу звернути увагу на галузь застосування та вимоги, що ставляться до електронавантажувача. Загальні основні вимоги, які пред’являються тяговому електроприводу: простота виготовлення; надійність; зручність обслуговування; легкість регулювання; простота системи керування; високий момент у всьому діапазоні частот обертання; придатність для рекуперативного гальмування; високий ККД.

Метою роботи є обґрунтування застосування електроприводів з вентильними двигунами з постійними магнітами для електронавантажувачів. Для цього проведено

порівняльний аналіз привода з ВД.

Головною задачею є дослідження двох віртуальних моделей електроприводів з ВД у середовищі MATLAB та вибір кращої з них по швидкодії та електродинамічним показникам з урахуванням третього способу керування ВД.

Напрямки та заходи для підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів. Для більш ефективної роботи електронавантажувачів означимо основні напрямки та заходи підвищення їх рівня енергоефективності (рис.1).

Перший напрямок полягає в економії електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу. Для цього потрібно вжити такі заходи: контроль стану електронавантажувача; узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження; підвищення ККД електронавантажувача; забезпечення нормованого завантаження; контроль стану електронавантажувача; регулювання продуктивності електронавантажувача; застосування Li-ion АКБ.

Другий напрямок полягає у виборі раціонального типу електропривода для електронавантажувача. Сюди входять: удосконалення процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації; перехід на енергозберігаючі двигуни та двигуни поліпшеної конструкції; використання вентильного двигуна; підвищення швидкодії електропривода; повернення енергії до АКБ при гальмуванні. Удосконалювання технологічних процесів безпосередньо пов’язано із застосуванням регульованого електропривода. Це сприяє вирішенню завдань забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності й строку служби устаткування.

Третій напрямок полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять: вибір раціонального діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи електронавантажувача; вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження; мінімізація струму і втрат енергії СДПМ при зміні навантаження; оптимізація динамічних режимів.

Удосконалювання технологічних процесів безпосередньо пов’язано із застосуванням регульованого електропривода. Це сприяє вирішенню завдань забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності й строку служби устаткування.

Вибір найбільш енергоефективного електроприводу для електронавантажувача. Розглянемо три типи електроприводів, які найчастіше використовуються в електричних навантажувачах, а саме:

- привод з вентильним двигуном (ВД);
- привод постійного струму (ППС);
- частотно-регульований привод (ЧРП).

Структурні схеми вище перерахованих систем представлені на рис. 2.

Рисунок 1 – Напрямки та заходи підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів

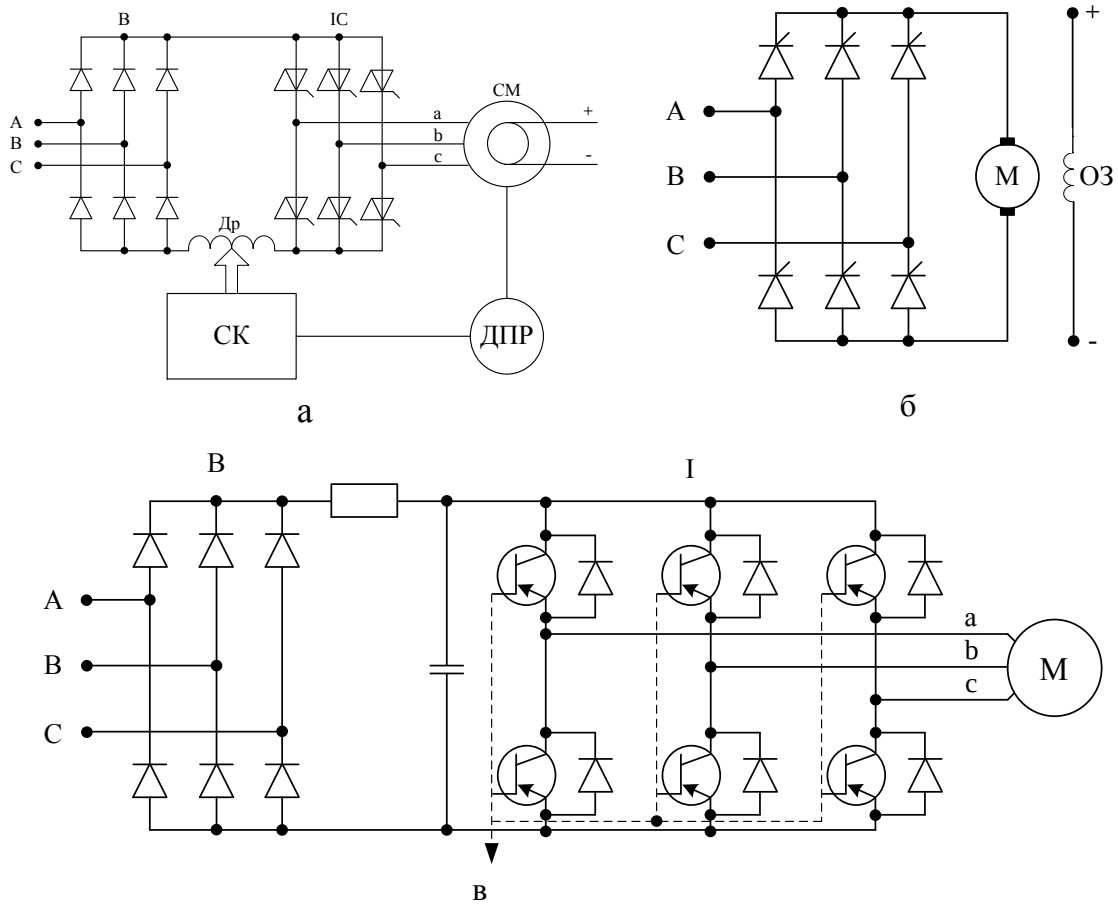


Рисунок 2 – Структурні схеми а) приводу з ВД, б) ППС, в) ЧРП

Результати порівняння зведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні порівняльні характеристики тягових електроприводів з двигунами: постійного струму, асинхронним і вентильним

Параметри	Тип тягового електроприводу		
	ППС	ЧРП	ВД із збудженням від постійних магнітів
Максимальна потужність, кВт	40	40	40
Максимальний струм, А	410	500	192
Частота обертання - номінальна - максимальна	 2200 6700	 3000 8000	 5000 13000
Маса тягового двигуна, кг	92	70	26,4
Маса вентильного перетворювача, кг	8	22	22
Маса ТЕП, кг	109	92	48,4
ККД, %	75	85	94
Вартість ТЕП, у.о.	3500	5000	5400

Порівняльний аналіз показав, що найбільш перспективним є електропривод з ВД на

базі синхронної із збудженням від постійних магнітів, який має значно меншу вагу (в 1,5-2,5 рази менше в порівнянні з іншими), максимальний ККД і кращі регулювальні характеристики.

Дослідження та вибір оптимального способу керування ВД для електронавантажувача. Розглянемо три основні способи керування ВД:

–*Перший (найпростіший) спосіб керування* полягає в підтриманні постійного значення кута випередження $\beta_0 = \text{const}$. При цьому джерелом напруги синхронізації служить датчик положення ротора (ДПР). Фазовий зсув між першою гармонікою струму і ЕРС холостого ходу:

$$\psi_1 = \varphi + \theta = \beta_0 - \frac{\gamma}{2},$$

де φ – кут зсуву між векторами основної гармоніки струму і фазної напруги; θ – кут навантаження СМ; γ – кут комутації.

– *Другий спосіб керування* полягає у підтримці сталим кут випередження β=const. Джерелом напруги синхронізації є датчик напруги статора (ДНС). В цьому випадку:

$$\psi_1 = \beta - \frac{\gamma}{2} + \theta$$

– *Третій спосіб* полягає в підтриманні постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні:

$$\beta_0 = \beta_{\min} = f(\gamma, \theta), \text{при}\, \delta = \delta_{\min} = \text{const};$$
$$\beta = \beta_{\min} = f(\gamma), \text{при}\, \delta = \delta_{\min} = \text{const}.$$

При цьому

$$\psi_1 = \frac{\gamma}{2}\varphi + \delta_{\min} + \theta\,.$$

Цей спосіб є найбільш оптимальним та енергоефективним для роботи електроприводу. Однак даний спосіб керування вимагає наявності датчиків кутів комутації та навантаження, а також системи імпульсно-фазового управління (СІФУ) синхронізованої від ДПР або ДНС. Для цього способу керування параметри системи будуть постійно змінюватись для підтримки постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні, для будь-якого режиму роботи двигуна. Отже, для реалізації цього способу керування ВД необхідно використати регулятор з fuzzy-логікою, котрий буде постійно змінювати необхідні параметри системи.

Моделювання та вибір енергоефективної віртуальної моделі приводу з ВД. Розглянемо дві моделі САК ВД, розроблених у середовищі MATLAB.

Управління ВД у запропонованій першій моделі реалізовано за принципом підлеглого регулювання. Однократноінтегруюча САК складається з двох контурів – швидкості та струму. Кожен контур містить свій регулятор (швидкості – пропорційний, струму – пропорційно-інтегральний) і негативний зв'язок за контрольованою змінною. На вхід системи подається сигнал з задатчика інтенсивності (рис.3). На рис.4 представлені графіки зміни заданої і дійсної швидкості, моменту ВД: а) β = 0° при M_C =0, б) β = 30° при M_C =0,5 M_H, в) β = 60° при M_C = M_H и $U_З$ = 30%; г) β = 60° при M_C = M_H и $U_З$ = 50%, отримані в результаті комп'ютерного моделювання.

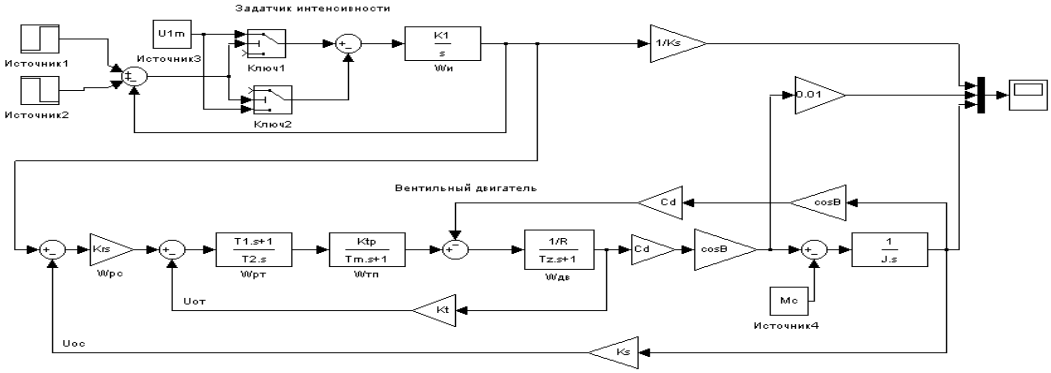


Рисунок 3 – Схема замкнутої САК ВД в середовищі MATLAB

Результати комп'ютерного моделювання ВД показали високу збіжність з експериментальними даними, отриманими на лабораторному стенді. Дана модель з достатньою достовірністю відбиває електромагнітні та електромеханічні процеси в таких системах.

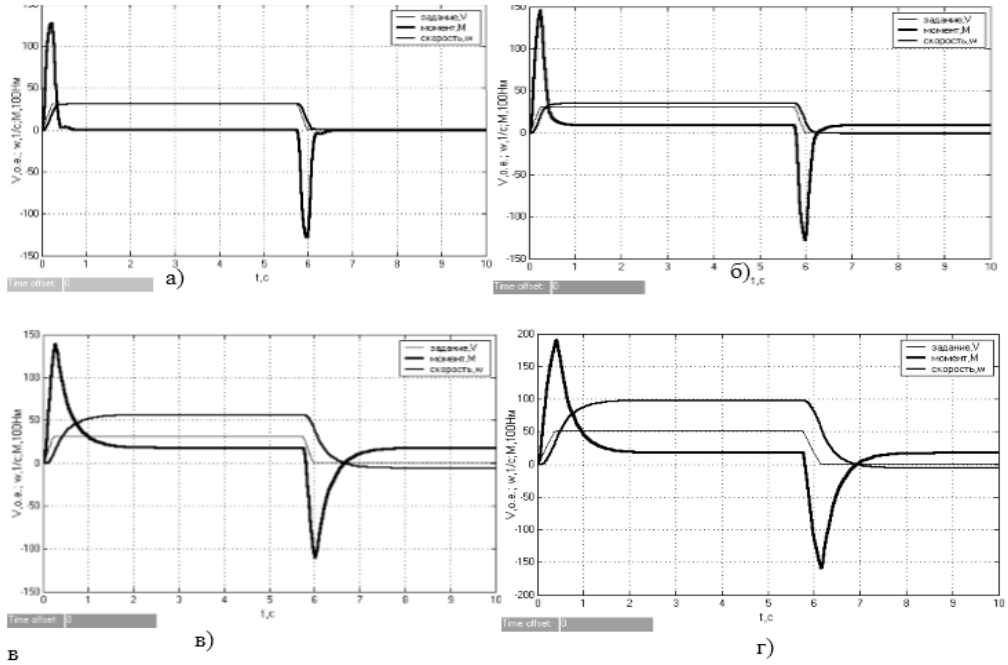


Рисунок 4 – Результати комп’ютерного моделювання режимів пуску та гальмування

Розглянемо другу віртуальну модель, у якій використовується ПІ-регулятор з fuzzy-логікою (рис. 5).

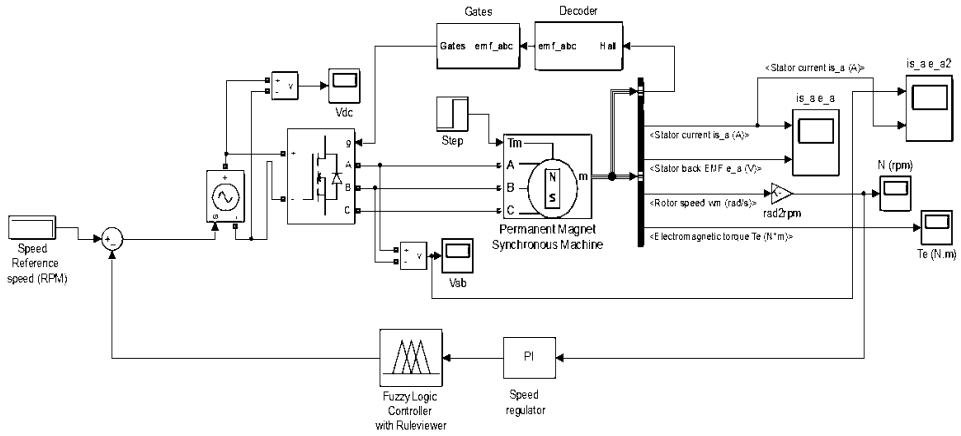
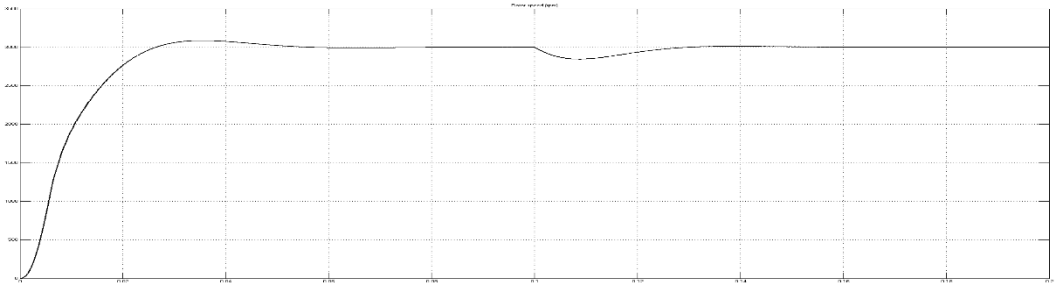


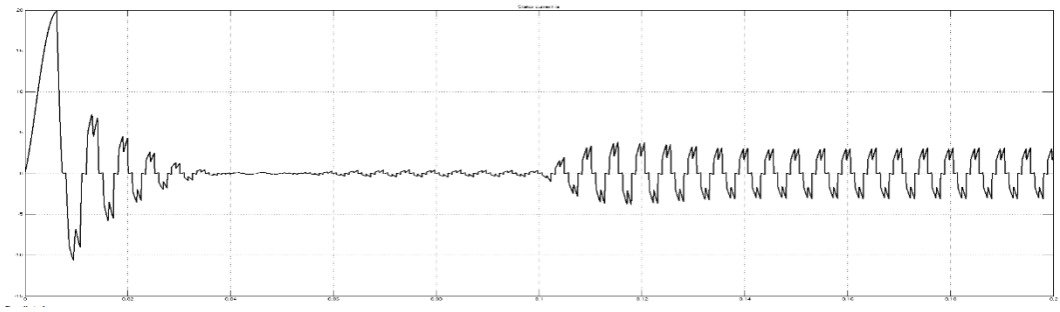
Рисунок 5 – Віртуальна модель привода з ВД з постійними магнітами та ПІ-регулятором швидкості з fuzzy-логікою

В даній моделі використовується двигун потужністю 1 кВт, напругою 500 В з частотою обертання 3000 об/хв. Двигун живиться від шестирівневого перетворювача напруги. Сигнали спрацювання діодів перетворювача створюються за допомогою сигналів ефекту Холла, які надходять з датчиків положення ротору двигуна.

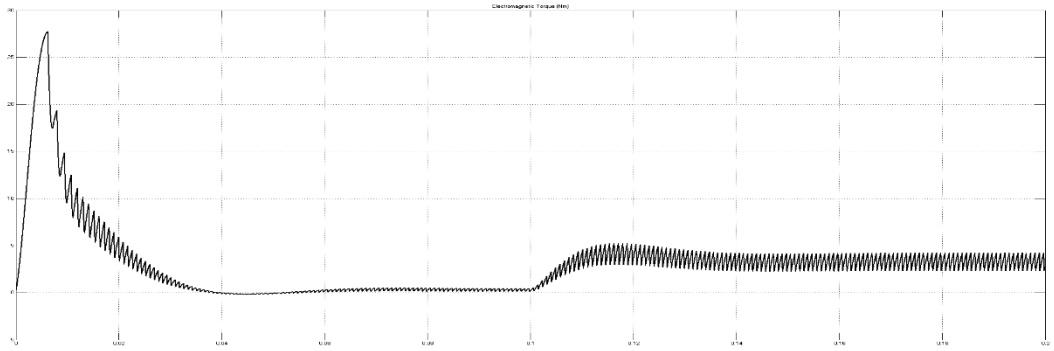
Навантаження, приведене до валу двигуна на початку симуляції дорівнює 0 Нм, а вже на 0,1 с симуляції досягає свого номінального рівня 11 Нм при цьому спостерігається стрибок у швидкості (рис. 6а), зростання струму статора для підтримки номінальної швидкості та електромагнітного моменту (рис. 6б та рис. 6в).



а



б



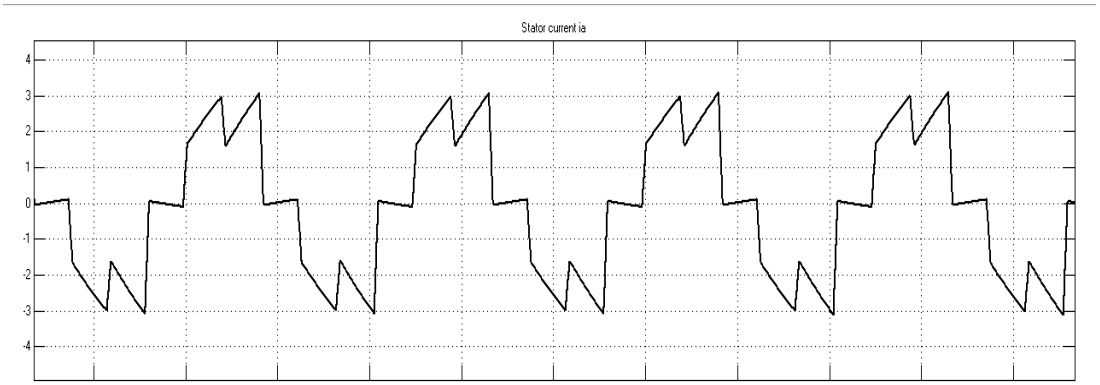
в

Рисунок 6 – Результати моделювання: а – крива швидкості ВД, б – крива струму статора ВД, в – крива електромагнітного моменту ВД

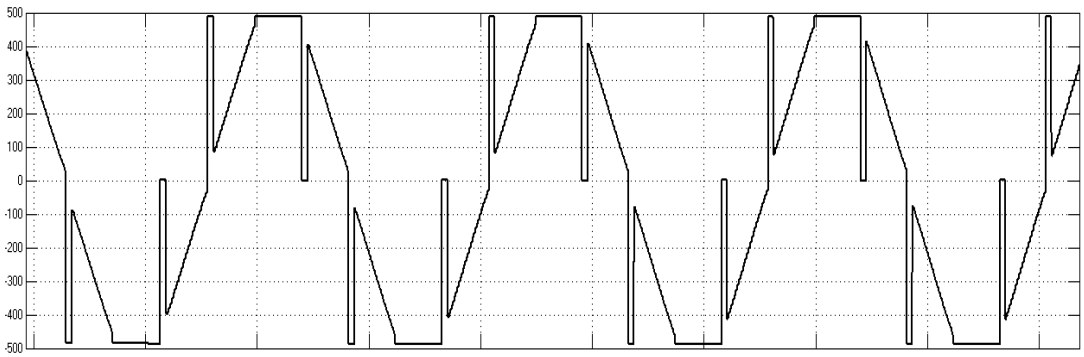
В даній моделі використовується два контури керування: внутрішній відповідає за роботу інвертора, а зовнішній контролює швидкість двигуна зміною напруги живлення.

Крива струму статора має пилоподібну форму (рис.7а), фазна напруга – трапецеїдальну форму зі сплесками, викликаними спрацюванням діодів (рис. 7б) та крива фазної ЕРС має трапецеїдальну форму (рис. 7в).

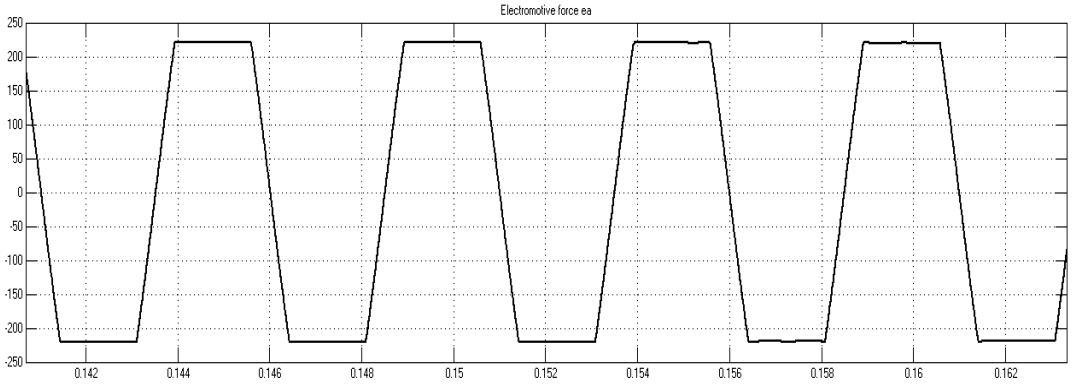
ПІ-регулятор з нечіткою логікою постійно змінює регулювальні параметри системи для підтримки постійної величини кута запасу δ на мінімальному рівні, а отже це все забезпечує виконання третього способу керування ВД, що робить цю модель кращою по швидкодії та по всім динамічним показникам.



а



б



в

Рисунок 7 – Форми кривих струму (а), напруги (б), фазної ЕРС (в)

Висновки

1. Виходячи з результатів порівняння основних характеристик приводів постійного і змінного струму, в якості тягового двигуна для електронавантажувача було вибрано привод з вентильним двигуном.

2. Означено основні напрямки енергозбереження для електронавантажувачів:

– економія електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу;

– вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода;

– вибір раціонального типу електропривода для електронавантажувача.

3. Визначено, що найбільш енергоефективним є вентильний двигун зі збудженням від постійних магнітів.

4. Встановлено, що для реальних кутів комутації і закону управління $\beta_{min} = f(\gamma)$ при $\delta_{min} = const$ показники якості напруги і потужності найкращі, що дуже добре впливає на енергоефективність ВД та на всі показники електропривода.

5. Запропоновані віртуальні моделі ВД з підпорядкованим керуванням та з використанням ПІ-регулятора з нечіткою логікою для використання третього закону управління ВД. З їх допомогою досліджено електромагнітні та електромеханічні процеси ВД. Виходячи з результатів моделювання видно, що модель саме модель з fuzzy–регулятором швидкості має кращі динамічні характеристики та вищу швидкодію, що в свою чергу підтверджує ефективність та доцільність використання ВД з постійними магнітами у електронавантажувачах.

Література

4. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «ОсвітаУкраїни», 2009. –351с.

5. Закладной О.А. Функциональное диагностирование энергоэффективности электромеханических систем: Монография / О.А. Закладной. – М.: Издательство «Либра», 2013. – 195 с.

6. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.

УДК 681.52

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Иржавский А.С.
Национальный технический университет Украины «КПИ»

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКОЙ С ДАТЧИКАМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

У статті надається структурна схема пристрою управління водовідливної установки, яка забезпечує її управління у всьому діапазоні навантажень з можливістю відключення електродвигуна окремого насоса при переході його в режим холостого ходу, що дозволяє знизити витрату електроенергії і підвищити надійність.

В статье представлена структурная схема устройства управления водоотливной установки, которое обеспечивает ее управление во всем диапазоне нагрузок с возможностью отключения электродвигателя отдельного насоса при переходе его в режим холостого хода, что позволяет снизить расход электроэнергии и повысить надежность.

The article provides a block diagram of the control unit drainage installation which provides control over the entire range of its load with the ability to disable individual pump motor at its transition to idle, which reduces power consumption and improve reliability.

1. Актуальность темы

Статистические исследования по вопросам надежности и экономичности функционирования комплекса водоотлива шахты показали наличие значительного количества отказов в работе шахтных водоотливных установок. Вероятность безотказной работы водоотливной установки довольно низка и после 2000 ч эксплуатации составляет 0,15 для главных и 0,3 для участковых установок. Это связано с рядом причин, основной из которых является повышенный износ насосов и трубопроводной сети из-за тяжелых условий эксплуатации, перекачивания агрессивных и загрязненных вод, работы насосов в нерациональных режимах и возникновении аварийных ситуаций.

Одним из направлений повышения надежности и эффективности работы комплекса водоотлива шахты является управление водоотливными установками техническими средствами автоматизации. Существующие средства автоматизации не в полной мере решают проблемы эксплуатации водоотливных установок, выполнены на «устаревшей» элементной базе. Поэтому разработка систем управления комплексом водоотлива шахты является актуальной темой.

2. Цель и задачи

Главной целью является снижение эксплуатационных затрат на водоотлив шахты за счет обеспечения работы энергоемких водоотливных установок в рациональных режимах и исключения аварийных ситуаций путем разработки и применения системы мониторинга состояния и управления комплексом водоотлива шахты.

Задача заключается в исследовании математической модели режимов работы энергоемких водоотливных установок и определение рациональных режимов, обоснование параметров контроля, выбора алгоритма управления и схемотехнических решений по системе мониторинга состояния и управления комплексом водоотлива шахты.

3. Исследование процесса управления водоотливной установкой по притоку воды в водосборник и контролю производительности

Одним из важных требований к водоотливной установке есть использование насосов в режимах, соответствующих их номинальным параметрам. Отклонение рабочих режимов насоса от номинальных значений влечет за собой снижение КПД и, как следствие, перерасход электроэнергии. Допускается некоторое отклонение рабочих параметров от значений, указанных в каталогах, но при этом они не должны выходить за пределы рабочей зоны насоса, в соответствии с его напорной характеристикой. Использование насоса за пределами рабочей зоны в значительной мере не только ухудшает его КПД, но может также

вызывать переход насосов в недопустимый эксплуатационный режим работы. При уменьшении подачи может возникнуть явление помпажа, а при увеличении – явление кавитации, которое происходит при увеличении значения давления на входе насоса выше критического, за который принимается давление насыщенного пары перекачиваемой жидкости [1].

Структурная схема САР водоотливной установки с регулируемым электроприводом может быть представлена в виде, рис. 1.

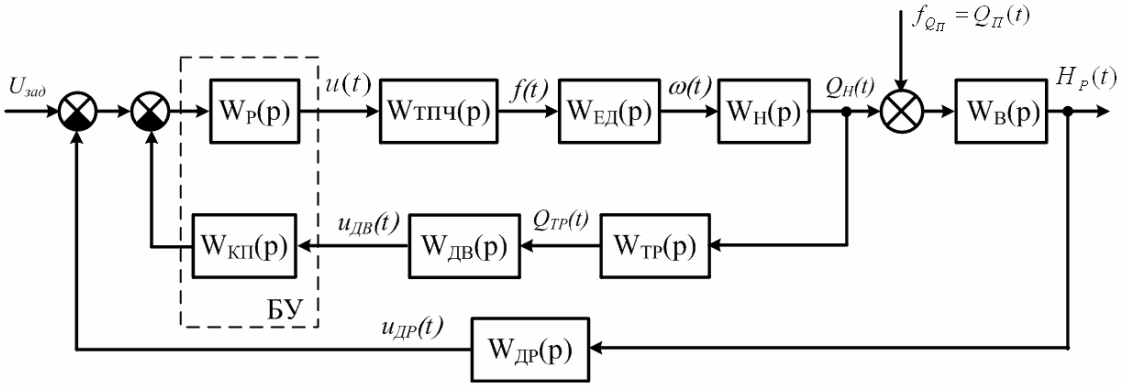


Рисунок 1 – Структурная схема САР водоотливной установки с регулируемым электроприводом

На рис. 1 обозначены: *Wp(p)* - передаточная функция

$$W_н(p) = \frac{k_н}{T_н p + 1};$$

$k_н = \frac{Q_Н^{ном}}{\omega^{ном}} W_н(p)$ – передаточная функция насоса имеет вид :

$k_н$ – коэффициент передачи насоса;

$Q_Н^{ном}$- номинальная подача насоса, м^3/ч;

$\omega^{ном}$- номинальная угловая скорость рабочего колеса, рад/с;

$W_{ТПЧ}(p)$ – передаточная функция полупроводникового преобразователя

$$W_{ТПЧ}(p) = k_{ТПЧ}$$

$W_{ДУ}(p)$ – передаточная функция датчика уровня: $W_{ДУ}(p) = k_{ДУ}$

Для реализации управления водоотливной установкой предлагается устройство, рис.2, которое обеспечивает управление во всем диапазоне ее нагрузок с возможностью отключения электродвигателя отдельного насоса при переходе его в режим холостого хода, что позволяет снизить расход электроэнергии и повысить надежность. Устройство состоит из датчика уровня 1, к выходу которого подключены три пороговых элемента 2, 3, 4, вторые входы которых соединены с источниками E_1, E_2, E_3 постоянного входного действия, а выходы первого 2 и второго 3 пороговых элементов соединены, соответственно, с первым 5 и вторым 6 элементами И-НЕ, а также, соответственно, из R входом первого R-S триггера 7 и R входом второго R-S триггера 8, а S вход первого R-S триггера 7 через первый элемент И-НЕ 5 соединен с выходом второго порогового элемента 3, а S вход второго R-S триггера 8 через второй элемент И-НЕ 6 соединен с выходом третьего порогового элемента 4, выход первого R-S триггера 7 соединен с входом ключа 9 электронного, второй вход которого соединен со вторыми входами ключей 10 и 11 электронных и источником E4 питания цепей магнитных пускателей 12, 13, 14, которые подключены входами, соответственно, к выходам ключей 10, 11 и 12 электронных, выходы датчиков 15 и 16 производительности соединены,

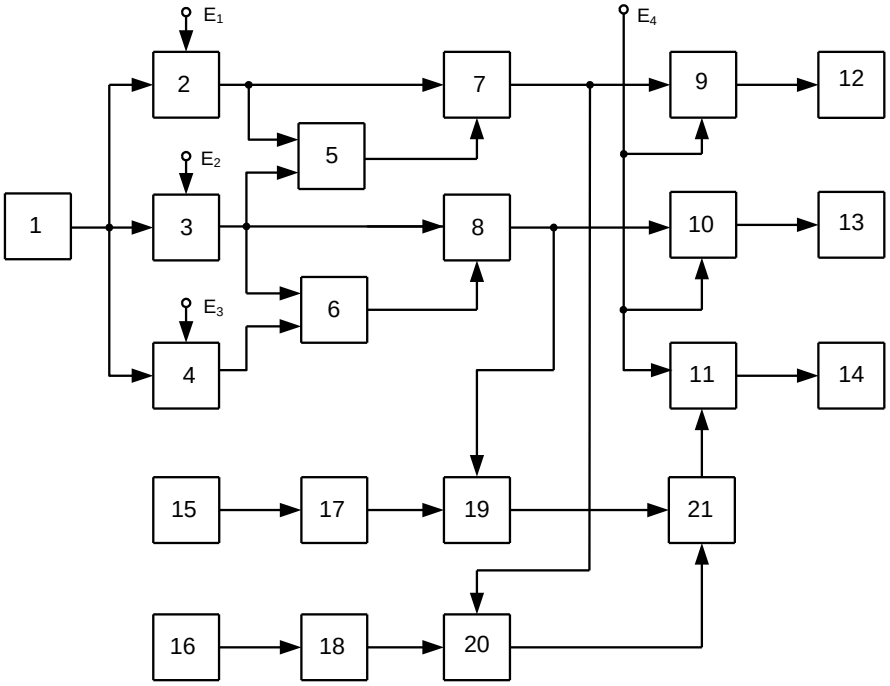


Рисунок 2 - Структурная схема устройства управления водоотливной установкой

соответственно, через третий 17, четвертый 18 элементы И-НЕ со входами первого 19, второго 20 элементов И, второй вход первого элемента И 19 соединен с выходом первого R-S триггера 7, второй вход второго элемента И 20 соединен с выходом второго R-S триггера 8, выходы первого 19 и второго 20 элементов И соединены со входами элемента ИЛИ 21, выход которого соединен со входом третьего ключа 11 электронного. Через магнитные пускатели 12, 13, 14 подается напряжение питания на электродвигатели, насосов верхнего, аварийного и резервного уровней, которые на рис. 1 не показаны [2]. При работе устройства используются источники постоянного входного воздействия, которые позволяют просто делать его настройку на конкретные уровни воды в водосборнике: E_1 – нижнего уровня, E_2 – верхнего уровня и E_3 – аварийного уровня по условиям использования насосной установки.

Датчик уровня 1 обеспечивает формирование сигнала, пропорционального уровню воды в водосборнике и может представлять собой разные по принципу работы датчики уровня, например, ультразвуковые, магнитострикционные, микроволновые или емкостные для непрерывного измерения значения уровня. Ультразвуковые датчики уровня измеряют время t прохождения сигнала от передатчика к поверхности и обратно. Расстояние S до зеркала воды определяется из соотношения $S=V \bullet t/2$, где V – скорость распространения звука. Бесконтактный метод делает их нечувствительными к изменению свойств воды - давления, плотности, вязкости в диапазоне измерения до 50 м с точностью до 2 мм.

При повышении уровня воды до значения нижнего уровня на выходе порогового элемента 2 появляется уровень логической единицы, состояние R-S триггера не 7 изменяется, $U_7 = 0$, он находится в установленном ранее состоянии, а на первом входе элемента И-НЕ 5 устанавливается уровень логической единицы. При повышении уровня воды до верхнего уровня на выходе порогового элемента 3 появляется уровень логической единицы, переключается R-S триггер 7, так как, из выхода элемента И-НЕ 5 подается нулевой логический уровень на S вход R-S триггера 7 и уровень логической единицы подается на

ключ 9 электронный, который переключается и подает питание от источника Е4 на магнитный пускатель 12 и это обеспечивает питание электродвигателя насоса верхнего уровня, на рис. 1 не приведен. Насос верхнего уровня обеспечивает рабочую производительность и на выходе датчика 15 производительности появляется сигнал логической единицы, который подается на элемент И-НЕ 17, с выхода которого сигнал логического нуля подается дальше на вход элемента И 19, что обеспечивает блокирование прохождения сигнала от R-S триггера 7 через элемент ИЛИ 18 на электронный ключ 11. Уровень воды в водосборнике снижается, сначала сигнал на выходе порогового элемента 3 переключается в нуль, что не вызывает изменений в работе включенного насоса. Далее на выходе порогового элемента 2 сигнал переключается в нуль, что приводит к переключению R-S триггер 7, выходной логический нуль которого подается на ключ 9 электронный, который размыкается, отключается питание магнитного пускателя 12 и электродвигатель насоса верхнего уровня останавливается. Устройство обеспечивает дистанционный метод измерения уровня воды в водосборнике во всем диапазоне его глубины с получением аналогового сигнала, пропорционального значению уровня воды, что позволяет просто адаптировать устройство при возможных изменениях в технологии его работы [3].

Экономическая эффективность при автоматизации водоотливных установок достигается за счет сокращения обслуживающего персонала, уменьшения расхода электроэнергии путем исключения работы насосов вхолостую, сокращения времени их запуска, общего количества пусков и сокращения аварийных ситуаций.

Использованные источники:

1. Патент Российской Федерации № 2255246. Солдатов А.И., Цехановский С.А., Сорокин П.В., Бычков В.В., Ким О.Х. Устройство управления электронасосами артезианских скважин. МПК F04D 15/00. Заявлено 14.10.2003; Опубл. 27.06.2005, Бюл. №18.

2. Патент Украины на полезную модель №66712. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Мишурняев Д.О. Устройство управления насосной установкой. МПК F04D 15/00. Опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

3. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 304 с.

4. Шевчук С.П. Повышение эффективности водоотливных установок. Учебное пособие. - Киев, УМК ВО, 1990, 104 с.

Розен В.П. професор, Бабіченко О.С. магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

У статті розглянуто прогнозування електроспоживання промислових підприємств за допомогою штучної нейронної мережі. Виконано аналіз точності та правдоподібності результатів прогнозу.

Ключові слова: *Прогнозування електроспоживання, нейронна мережа, рекурентна мережа, модель Хопфілда.*

Розен В.П. профессор, Бабиченко А.С. магистрант

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрено прогнозирование электропотребления промышленных предприятий с помощью искусственной нейронной сети. Выполнен анализ точности и правдоподобия результатов прогноза.

Ключевые слова: *Прогнозирование электропотребления, нейронная сеть, рекуррентная сеть, модель Хопфилда.*

Rosen V.P. Professor Babichenko O.S. Master's Degree Student

PREDICTION AND ANALYSIS OF ELECTRICAL LOADS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES USING NEURAL NETWORKS

This paper deals with prediction of industrial power consumption using an artificial neural network. Also the main factors that affect energy consumption were taken into acount. The analysis of the accuracy and plausibility of the results of the forecast was done. As a result was compared prediction accuracy of neural network in learning and with the real data.

Keywords: *Prediction of Power, neural network, recurrent network, Hopfield model.*

Вступ. Прогнозування електричного навантаження забезпечує спеціалістів базовою інформацією для прийняття рішень в керуванні електроспоживачами в процесі планування їх нормальних режимів роботи. На основі прогнозування навантажень розраховуються початкові дані та оптимальні режими роботи енергетичної системи, оцінюється їх надійність, економічність, якість електроенергії та ін.

Останнім часом у зв’язку з розвитком технологій штучної нейронної мережі все більше уваги спеціалістів, працюючих над прогнозуванням споживання електричного навантаження, привертають штучні нейронні мережі.

Структуру штучної нейронної мережі (ШНМ) описують наступним чином. Нейрона мережа (НМ) складається з декількох шарів: вхідного, внутрішніх (прихованих) і вихідного. Вхідний шар реалізує зв'язок з вхідними даними, вихідний з вихідним. Внутрішніх шарів може бути безліч. В кожному шарі міститься декілька нейронів між якими є зв'язок. Ці зв’язки мають ваговий коефіцієнт[1].

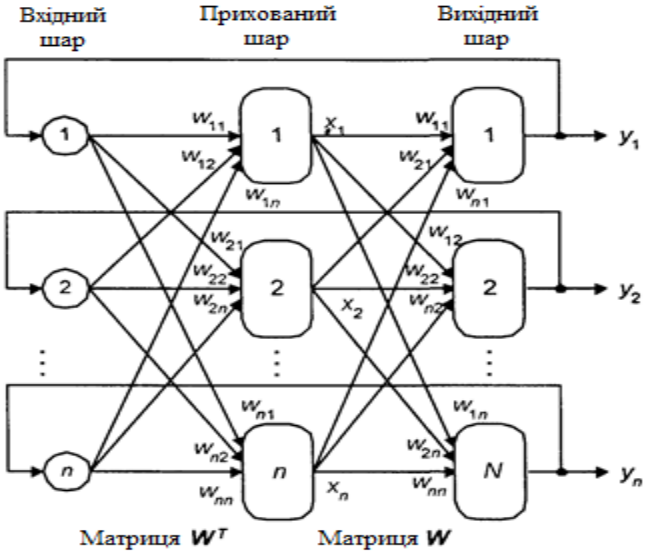


Рис. 1 - Архітектура ШНМ Хопфілда

Прогнозування електричного навантаження відноситься до такого класу задач, де залежність між вхідними та вихідними змінними складна. Знаходження закономірностей у великих об’ємах даних потребує не тривіальних алгоритмів, все це займає багато часу.

Завдання та мета дослідження. В даній роботі було розглянуто прогнозування електроспоживання промислового підприємства за допомогою ШНМ. Графік навантаження кожного підприємства формується під впливом великої кількості різноманітних факторів, повний облік котрих неможливий внаслідок технологічних властивостей підприємства. Крім того, завжди існують відхилення від запланованого режиму роботи підприємства, що заставляє керуватися не тільки плануванням, але і прогнозуванням електроспоживання підприємства[2].

Для дослідження моделі ШНМ було використано існуючу вибірку даних для визначення параметрів функції приналежності, котрі краще всього відповідають певній системі логічного висновку. Для того, щоб отримати більш точний прогноз врахували такі фактори:

- кліматичні умови;
- день тижня;
- особливості підприємства;
- час доби;
- сезонність;
- святковий чи несвятковий день.

Перелік можливих факторів може розширюватися.

Випадковий характер зміни навантаження енергосистеми являється однією із існуючих особливостей процесу. Внаслідок наявності випадкових складових, природнього росту навантаження і впливу різних факторів строгої періодичності в графіках навантаження немає. Багаточисленні методи прогнозування електричного навантаження, що були запропоновані раніше, на практиці стикаються з деякими труднощами методів. Тому до розгляду було взято мережу з рекурентною архітектурою – мережа Хопфілда. Наявність

зворотних зв’язків в мережі, здійснює безпосередній вплив на здатність такої мережі до навчання та її продуктивність[3].

Розробити модель мережі Хопфілда – це означає створити рекурентну мережу з множиною точок рівноваги таких, що при закладанні початкових умов мережі в кінцевому рахунку приходить у стан спокою в одній із цих точок. Властивість рекурентності проявляється у тому, що вихід мережі подається на вхід[4].

Результати дослідження. Перша модель ШНМ отримувала на вхід вибірку зі значеннями кліматичних умов, відповідним днем тижня, параметрами підприємства, часом доби та ін.. На виході з НМ отримувалися значення енергоспоживання за кожні півгодини. Також на вхід було заведено зворотній зв'язок з виходу НМ із затримкою в 47 значень, що фактично означає прогнозування на один день вперед. Зазвичай, прогнозування електроспоживання для промислового підприємства має зміст, як мінімум на місяць вперед, тому один день це дуже малий термін. Але помилка складає 8.68%. Графіки порівняння дійсного електроспоживання та прогнозу зображені на рис. 2.

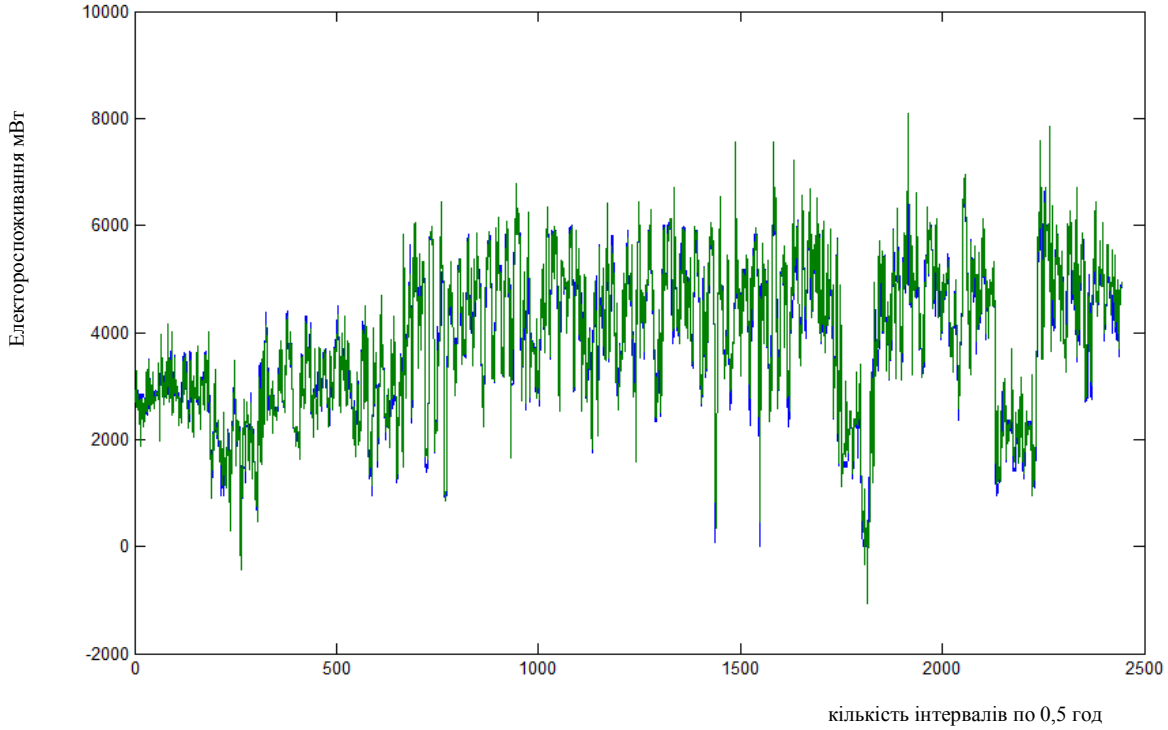


Рис.2- Графіки дійсного електроспоживання та прогнозу на один день

Для наближення до реальної потреби підприємств у більш тривалому прогнозі не обов’язково знати 47 значень на день. Можливо зменшити їх кількість до чотирьох за день, тобто отримувати значення кожні шість годин, що надає можливість дослідити прогноз на 10 днів вперед, як можна побачити на рис.3.

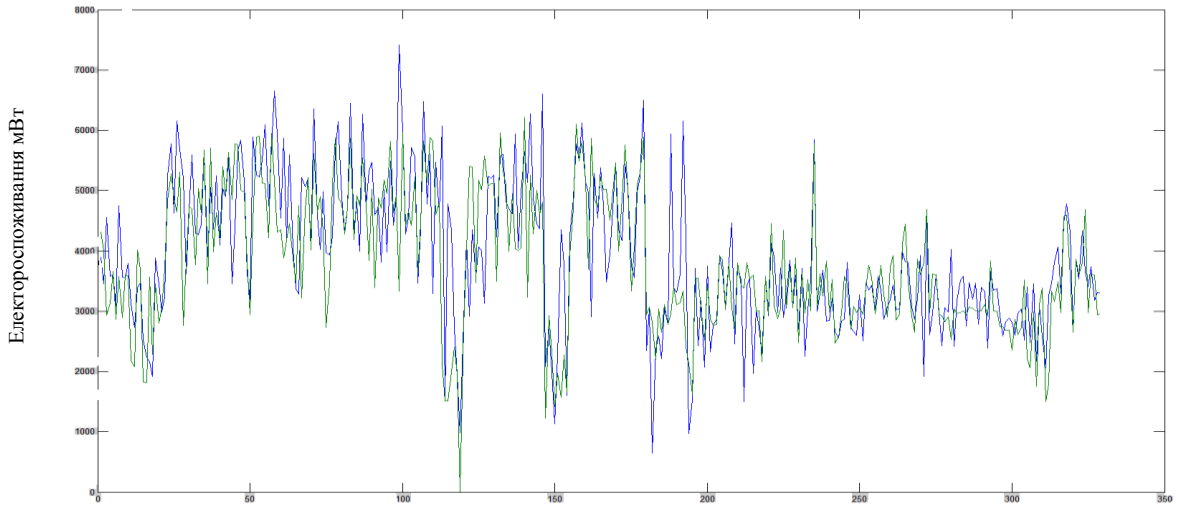


Рис. 3 - Графіки дійсного електроспоживання та прогноз на десять днів

Точність по 10 дням 89,1%. За нинішніх обчислювальних можливостях і доступних програмних продуктах ми можемо прогнозувати до 100 значень (тимчасових кроків) вперед при дотриманні вимог до точності прогнозу. Якщо взяти по 4 значення в день, то можна спрогнозувати на 25 днів вперед, але в такому випадку істотно знижується точність прогнозування і гнучкість перенавчання нейромережі. А також потрібно тривале навчання такої мережі вибіркою «високої якості» (без дефектних значень).

Висновки: Нейроні мережі Хопфілда дозволяють враховувати основні фактори, впливаючи на точність прогнозу, без обмеження вхідних параметрів.

Система автоматизованого прогнозування дозволяє оцінити похибку прогнозування, виявити параметри, які впливають на споживання електроенергії.

Промисловому підприємству для точного, якісного прогнозу необхідно тривалий час збирати дані з електроспоживання, щоб тренувати мережу[5].

Прогнозування електроспоживання за допомогою НМ цілком задовольняє вимогам до точності прогнозу і може брати участь у складанні короткострокових планів енергоспоживання.

Для сорока значень отримали більш точне прогнозування. Прогнозування було більш точним: при прогнозі на день вперед використовувалися значення споживання електроенергії за кожних пів години - це 47 значень на добу, тобто у зворотному зв'язку НМ варто затримка в 47 значень. А для прогнозу на 10 днів вперед використовувалися значення за кожних 6 годин - це 4 значення в добу, тобто у зворотному зв'язку НМ затримка в 40 значень. Як відомо, величина затримки зворотного зв'язку обернено пропорційна точності прогнозу).

Під час навчання точність складала 93,3%, а під час роботи на реальній вибірці - 89,1%. Середнє відхилення 230 кВт·год. Якщо чотири значення достатньо то можливо користуватися і прогнозувати на 10 днів вперед.

В даному досліді можна було б досягти більш точних результатів прогнозування, шляхом повторних тренувань НМ. Але в такому випадку НМ втрачає свої властивості адаптації. Тобто у випадку невеликої зміни ключових параметрів підприємства, прогноз НМ був би невірним.

Література:

1. Манусов В.З. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами /В.З. Манусов, Е.В.Бирюков // Известия Томского политехнического университета, Томск, 2006 – с. 153-158.

2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB fuzzyTECH / Леоненков А.В. // БХВ-Петербург, Санкт-Петербург, 2005, с. 487-495.

3. Haykin S. Neural network a comprehensive Foundation. Second Edition / Simon Haykin // Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2006, p. 856-910

4. Каменев А.С. Нейромоделирование как инструмент интелектуализации энергоинформационных сетей / А.С. Каменев, С.Ю. Королев, В.Н. Сокотущенко // Информационно-технологический центр «Стратегическое прогнозирование в энергетике и экономике», Москва, 2012, с. 39-50

5. Медведев В.С. Нейронные сети MATLAB 6 / В.С. Медведев В.С., В.Г. Потемкин //ДИАЛОГ-МИФИ, Москва, 2002, с. 181-187.

УДК 62-526

А.В. ТОРОПОВ, В.М. ФЕДОРЧЕНКО

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛИФТОВОЙ УСТАНОВКИ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

OPTIMIZATION OF ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM OF THE ELEVATOR INSTALLATION ADMINISTRATIVE BUILDING OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Запропоновано варіант розрахунку регулятора для стабілізації положення кабіни ліфта. Реалізовано процедуру аналітичного конструювання оптимального регулятора для системи диференційних рівнянь третього порядку. Виконано моделювання процесів в системі з синтезованим регулятором з використанням MATLAB Simulink.

Ключові слова: Ліфт, диференціальні рівняння, регулювання положення, аналітичне конструювання, оптимальне керування.

Предложен вариант расчета регулятора для стабилизации положения кабины лифта. Реализована процедура аналитического конструирования оптимального регулятора для системы дифференциальных уравнений третьего порядка. Выполнено моделирование процессов в системе с синтезированным регулятором с использованием MATLAB Simulink.

Ключевые слова: Лифт, дифференциальные уравнения, регулируемый, аналитическое конструирование, оптимальное управление.

Method of regulator calculation for lift cabin position stabilization is offered. Analytic design procedure of optimal regulator for third order differential equations system is realized. Process modeling at system with synthesized regulator using MATLAB Simulink is made.

Keywords: Lift, differential equations, adjustment, analytical design, optimal control.

ВСТУП

Сьогодні вже важко уявити місто без працюючого вертикального транспорту. Для величезної кількості людей нормальна робота ліфтового господарства є синонімом нормального життя. Якісна робота ліфтів і підйомних механізмів та їх надійність залишається одним з ключових аспектів у справі забезпечення безпеки житлових і громадських будівель, тому необхідний безперервний розвиток і модернізація ліфтового обладнання.

Видима останнім часом тенденція до підвищення поверховості будівель в містах, а також до комфорту пересування в ліфтах веде до ускладнення систем управління процесом пересування [1]. Завдяки розвитку сучасних мікропроцесорних систем управління дані завдання успішно вирішуються в даний час. Так, наприклад, існуючі системи підпорядкованого керування з ПІ – регуляторами технологічних параметрів замінюються більш складними адаптивними та оптимальними регуляторами [2,3]. Вони дозволяють підвищити якість позиціонування кабіни ліфту, забезпечити високу якість перехідних процесів, та збільшити інваріантність системи до зовнішніх та параметричних збурень.

Одним з найбільш популярних методів розробки регуляторів для багатомірних систем є процедура аналітичного конструювання оптимального регулятора з використанням методу Беллмана - Ляпунова. Вибір відповідного функціоналу якості дозволяє забезпечити

мінімальну динамічну похибку з обмеженням на керування з енергетичної точки зору [4,5].

Мета дослідження. Метою дослідження є синтез регулятора, що забезпечує високу якість перехідного процесу за положенням кабіни. При цьому з енергетичної точки зору витрати на керування потрібні бути мінімальними.

Результати дослідження. Здійснимо процедуру аналітичного конструювання оптимального регулятора для електропривода ліфтової установки з синхронним двигуном з постійними магнітами. З урахуванням тих факторів, що складова струму i_{1d} має встановитися рівною нулеві, коефіцієнт тертя валу має наближатися до нуля, а електромагнітна частина двигуна може бути описана безінерційною ланкою, то запишемо систему диференціальних рівнянь, відповідних об'єкту управління, в нормальній формі Коші:

$$\dot{\varphi} = \omega;$$

$$\dot{\omega} = \frac{3}{2}\lambda_m i_q;$$

$$\dot{i}_{1q} = -\frac{1}{T_e} i_{1q} + \frac{1}{\kappa_{зс}} u_1 = -\frac{1}{T_e} i_{1q} + \frac{1}{\kappa_{зс}} \kappa_{РШ} \cdot (u - \kappa_{зш} \cdot \omega) = -a_1 \cdot x_3 - a_2 \cdot x_2 + b_1 \cdot u; \quad (1)$$

де $a_1 = \frac{1}{T_e}$; $a_2 = \frac{\kappa_{РШ}}{\kappa_{зс}} \cdot \kappa_{зш}$; $b_1 = \frac{1}{\kappa_{зс}} \kappa_{РШ}$; φ, ω - кут і швидкість обертання валу двигуна; i_{1q} - момент на складова струму статора; λ_m - намагнічування від постійних магнітів; T_e - електромагнітна стала часу двигуна; $\kappa_{зс}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом статора; u_1 - напруга на виході пропорційного регулятора струму; $\kappa_{РШ}$ - коефіцієнт підсилення регулятора швидкості; $\kappa_{зш}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; u - напруга керування з регулятора положення.

Приймаючи, що $x_1 = \varphi$; $x_2 = \omega$; $x_3 = i_{1q}$, отримуємо:

$$\dot{x}_1 = x_2; \dot{x}_2 = f(x_3); \dot{x}_3 = f(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

Розв'язок задачі аналітичного конструювання оптимального регулятору знаходиться в матричному виді, то отримуємо:

$$\dot{X} = AX + BU,$$

де X - вектор стану, А- матриця динаміки, B - матриця керування.

Мінімізований функціонал, що забезпечує мінімум динамічної похибки та мінімум енергетичних витрат на керування, визначається співвідношенням

$$\min_u J = \int_0^\infty \left[X^T Q X + R U^2 \right] dt. \quad (3)$$

Тут $Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix}$ - додатна матриця обмежень на змінні стану, $R = [r]$ - матриця обмежень на керування.

Тоді функціональне рівняння Беллмана має вигляд :

$$\min_U \left[X^T QX + RU^2 + < \nabla V(X), AX + BU > \right] =$$

$$= \min_U \left[X^T QX + RU^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)^{\dot{O}} (AX + BU) \right] = 0 \quad (4)$$

Після диференціювання (4), отримаємо

$$2U^T R + B^T \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) = 0. \quad (5)$$

Звідки оптимальне керування визначається

$$U = (-2r)^{-1} B^T \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) = (-2r)^{-1} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)^T B. \quad (6)$$

Після виключення із функціонального рівняння (4) закону керування отримуємо рівняння Гамільтона – Якобі – Беллмана :

$$X^T QX + \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)^T AX = \frac{1}{4r} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)^T B \right]^2. \quad (7)$$

Розв’язок цього рівняння знаходиться у вигляді квадратичної форми:

$$V(X) = X^T KX. \quad (8)$$

де K - квадратна симетрична матриця зворотних зв’язків.

Диференціюючи по X отримаємо за правилом векторного диференціювання

$$\frac{\partial V}{\partial X} = \frac{d}{dX}(X^T KX) = 2X^T K. \quad (9)$$

Підставляючи дані співвідношення в рівняння Беллмана (7), його можна записати у наступному вигляді:

$$X^T (Q + KA + A^T K - KBC^{-1} B^T K) X = 0. \quad (10)$$

Звідси виходить, що матриця K повинна задовольняти алгебраїчному рівнянню в матричному вигляді.

$$Q + kA + A^T k - kBC^{-1} B^T k = 0. \quad (11)$$

Це рівняння отримало назву алгебраїчного рівняння Ріккаті в матричній формі. Ці система має багато розв’язків, але розв’язок, що відповідає вимогам додатної визначеності, є єдиним.

Для нашої системи матриці динаміки, управління та обмежень мають вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -a_2 & -a_1 \end{bmatrix}; \; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_1 \end{bmatrix}; \; Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix}; \; R = \begin{bmatrix} r \end{bmatrix},$$

де $q_1 = \frac{1}{x_{1\max}^2}$; $q_2 = \frac{1}{\omega_0^2}$; $q_3 = \frac{1}{I_н^2}$; $r = \frac{1}{u_{\max}^2}$ - вагові коефіцієнти, що визначаються методом Мєрріема [6].

Реалізуючи процедуру аналітичного конструювання оптимального регулятора для електроприводу з синхронним двигуном потужністю 3,6кВт, отримуємо закон керування в явному вигляді:

$$u = -k_1 x_1 - k_2 x_2 - k_3 x_3 = -500 x_1 - 69,4213 x_2 - 1,1982 x_3. \quad (12)$$

Дослідження динамічних характеристик контуру стабілізації положення з синтезованим регулятором було проведено методом цифрового моделювання за допомогою математичного пакета Matlab і його додатку Simulink. На рис. 1 зображено структурну схему системи з регулюванням положення та синтезованим оптимальним регулятором, що реалізована в Matlab:

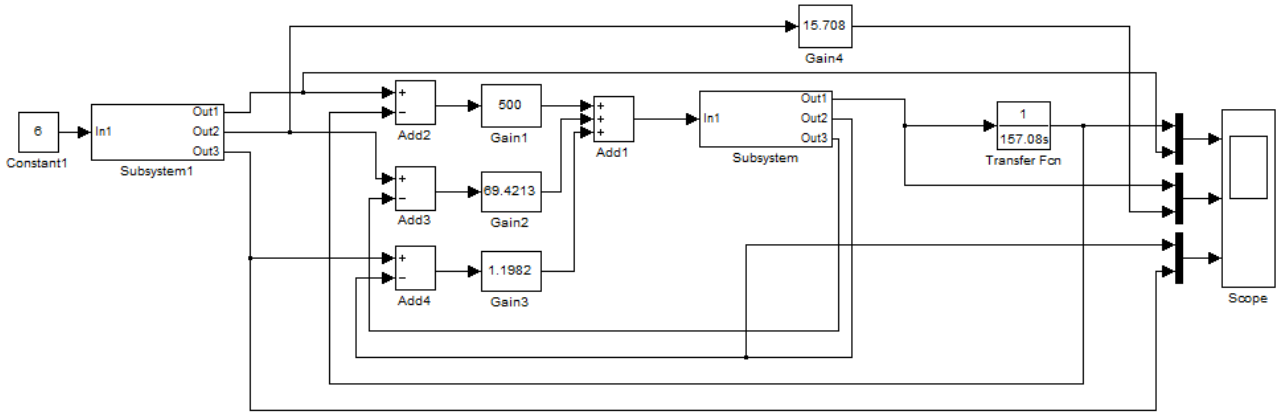


Рисунок 1. Структурна схема системи з регулюванням положення та синтезованим регулятором

На рис.2 зображені графіки перехідних процесів в системі за положенням, швидкістю і струмом статора при використанні синтезованого оптимального регулятора.

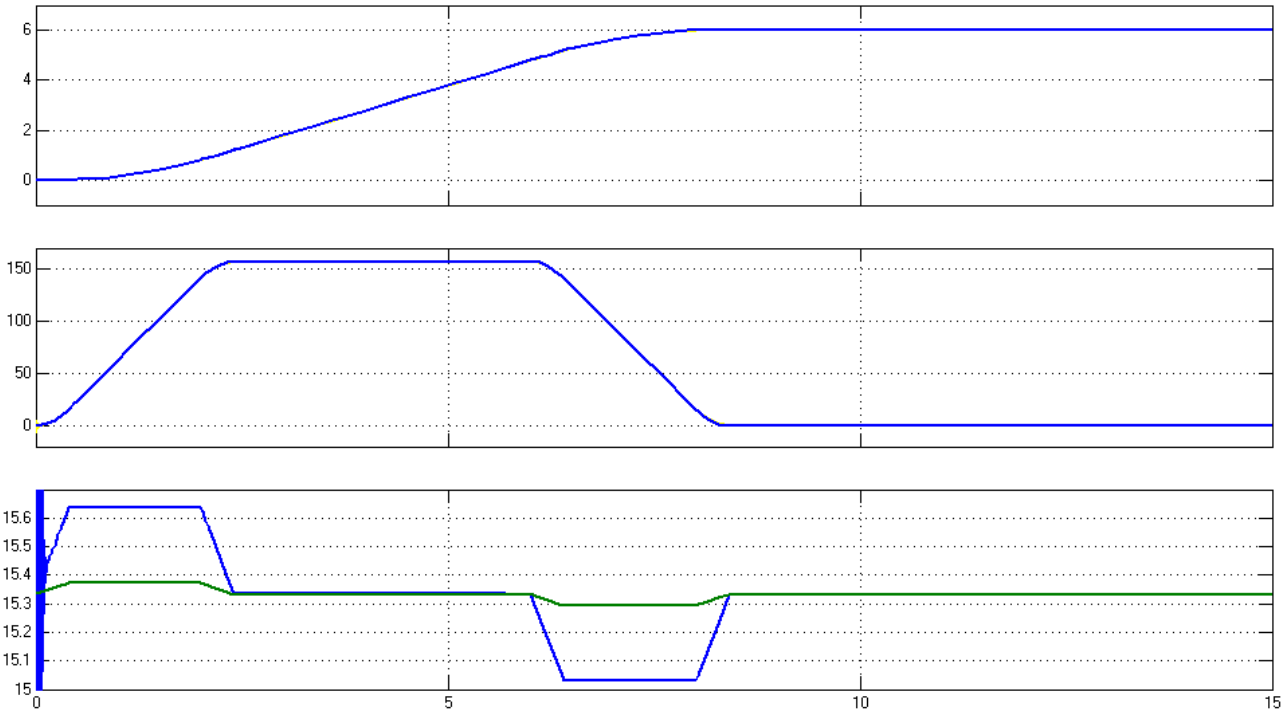


Рисунок 2. Графіки по положенню, швидкості і струму статора (задане та поточне значення).

Слід відзначити, що якість перехідних процесів за положенням, швидкістю та струмом є досить високою.

ВИСНОВКИ

Було вирішено задачу аналітичного конструювання оптимального регулятора для лінійної системи і квадратичного функціонала для системи диференційних рівнянь третього

порядку. Запропонована схема керування положенням кабіни ліфту, що забезпечує досить високу якість перехідних процесів. Подальший розвиток такого підходу можливий за рахунок врахування обмежень на керування з виходу регулятора та наявність люфтів в механічній частині ліфта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов – М.: Академия, 2004. – 576с.

2. Бесекерский В.А., Попов Е.В. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2004. – 752с.

3. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления.– М.: Наука, 1988. –256 с.

4. Александров А.Г. Аналитическое конструирование регуляторов: Уч. пос. с грифом МВ и ССО РСФСР / А.Г. Александров. - Саратов: СПИ, 1978. - 80 с.

5. Александров А.Г. и др. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 711 с.

6. Мерриэм К.У. Теория оптимизации и расчет систем управления с обратной связью/ К. У. Мерриэм . – М.: Мир, 1967 – 552с.

УДК 62-503

О. В. Данілін, К. С. Осипова

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Анотація

Дослідження можливостей застосування штучних нейронних мереж в регуляторах швидкості і моменту асинхронного електроприводу для підвищення якості регулювання та економії енергії та ресурсів. Проведено порівняльне дослідження оцінок швидкості двигуна в системі адаптивного управління з еталонною моделлю з використанням нейронної мережі з компенсацією і без компенсації зміни опору статора. Встановлено, що система управління з компенсацією опору статора покращує точність оцінок швидкості і підвищує стійкість системи до зміни параметрів навіть на дуже низьких частотах обертання двигуна.

Ключові слова

Система управління, асинхронний двигун, векторне керування, нейромережевий регулятор.

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация

Исследование возможностей применения искусственных нейронных сетей в регуляторах скорости и момента асинхронного электропривода для повышения качества регулирования и экономии энергии и ресурсов. Проведено сравнительное исследование оценок скорости двигателя в системе адаптивного управления с эталонной моделью с использованием нейронной сети с компенсацией и без компенсации изменения сопротивления статора. Установлено, что система управления с компенсацией сопротивления статора улучшает точность оценок скорости и повышает устойчивость системы к изменению параметров даже на очень низких частотах вращения двигателя.

Ключевые слова

Система управления, асинхронный двигатель, векторное управление, нейросетевой регулятор.

RESEARCH NEURAL NETWORKS IN SYSTEMS BEZDATCHYKOVOHO VECTOR CONTROL SPEED ASYNCHRONOUS ELECTRIC

Annotation

Research opportunities for application of artificial neural networks in variable speed and torque of an asynchronous electric drive to improve the quality of regulation and conserve energy and resources. A comparative study estimates the speed of the engine in the system adaptive model following control using neural network with compensation and without compensation of stator resistance variation. It established that the control system of the stator resistance compensation improves the accuracy of estimates of the rate and increase the stability of the system to changes in the parameters even at very low engine speeds.

Keywords

Management system, induction motor vector control, neural network controller.

Використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АД з КЗР) зростає через можливі технічні реалізації, в яких потрібен доступний і ефективний привід. Ці проблеми полягають у вирішення завдань управління асинхронними двигунами з регульованою швидкістю в промислових приводах.

Технічні системи працюють в умовах, що постійно змінюються, наприклад кліматичних, навантажувальних і електромагнітних впливів. У цих умовах виникає необхідність у регулюванні не тільки швидкості, а й електромагнітного моменту, тобто у

постійному підстроюванні параметрів регуляторів. Отже, електроприводи таких систем потребують спостерігачів для оцінки поточного значення параметрів двигуна, його швидкості та регуляторів швидкості і моменту для підтримки їх на заданому рівні. У зв'язку зі сказаним вище, метою цієї роботи є дослідження способів і результативності застосування ШНМ в системах управління асинхронним електроприводом, яке зводиться до вирішення цілого ряду завдань. Серед них можна назвати задачі синтезу нейронних мереж, здатних вирішувати поставлені завдання, завдання їх навчання, завдання використання НМ в якості спостерігачів поведінки системи в майбутньому, завдання чутливості до збурень і використання ШНМ, як регуляторів швидкості і моменту.

Мета роботи. Дослідження можливостей застосування штучних нейронних мереж в регуляторах швидкості і моменту асинхронного електроприводу для підвищення якості регулювання та економії енергії та ресурсів. Розроблена і досліджена чотиришарова нейронна мережа зі структурою (8-9-7-1), ШНМ спостерігача швидкості з підвищеною точністю на основі алгоритму зворотного поширення помилки, що володіє чутливістю до варіації взаємної індуктивності на низьких частотах. Проведено порівняльне дослідження оцінок швидкості двигуна в системі адаптивного управління з еталонною моделлю з використанням нейронної мережі з компенсацією і без компенсації зміни опору статора. Встановлено, що система управління з компенсацією опору статора покращує точність оцінок швидкості і підвищує стійкість системи до зміни параметрів навіть на дуже низьких частотах обертання двигуна.

У даній роботі для оцінки швидкості ротора АД запропонована статична чотиришарова нейронна мережа попереджувального статичного ANN зі структурою 8-9-7-1 (8 нейронів у вхідному шарі, 9 нейронів у другому, 7 у третьому і один нейрон у вихідному шарі). Використані функції tansigmoid, як функції активації в прихованих шарах а у вихідному шарі - лінійна функція. Обрана таким чином штучна нейронна мережа була отримана методом проб і помилок. До восьми перших прихованих нейронів під'єднані вісім вхідних сигналів. Причому всі компоненти струмів і напруг статора представлені в стаціонарній системі координат α , β на k^{th} і $(k - 1)^{th}$ кроках моделювання і $i_{I\alpha}$ (k), $i_{I\alpha}$ (k - 1), $i_{I\beta}$ (k), $i_{I\beta}$ (k - 1), $u_{I\alpha}$ (k), $u_{I\alpha}$ (k - 1), $u_{I\beta}$ (k), $u_{I\beta}$ (k - 1). Вихідним значенням ШНМ є швидкість оберту ротора на κ^{th} кроці моделювання ω(к). Топологія запропонованої ШНМ показана на рис. 1

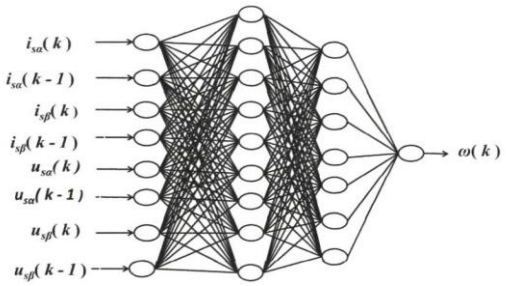


Рис.1 Топологія ШНМ

В систему управління для перевірки точності визначення взаємної індуктивності включена статична багатошарова нейронна мережа, як параметр спостерігача. Ця багатошарова нейронна мережа використовує файли, що включають розрахункові компоненти векторів струмів та напруг з урахуванням насичення основного магнітного ланцюг. БНМ яка пройшла навчання, таким чином, чутлива до оцінки помилки взаємної індуктивності, яка присутня в якості важливого параметра в спостерігачі. Цієї чутливості достатньо для розрахунку різниці між фактичною швидкістю обертання ротора ω і оцінкою швидкості ώ штучної нейронної мережі. Задаючи різні значення Lm в спостерігачі векторної

системи управління, можна зробити висновок про правильність вибору цих значень.

Штучна нейронна мережа в даній роботі навчалася з метою оцінки значень швидкості ротора в області низьких швидкостей. У цій області, для вивчених режимів роботи АД , дуже важливим фактором є насичення головного потоку магнітного ланцюга. ШНМ навчалася з урахуванням «точного» значення взаємної індуктивності. Для тренування були обрані три значення відносної швидкості ротора: ω = 0,02, ω = 0,08, ω = 0,12. Ці значення відносної швидкості покривають частоти перетворювача в діапазоні від 1 до 8 Гц. Для тестування ШНМ використовувалися так звані тестувальні файли, які містять тільки «свіжі» вхідні дані, які раніше штучною нейронною мережею не використовувалися. Для тестування вибирався тестовий режим з відносною швидкістю ротора ω = 0,06 із ступінчастою зміною моменту навантаження від m_{t1} = 0до $m_{t2} = m_{tн} = 0{,}65$, де $m_{tн}$ - номінальна швидкість ротора.

Тести показали, що реальна швидкість узгоджується зі значеннями, які дали оцінки за допомогою ШНМ. Для області перехідних процесів (за проміжок часу (t <0,03 с), розбіжність між реальними даними та оцінкою, більше, ніж в області сталого режиму (t <0,03 с). Середнє значення оцінки відносної швидкості ротора в сталому режимі дорівнює 0, 02, що узгоджується з точністю в 1% з реальною швидкістю.

Обчислювалися також значення стандартних середньоквадратичних значень відхилення оцінки від реальних значень для сталого режиму за формулою (1)

$$\sigma = \sqrt{f\ \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\omega_k - \bar{\omega})^2} \quad (1)$$

де n - кількість аналізованих значень оцінок швидкості ротора (в даному випадку n = 4000); оцінка швидкості ротора на k-му кроці моделювання; ω - середнє значення оцінки швидкості в сталому режимі. В даному випадку σ = 0,0019.

Отже, ґрунтуючись на середніх значеннях і значеннях середньоквадратичних відхилень, можна сказати, що ШНМ у розглянутому випадку з достатньою точністю оцінює значення реальної швидкості ротора АД. Були обчислені реальні та оціночні значення швидкості ротора для трьох значень відносної швидкості ротора ω^*=0,02; ω^* =0,08; ω^* = 0,12. Результати представлені на рис. 1, 2 и 3.

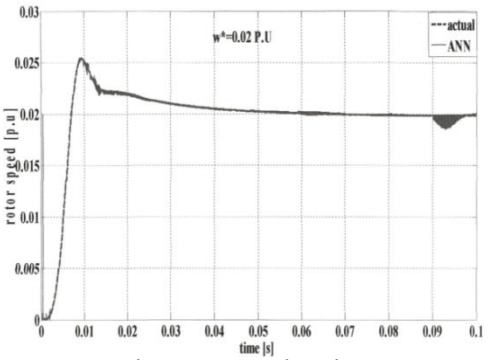


Рис. 1. Реальні значення і оцінки швидкості ротора при ω^* = 0,02.

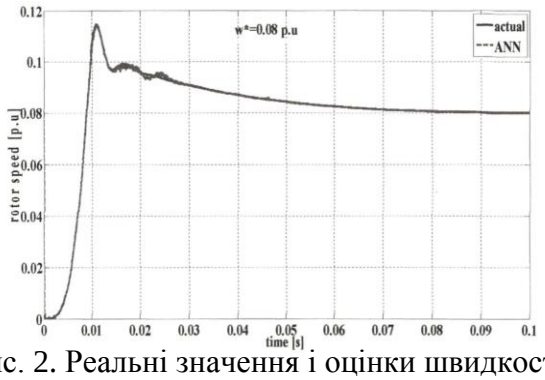


Рис. 2. Реальні значення і оцінки швидкості ротора при ω^* = 0,08.

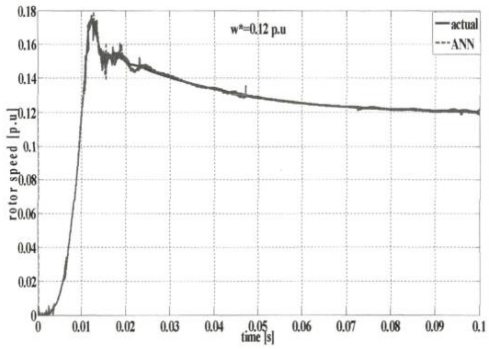


Рис. 3. Реальні значення і оцінки швидкості ротора при $\omega^* = 0{,}12$.

Рис. 4. Реальні значення швидкості ротора за оцінкою спостерігача і за оцінкою ШНМ.

Як засіб визначення точності оцінки значення взаємної індуктивності в роботі запропоновано використовувати ШНМ. Для того, щоб показати застосовність ШНМ для зазначеної мети, був обраний режим роботи АД з накладанням навантаження у вигляді сходинки. Якщо як похибки довільно вибрати оцінки величини Lm* в сталому режимі значення 5,2 % (реальне значення Lm = 1,2963, вибране значення Lm* = 1,3635), то виходить результат , зображений на рис. 4 . Нові результати в сталому режимі після зміни Lm на 5,2 %. Тепер оцінене за допомогою ІНС значення швидкості ротора ω * = 0,02 з похибкою 9,8 % на інтервалі часу 0,056 - 0,1 с. Отже, σ = 0,027. Звідси можна зробити висновок, що ІНМ більш чутлива до визначення значень Lm, ніж аналізований спостерігач. Якщо підключити спостерігач і ШНМ для роботи паралельно, то ШНМ може бути використана для оцінки правильності вибору значень взаємної індуктивності.

Висновки. Значення результатів дослідження полягає в розробці алгоритмів і програм для систем векторного управління, розробці рекомендацій для проектувальників електроприводів. Зрештою, результати проведених досліджень при впровадженні в практику повинні дати підвищення якості регулювання електроприводів. Останнє, у свою чергу, підвищує надійність роботи електроприводів і призводить до економії електроенергії і ресурсів.

Список використаних джерел

1. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ.—М. Издательский дом"Вильямс", 2006. —1104 с

2. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие - СПб: Корона принт, 2001. - 320с

3. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. - Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. —М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 208 с

4. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive control /Reading MA: Addison Wesley,1994-574 P.

УДК 62-503

О. В. Данілін, О.М. Чугунов

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНОГО І НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО РЕГУЛЯТОРІВ ПРИ ВЕКТОРНОМУ КЕРУВАННІ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ.

Анотація

У даній статті розроблено та проаналізовано реалізації інтелектуального контролера для векторного керування швидкістю асинхронного двигуна. Описана і прорахована в програмі MATLAB повна математична модель асинхронного двигуна потужністю 37 кВт з ротором типу « біляче колесо». Виконано порівняння якості регулювання пропорційно - інтегрального (ПІ) і нейромережевого (НМ) регуляторів швидкості. Застосована ІНМ з 20 нейронами в прихованому шарі, заснована на алгоритмі «зворотного поширення помилки». Встановлена більш висока ефективність запропонованого ІНМ контролера в порівнянні з ефективністю ПІ регулятора.

Ключові слова

Система управління, асинхронний двигун, векторне керування, нейромережевий регулятор.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО И НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.

Аннотация

В данной статье разработаны и проанализированы реализации интеллектуального контроллера для векторного управления скоростью асинхронного двигателя. Описана и просчитана в программе MATLAB полная математическая модель асинхронного двигателя мощностью 37 кВт с ротором типа «беличье колесо». Выполнено сравнение качества регулирования пропорционально- интегрального (ПИ) и нейросетевого (НС) регуляторов скорости. Применена ИНС с 20 нейронами в скрытом слое, основанная на алгоритме «обратного распространения ошибки». Установлена более высокая эффективность предложенного ИНС контроллера по сравнению с эффективностью ПИ регулятора.

Ключевые слова

Система управления, асинхронный двигатель, векторное управление, нейросетевой регулятор.

PRODUCTIVITY PROPORTIONAL INTEGRAL AND NEURAL NETWORK REGULATORS WITH VECTOR CONTROL OF INDUCTION MOTORS.

Annotation

This article is developed and analyzed implementing intelligent controller for the speed vector control of induction motor. Described and costed in the program MATLAB complete mathematical model of asynchronous motor power 37 kW with a rotor of the "squirrel wheel ". Comparison of the quality of regulation proportional- integral (PI) and neural network (NN) controllers speed. Applied ISM with 20 neurons in the hidden layer based on the algorithm "back propagation". Installed a high efficiency of the ISM controller performance compared to PI controller.

Keywords

Control system, asynchronous motor, vector control, neural network controller.

Асинхронний двигун є найбільш простим в експлуатації і відносно дешевим у виготовленні в порівнянні з іншими електричними машинами. В останні десятиліття досягнення в галузі напівпровідникової перетворювальної техніки й теорії машин змінного струму дозволили отримати високодинамічні системи електроприводів на базі асинхронного

двигуна. Подальше розширення області застосування економічного асинхронного електроприводу показало , що це складний динамічний об'єкт для якісного управління яким необхідні нетрадиційні алгоритми. З іншого боку в останні десятиліття отримали новий розвиток нейромережеві методи управління динамічними об'єктами . Передумовою до чого була поява швидкодіючих мікропроцесорів і спеціалізованого програмного забезпечення. Впровадження нейромережевих технологій в системи управління асинхронним електроприводом дозволяє поліпшити функції управління та ідентифікації, підвищити робастність систем управління. Таким чином, питання дослідження нейромережевих систем керування асинхронним електроприводом є актуальним завданням.

Розроблено та проаналізовано реалізації інтелектуального контролера для векторного керування швидкістю асинхронного двигуна. Описана і прорахована в програмі MATLAB повна математична модель асинхронного двигуна потужністю 37 кВт з ротором типу « біляче колесо». Виконано порівняння якості регулювання пропорційно - інтегрального (ПІ) і нейромережевого (НМ) регуляторів швидкості. Застосована ІНМ з 20 нейронами в прихованому шарі, заснована на алгоритмі «зворотного поширення помилки». Встановлена більш висока ефективність запропонованого ІНМ контролера в порівнянні з ефективністю ПІ регулятора.

Як було вище зазначено, для виконання навчання багатошарових персептронів був застосований алгоритм зворотного поширення помилки.

На рис.1 показана структурно-динамічна схема векторного керування швидкістю асинхронного двигуна (ВКАД). Асинхронний двигун працює під управлінням токового регулятора. Двигун приводить в рух механічне навантаження з моментом інерції J, і моментом навантаження m_c. У замкнутому контурі управління швидкістю замість
ПІ регулятора використовується нейромережевий контролер, який генерує квадратурний опорний струм iq по осі q, для регулювання величини крутного моменту двигуна

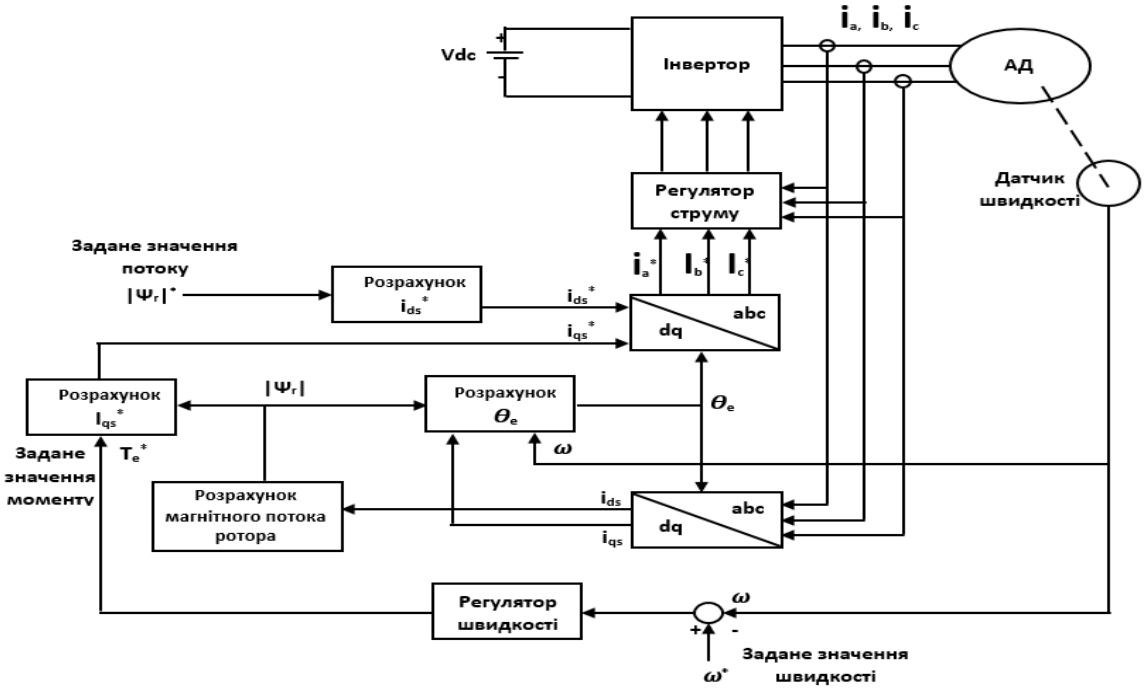


Рисунок. 1. Структурно-динамічна схема векторного керування швидкістю асинхронного двигуна.

У програмі Matlab було виконано симулювання векторного керування АД з використанням ПІ регулятора

Результати з ПІ регулятором:

Випадок І. Результати в режимі пуску в момент часу t = 1,75с на холостому ходу: струм двигуна $1_{a}ъc$ = 467 *А,* обертовий момент m = 322 Н м.

Випадок ІІ. Результати після накладення навантаження в 60 Н м в момент часу t =2,2 с: струм двигуна $1_{a}ъc$ =55 А, обертовий момент m =107 Н м

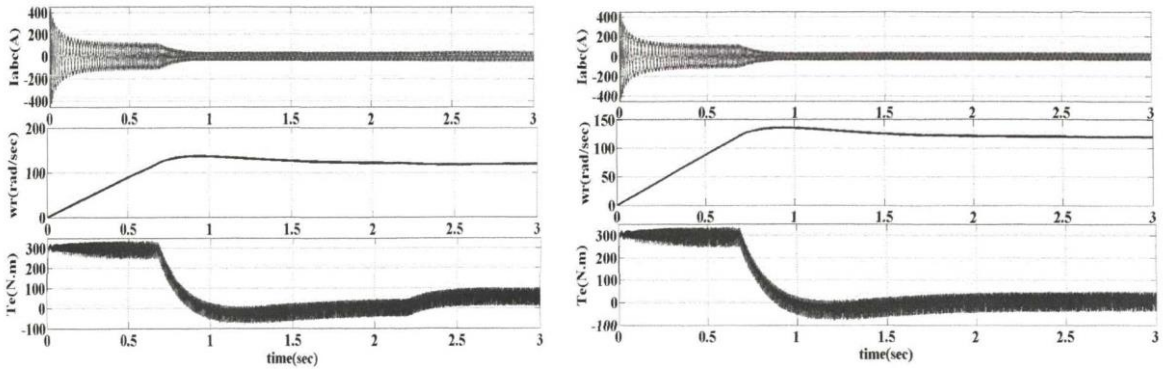


Рис. 2 Результати роботи ВКАД з ПІ регулятором.

Результати нейромережевого керування з передбаченням:

Випадок-І. Результати в режимі пуску в момент часу t = 1,75 с на холостому ходу струм двигуна $1_{a}b_{c}$ = 405А, обертовий момент m = 235 Н-м.

Випадок ІІ. Результати після накладення навантаження в 60 Н-м в момент часу t = 2,2 с: струм двигуна $1_{a}b_{c}$ = 49А, обертовий момент m = 95 Н-м.

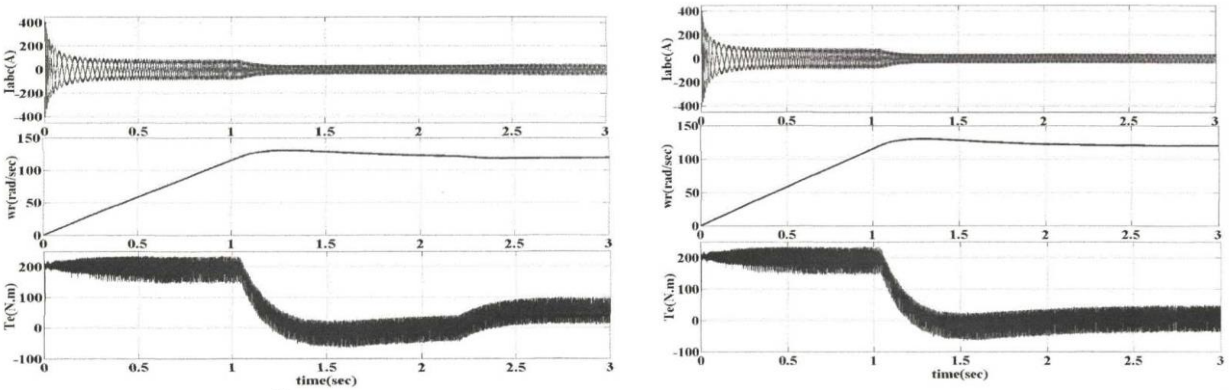


Рис. 3 Результати роботи ВКАД с нейромережевим контролером

Висновки.

НС контролер є більш стійким до змін параметрів двигуна, ніж ПІ регулятор в умовах збурень по навантаженню.

Ефективність НС контролера за певними характеристиками двигуна (наприклад, поточному току і моменту) значно краще, ніж у ПІ регулятора при тих же умовах. В цілому, якість регулювання НС контролера значно краще, ніж у ПІ.

За допомогою моделювання в програмі Matlab Simulink проведено дослідження роботи

Таблиця 1. Значення струму і крутного моменту електроприводу з ПІ і НМ регуляторами.

	Перехідний процес		Стаціонарний стан		З навантаженням 60 *Н м*	
	I_{abc}, А	*m,Н м*	I_{abc}, А	*m,Н м*	I_{abc}, А	*m,Н м*
ПІ	467	322	33	32	55	107
НМ	405	235	31	30	49	95

Розроблено та досліджено структурні схеми НМ спостерігача з різною кількістю нейронів в середньому шарі в системі частотного регулювання асинхронного двигуна для вимірювання поведінки струму ротора, заснованого на завданні струму статора. Досліджувана ІНМ була навчена на пасивній ланці, до якої не прикладалися дію проти - ЕРС. Тому ІНМ навчена на пасивній ланці з незначною зміною частоти комутації, не в змозі адекватно працювати з сигналами в системі релейного ШІМ - АД . Отже, навчання ІНМ необхідно виробляти на сигналах тієї системи (середовища або об'єкта). За допомогою моделювання в програмі Matlab Simulink проведено дослідження роботи ІНС в системах векторного керування швидкістю АД в порівнянні з ПІ регулятором. Синтезований і досліджений в статичних і динамічних режимах нейромережевий регулятор з 20 нейронами в прихованому шарі та прогнозуванням. Результати отримані для режимів роботи: пуск на холостому ходу і з навантаженням , раптове збільшення навантаження в сталому режимі. Показано, що за величинами струму двигуна, крутного моменту і швидкості, ефективність НМ контролера виявилася краще, ніж у ПІ регулятора швидкості.

Список використаних джерел

1. Зунг Ч. А. Разработка и исследование адаптивных систем управления нелинейными электромеханическими объектами с упругимидеформациями / Дис. кан. техн. наук / СПб.: СПбГЭТУ, 2008.-174 с.
2. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С.Осовский; пер. с польского И.Д. Рудинского. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344с.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008. 298 с.
4. Steven T. Karris "Introduction to Simulink with Engineering Applications", second edition, Orchard Publications: USA. 2008. —716 P.
6. K.S. Narendra and K. Parthasarathy. Identification and control for dynamical systems using neural networks . IEEE Trans. Neural Networks, NN-1,1,4-27, 1990.
7. Y. Edward, Y. Ho and C. Paresh .Control dynamics of speed drive systems using sliding mode controllers with integral compensation. IEEE Trans. On Industry Applications, Vol.,27, No.5, Sept-Oct. 1991.
8. Jie Zhang and T.H. Burton. New approach to field orientation control of CSI induction motor drive. IEE Proceedings, Vol.135,Pt. B. No.1; January 1988.
9. B. Burton and F. Kamran. Identification and control of induction motor stator currents using fast on-line random training of neural networks. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.33,No.3,May-June,1997.
10. D. Nguyen and B. Widrow. Improving the learning speed of two layer neural networks by choosing initial values of adaptive weights. Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks, San Diego, CA, pp.21-26, july, 1990.

УДК 62-831.2

Преподобна Г.Ю.

Аналіз енергоефективності асинхронного електроприводу з коректором коефіцієнта потужності

Analysis of the Efficiency of asynchronous electric power factor corrector

Анализ энергоэффективности асинхронного электропривода с корректором коэффициента мощности

Ключові слова : асинхронний електропривод , коректор коефіцієнта потужності , енергоефективність.

Актуальність теми : Забезпечення енергоефективної роботи технологічного устаткування досягається шляхом використання енергозберігаючих систем автоматизованого електроприводу. Одним з маловивчених способів побудови таких систем є асинхронний електропривод з коректором коефіцієнта потужності , дослідження якого , безсумнівно , є актуальним завданням.

Матеріали і методи: Для вирішення поставленого завдання використані методи математичного моделювання із застосуванням багаторівневих структурних моделей елементів електроприводу і постановкою обчислювальних експериментів у середовищі Simulink / MatLab .

Результати : Розглядається система управління коректором коефіцієнта потужності на основі boost - перетворювача. Запропоновано формули і рекомендації з налаштування регуляторів системи керування. Представленні моделі частотно - регульованого асинхронного електропривода з коректором коефіцієнта потужності .

Висновки: Обчислювальні експерименти з розробленими моделями показали , що використання коректора коефіцієнта потужності дозволяє значно підвищити коефіцієнт потужності (до 0,95) , поліпшити гармонічний склад і зменшити більш ніж на 10 % споживання струму з мережі. Включення до складу асинхронного електроприводу коректора коефіцієнта потужності сприяє підвищенню енергоеффектіності технологічного обладнання.

Energy efficiency analysis of induction motors with a power factor corrector

Prepodobna G.U.

Background : The energy efficiency of process equipment is achieved by using automatic electric drive energy conser ¬ vation systems . One of the little - known ways to build such systems is induction motor electric drive with power factor cor ¬ rection (PFC) , therefore , it is currently very important to study such drives .

Materials and methods : To solve this problem we used mathematical modeling techniques employing multi - level struc ¬ tural models of the electric drive components and conducted numerical experiments in the Simulink / MatLab environment . Results : The paper discusses a power factor corrector convertor - based control system . It also suggests formulas and recommendations for adjusting control system regulators . The paper represents models of variable - frequency induction motor drives with a power factor corrector .

Conclusions : The conducted computational experiments with the developed models have shown that the use of a power factor corrector can significantly increase the power factor (up to 0.95) , improve the harmonic content and reduce the current consumption in the network by over 10 %. Introduction of a power factor corrector into the induction motor electric drive increases the energy efficiency of process equipment .

Key words : induction motor electric drive , power factor correction , energy efficiency .

Найбільшого поширення в промисловості приводного двигуна знаходить трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Повсюдне його застосування обумовлене високою надійністю , а також порівняно низькою вартістю .

Сучасний асинхронний електропривод реалізується на базі силової полу провідників техніки із застосуванням мікропроцесорного управління . Переважна більшість сучасних асинхронних електроприводів реалізовані на базі двох ланкового перетворювача частоти (ПЧ) , які, як правило , виконані за схемою « некерований випрямляч - ємнісний фільтр - транзисторний інвертор напруги з широтно- імпульсною модуляцією (ШІМ) вихідної напруги » (рис. 1) .

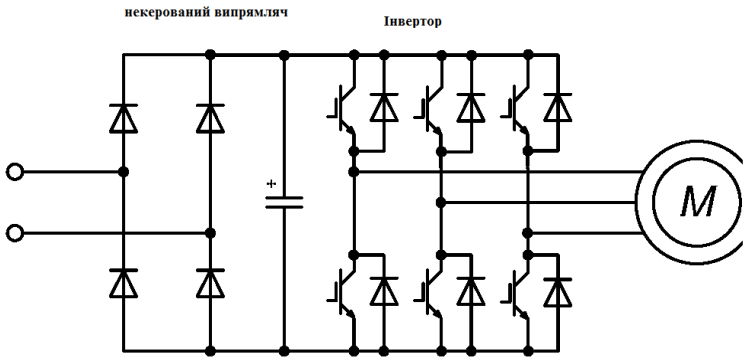


Рис.1.Схема двох ланкового перетворювача частоти

Основними ланками даних ПЧ є випрямляч з фільтром і інвертор .

Переваги двох ланкового ПЧ з ланкою постійного струму:можливість отримання на виході ПЧ широкого діапазону частот , незалежного від частоти живильної мережі і повністю покриває потреби приводів різного призначення , в тому числі високошвидкісних , середньо швидкісних і тихохідних , прецизійних приводів з широким і над широким діапазоном регулювання швидкості ;можливість використання відносно простих силових схем і систем управління ПЧ для приводів з невисокими вимогами в частині діапазону регулювання , швидкодії та інших показників ;можливість нарощування складності силової частини і системи управління ПЧ пропорційно рівню підвищення вимог до приводу без надмірної надмірності системи;можливість реалізації в порівняно мало елементної структурі ПЧ різноманітних алгоритмів керування , що задовольняють вимогам , що пред'являються до ЕП різного призначення ;легкість трансформації ПЧ для роботи в установках з харчуванням електрообладнання від автономних джерел або локальної мережі постійного струму.

Діаграма стану ключів інвертора при кутовий тривалості замкнутого стану ключів (відкритого стану транзисторів, що працюють у ключовому режимі) , рівний π , представлена на рис.2.

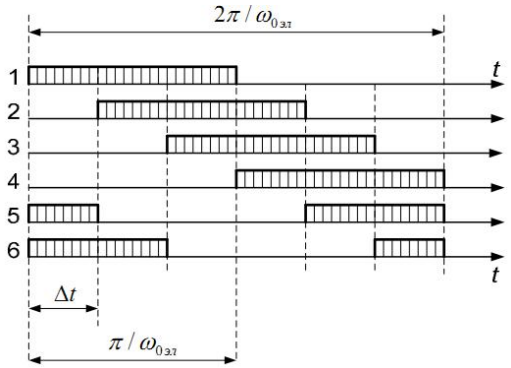


Рис.2. Діаграма стану ключів інвертора

У кожен даний момент часу замкнуті три ключа. Стан ключів змінюється через кожну шосту частину періоду , тривалість якої в одиницях часу Δt визначається заданим значенням частоти на виході інвертора як

$$\Delta t = \pi/(\omega_{0ел})$$

Існує велика кількість варіантів схемного виконання ККП , однак найбільш простим і економічним є варіант реалізації ККП на базі підвищувального перетворювача напруги (boost - перетворювача) . Структура асинхронного електроприводу з таким ККП представлена на рис. 3 [1] .

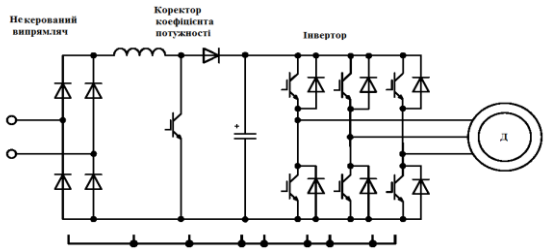


Рис.3. Силова схема асинхронного електроприводу з коректором коефіцієнта потужності

Структура системи керування ККП на основі boost- перетворювача представлена на рис 4.

Система складається з двох контурів: внутрішнього контура струму і зовнішнього контура напруги. Система оперує з відносними одиницями, тому всі вхідні параметри ,такі ж як вхідна напруга, струм дроселя і вихідна напруга, переведені у відносні одиниці з урахуванням коефіцієнтів K_f, K_s, K_d.

ля дослідження актуальності застосування ККП в асинхронному електроприводі в пакеті розширення Simulink середовища інженерних розрахунків Matlab було створено дві моделі [4] .

У першій моделі представлений частотно - регульований асинхронний електропривод , працюючий в скалярному режимі , без ККп (рис. 5) .

Силова частина моделі виконана з використуванням елементів бібліотеки Power System , а керуюча частина - за допомогою математичних функціональних блоків бібліотеки Simulink .

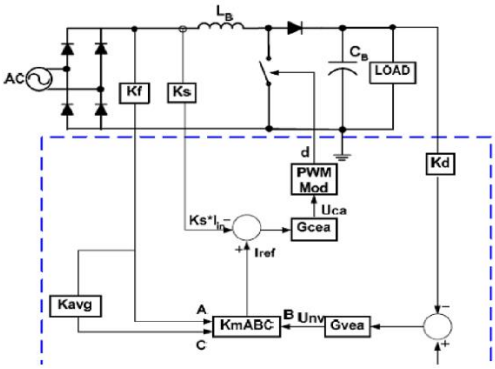


Рис.4. Структура системи керування ККП:
АС – однофазне джерело змінної напруги
L_s-дросель
C_s-електролітичний конденсатор

Мережа живлення представлена блоком AC Voltage Source (220 В , 50 Гц) , некерований випрямляч - блоком Universal Bridge (однофазний мостовий випрямляч) , конденсатор (2 мФ) , транзисторний інвертор - блоком Universal Bridge (трифазний транзисторний інвертор) , асинхронний електродвигун - блоком Asynchronous Machine . [2,с 46-59]

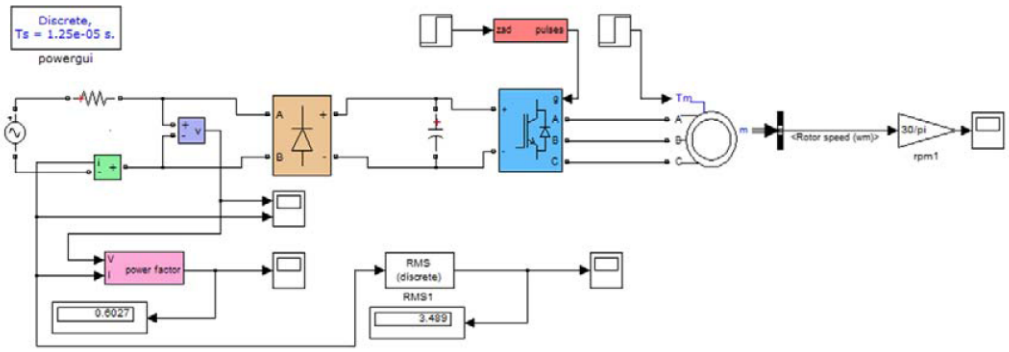


Рис.5. Математична модель асинхронного електроприводу без ККП

Потужність двигуна 0,25 кВт . Блок розрахунку коефіцієнта потужності обчислює значення коефіцієнта потужності в ході експерименту , його внутрішня структура представлена на рис. 6 .

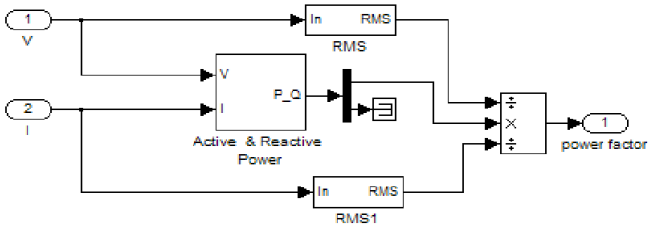


Рис.6. Блок розрахунку коефіцієнта потужності

Асинхронний електропривод працює в скалярному режимі зі стандартним законом управління U / f = const .

Результати моделювання представлені на рис. 7 і 8 , на рис. 9 показаний результат проведеного гармонійного аналізу споживчого з мережі струму.

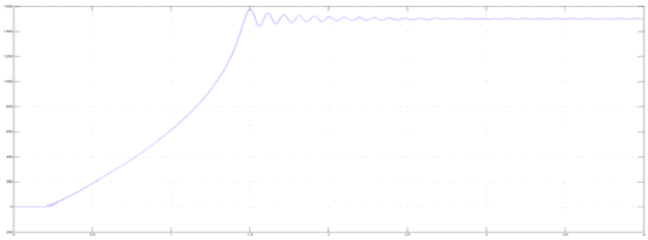


Рис.7. Перехідний процес по швидкості

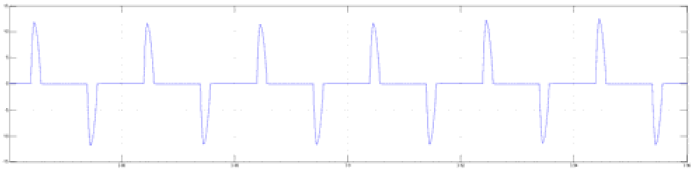


Рис.8. форма споживчого з мережі струму

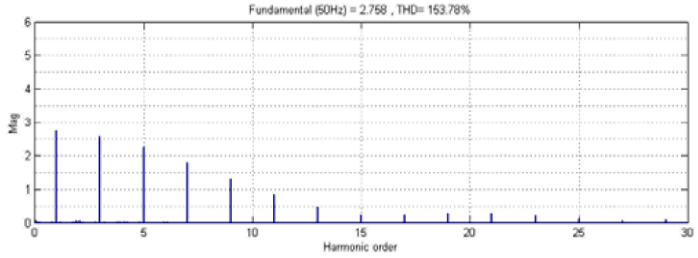


Рис.9. Гармонійний аналіз споживчого з мережі струму

У другій моделі представлений скалярний асинхронний електропривод з ККМ (рис. 9)

.

Вихідні дані для розрахунку системи управління такі : потужність P = 400 Вт ; частота змінного струму мережі f= 40-65 Гц; мінімальна вхідна напруга V_{in_min} = 100 В; максимальне вхідний напруга V_{in_max} 410 В; мінімальна вихідна напруга V_{out_min} = 100 В; максимальна вихідна напруга V_{out_max} = 410 В; напруга на виході V_{out} = 380 В; ємність конденсатора С = 1 мФ ; індуктивність дроселя L = 1,2 мГн ; частота роботи микропроцесорної системи управління f_s = 80 кГц; частота комутації дроселя f_{sw} = 80 кГц; частота роботи регулятора контуру струму f_{cl}= 80 кГц; частота роботи регулятора контуру напруги f_{cv} = 200 кГц.

Максимальний струм дроселя розраховується за формулою

$$I_{max} = \frac{2P}{V_{in_min}} = \frac{2 \cdot 400}{100} = 8A. \quad (1)$$

Коефіцієнти K_f, K_s, K_d і Km розраховують наступним чином:

$$K_f = \frac{1}{V_{in_min}} = \frac{1}{410} = 2{,}439 \cdot 10^3 \quad (2)$$

$$K_d = \frac{1}{V_{in_max}} = \frac{1}{410} = 2{,}439 \cdot 10^3 \quad (3)$$

$$K_s = \frac{1}{I_{max}} = \frac{1}{8} = 0.125 \quad (4)$$

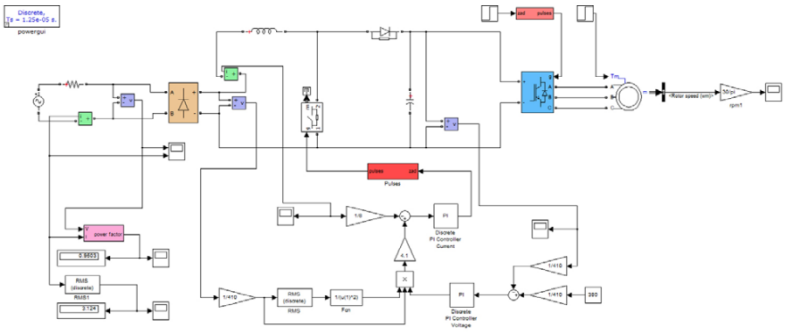


Рис.10. Математична модель асинхронного електропривода з ККП

При розрахунку параметрів ПІ- регулятора контуру струму приймемо частоту зрізу регулятора струму f_{zero_i}= 800 Гц , тоді параметри будуть розраховуватись наступним чином:

$$K_{pi} = \frac{2\pi f_{ci} L}{K_s V_{out_max}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot 1.2 \cdot 10^3}{0.125 \cdot 410} = 11.769 \quad (5)$$

$$T_{ci} = \frac{1}{2\pi f_{zero_i}} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 800} = 1.989 \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

$$K_{ii} = \frac{K_{pi}/T_{ci}}{f_s} = \frac{11.769/1.989 \cdot 10^{-4}}{80 \cdot 10^3} = 0.739 \quad (7)$$

Блок розрахунку коефіцієнта потужності показав PF = 0,95. Середнє значення потреб ¬ ленного з мережі струму склало 3,1 А. [5,с 416]

Результати моделювання представлені на рис. 11 і 12 .

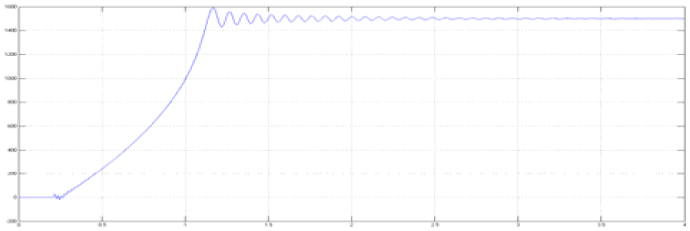


Рис.11. Перехідний процес по швидкості

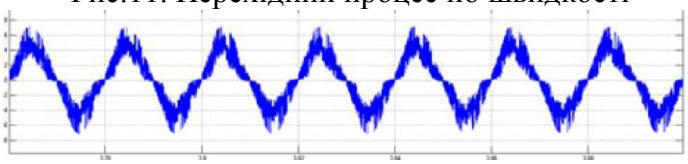


Рис.12. форма споживчого з мережі струму

Висновок

Модель електроприводу з ККП має такі переваги , порівняно з моделлю без ККП : вищий коефіцієнт потужності (0,95 проти 0,6) ; кращий гармонійний склад споживаного з мережі струму (в моделі з ККП форма струму більш наближена до синусоїди) ; більш висока енергоефективності (модель без ККП в статиці споживає з мережі 3,5 а , а модель з ККП тільки 3,1 а) .

Таким чином, проведене математичне моделювання показало доцільність застосування ККП в частотно - регулируемих асинхронних електроприводах .

Література

1 . Muhammad H. Rashid . Power Electronics Hand ¬ book / / Academic Press . - 2006 . - ISBN 0120884798 .

2 . Міддлбрук Р.Д. Малосигнальної моделювання ключових перетворювачів потужності з широтно- імпульсним регулюванням / / ТІІЕР . - 1988 . - Т. 76 , № 4 . - С. 46-59 .

3 . Амеліна М.А. Моделювання ІІВЕП (SMPS) . Лекції для магістрантів по Курс «Сучасні методи аналізу і моделювання електронних пристроїв»

[Електронний ресурс] https://docs.google.com/file/d/0B_zuGjoSJdggMU9jMnBqR0JfTl U

4 . Герман - Галкін С.Г. Комп'ютерне моделювання ¬ ня напівпровідникових систем в Matlab 6.0: навч. посібник. -СПб. : КОРОНА принт, 2001 . - 320 с.

References

1 . Muhammad , H. Rashid . Power Electronics Handbook . Academic Press , 2006 , ISBN: 0120884798 .

2 . Middlbruk , R.D. Malosignal'noe modelirovanie klyuchevykh preobrazovateley moshchnosti s shirotno - impul'snym regulirovaniem [Small signal modeling of key power converters with PWM regulation] . TIIER , 1988 , t . 76 , no . 4 , pp . 46-59 .

3 . Amelina , M.A. Lektsii dlya magistrantov po kurcu « Sovremennye metody analiza i modelirovaniya elektronnykh ustroystv » [Modeling IIVEP (SMPS) . Lectures to undergraduates kurcu « Modern methods of analysis and modeling of electronic devices »] . Available at : https://docs.google.com/file/d/0B_zuGjoSJdggMU9jMnBqR0JfTl

УДК 62-533.65

А.В. Торопов, Є.О. Скуратовский

КВАЗИОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ З ВАРІАЦІЯМИ СТАЛОЇ ЧАСУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Спроектована структурна схема системи регулювання температури припливного повітря з урахуванням різниці величин сталих часу нагріву та охолодження. Використовуючи метод Беллмана – Ляпунова було розраховано квазіоптимальний регулятор. Також використовуючи синтезований регулятор та класичний ПІД-регулятор отримано графіки перехідних процесів за температурою.

Ключові слова: припливне повітря, система вентиляції, квазиоптимальне керування, рівняння Ріккаті, метод Пірсона.

КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА С ВАРИАЦИЯМИ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Спроектирована структурная схема системы регулирования температуры приточного воздуха с учетом разницы величин постоянных времени нагрева и охлаждения. Используя метод Беллмана – Ляпунова был рассчитан квазиоптимальный регулятор. Так же, используя синтезированный регулятор и классический ПИД-регулятор, получены графики переходных процессов по температуре.

Ключевые слова: приточный воздух, система вентиляции, квазиоптимальное управление, уравнения Риккати, метод Пирсона.

QUASIOPTIMAL CONTROL OF SUPPLY AIR TEMPERATURE WITH VARIATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS TIME

Block diagram of the control system of supply air temperature for the difference values of the time constants of heating and cooling was designed. Using the method of Bellman - Lyapunov quasi-optimal regulator was calculated. Also, using a synthesized regulator and the classic PID-regulator transients of temperature were received.

Key words: supply air, ventilation system, quasi-optimal regulator, Riccati equation, the method of Pearson.

Вступ. Останнім часом в системах вентиляції адміністративних будівель широко застосовуються системи кількісного регулювання температури повітря, що надходить в приміщення. Такий підхід дозволяє заощадити паливно-енергетичні ресурси, оскільки клапан, що регулює подачу теплоносія в калорифер в нормальному режимі роботи постійно відкритий, а зміна подачі повітря забезпечується за рахунок наявності перетворювача частоти, що регулює швидкість обертання двигуна вентилятора.

Хоча така система й здатна забезпечити високий ККД, проте він не досягає свого можливого максимуму в зв’язку з наявністю нелінійностей в даній системі. По-перше, це нерівність постійних часу нагріву та охолодження. По-друге, найвагоміша не лінійність – обмеження максимального прискорення вентилятора, що залежить від параметрів двигуна, а також його сповільнення, що не повинне призвести до переходу двигуна в генераторний режим.

Таким чином, наявність нелінійностей робить неможливим налаштувати ПІД-регулятор на оптимальний режим в усіх режимах роботи системи. Потрібно залучати висококваліфікований персонал з глибоким знанням теорії автоматичного керування,

оскільки навіть автоматичне налаштування регулятора не дозволить підібрати такі коефіцієнти, щоб отримати максимальний ККД в системі. Проте, навіть залучення таких спеціалістів, формування нечіткої логіки керування системою вентиляції не призводить до оптимального режиму, а лише наближає до нього. Отже, задача знаходження такого алгоритму керування, який забезпечував би високу точність та оптимальний режим роботи з максимальним ККД є невирішеною.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є визначення алгоритму керування, що забезпечує високу точність регулювання температури та оптимальний режим роботи з енергетичної точки зору.

Результати дослідження. Структурна схема системи кількісного регулювання температури припливного повітря представлена на рис.1.

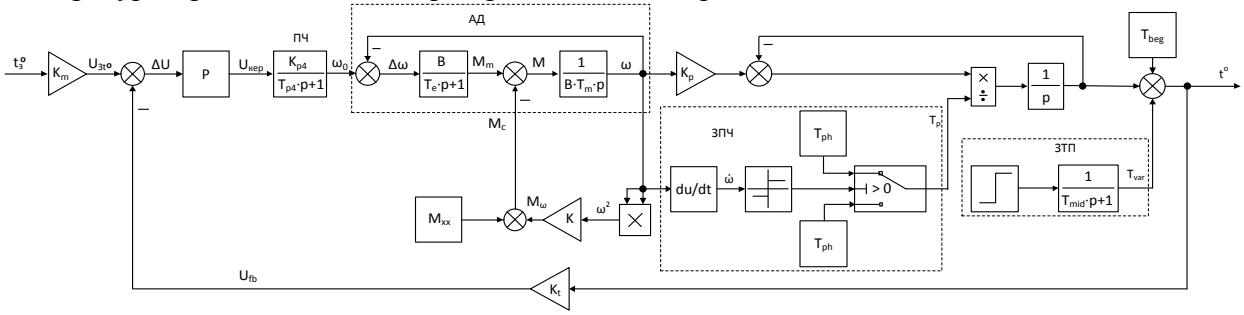


Рисунок 1 - Структурна схема системи регулювання температури припливного повітря

На рис. 1 введено такі позначення: $t_{зт^o}$ - задана температура припливного повітря (уставка); - сигнал завдання температури; Р –регулятор температури; ПЧ – перетворювач частоти; АД – асинхронний двигун; K_p – коефіцієнт підсилення нагрівання припливного повітря; T_{beg} – температура повітря в приміщенні до роботи системи регулювання; ЗТП – зміна температури повітря в приміщенні; ЗПЧ – зміна постійної часу нагріву в залежності від знаку приросту швидкості обертання вентилятора; M_{xx} – статичний момент холостого ходу двигуна; M_ω – статичний момент, що залежить від швидкості обертання крильчатки; K_t – коефіцієнт передачі датчика температури.

Для синтезу оптимального регулятора застосуємо метод Беллмана – Ляпунова з використанням концепції Пірсона [3]. Такий підхід дозволить полегшити вирішення задачі зворотної динаміки, що ускладнюється наявністю обмежень та нелінійностей в математичній моделі системи, оскільки нелінійність, що наявна в контурі заміняється прямою зі змінним коефіцієнтом підсилення, що є функцією змінних стану. Також в залежності від знаку приросту швидкості обертання вентилятора змінюється постійна часу технологічного процесу, тому що нагрівання та охолодження відбувається з різною інтенсивністю. Зазвичай прийнято вважати що постійна часу охолодження в 1,2…2,0 разів більше постійної часу нагріву [1].

Враховуючи все вищеописане запишемо наступну систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} T' = -\dfrac{1}{T_{tp(\omega')}} \cdot \mathrm{T} + \dfrac{K_{tp}}{T_{tp(\omega')}} \cdot \omega; \\ \omega' = \dfrac{1}{\beta T_м} \cdot M; \\ M' = -\dfrac{1}{T_э} \cdot M + \dfrac{K_{p4}\beta}{T_э} \cdot u_{t^0}. \end{cases} \quad (1)$$

Для спрощення розрахунків позначимо коефіцієнти наступним чмином:

$$a_1 = \frac{1}{T_{tp(\omega')}}, a_2 = \frac{K_{tp}}{T_{tp(\omega')}}, \; a_3 = \frac{1}{\beta T_м}, \; a_4 = \frac{1}{T_э} \text{ та } b = \frac{K_{p4}\beta}{T_э}. \quad (2)$$

Система диференціальних рівнянь (1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} T' = -a_1 \cdot \mathrm{T} + a_2 \cdot \omega; \\ \omega' = a_3 \cdot M; \\ M' = -a_4 \cdot M + b \cdot u_{t^0}. \end{cases} \quad (3)$$

Вибираємо функціонал якості, що відповідає мінімуму енергетичних затрат на керування та забезпечує високу динамічну точність:

$$I = \int_0^\infty (\alpha_1 T^2 + \alpha_2 \omega^2 + \alpha_3 M^2 + c u_{t^o}^2) dt. \quad (4)$$

Функціональне рівняння Беллмана з урахуванням функціоналу опишеться так:

$$\min_{u_{t^o}} \left[\alpha_1 T^2 + \alpha_2 \omega^2 + \alpha_3 M^2 + c u_{t^o}^2 + \frac{\partial V}{\partial T} \cdot (-a_1 T + a_2 \omega) + \right.$$
$$\left. + \frac{\partial V}{\partial \omega} \cdot a_3 M + \frac{\partial V}{\partial M} \cdot (-a_4 M + b\omega \cdot u_{t^o}) = 0 \right] \quad (5)$$

Після знаходження мінімуму функціоналу записуємо рівняння оптимального регулятора:

$$u_{t^o} = -\frac{b}{2c} \cdot \frac{\partial V}{\partial M}. \quad (6)$$

Підставивши (6) в (5) отримаємо рівняння Гамільтона - Якобі, що являє собою рівняння в частинних похідних першого порядку:

$$\alpha_1 T^2 + \alpha_2 \omega^2 + \alpha_3 M^2 + \frac{\partial V}{\partial T} \cdot (-a_1 T + a_2 \omega) + \frac{\partial V}{\partial \omega} \cdot a_3 M - \frac{\partial V}{\partial M} \cdot a_4 M = \frac{b^2}{4c} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial M} \right)^2 \quad (7)$$

Права частина функціонального рівняння (7) показана на рис. 2.

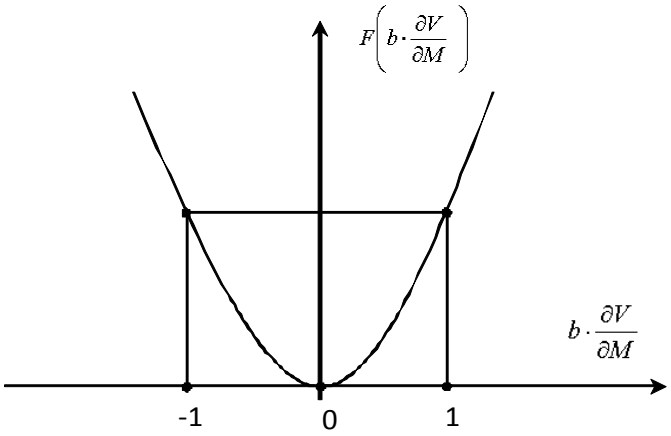


Рисунок 2 – Графічне зображення правої частини рівняння (2)

Припустимо, що розв'язок рівняння (7) задовольняється квадратичною формою:

$$V = K_{11}\cdot T^2 + K_{22}\cdot\omega^2 + K_{33}\cdot M^2 + 2K_{12}\cdot T\cdot\omega + 2K_{13}\cdot T\cdot M + 2K_{23}\cdot M\cdot\omega, \quad (8)$$

при цьому коефіцієнти квадратичної форми визначаються із системи алгебраїчних рівнянь Ріккаті:

$$\begin{cases} \alpha_1 - 2K_{11}\cdot a_1 - \dfrac{b^2}{c}\cdot K_{13}^2 = 0; \\ 2K_{11}\cdot a_2 - 2K_{12}\cdot a_1 - \dfrac{2b^2}{c}\cdot K_{13}\cdot K_{23} = 0; \\ 2K_{12}\cdot a_3 - 2K_{13}\cdot a_1 - 2K_{13}\cdot a_4 - \dfrac{2b^2}{c}\cdot K_{33}\cdot K_{13}; \\ \alpha_2 + 2K_{12}\cdot a_2 - \dfrac{b^2}{c}\cdot K_{23}^2 = 0; \\ 2K_{13}\cdot a_2 + 2K_{22}\cdot a_3 - 2K_{23}\cdot a_4 - \dfrac{2b^2}{c}\cdot K_{33}\cdot K_{23} = 0; \\ \alpha_3 + 2K_{23}\cdot a_3 - 2K_{33}\cdot a_4 - \dfrac{b^2}{c}\cdot K_{33}^2 = 0; \end{cases} \quad (9)$$

Розв'язавши систему рівнянь за допомогою середовища MathCAD отримуємо значення коефіцієнтів квадратичної форми окремо для кожної постійної часу, саме для нагріву: $K_{11} = 3,768$, $K_{22} = 1,361\cdot10^{-5}$, $K_{33} = 1,71\cdot10^{-6}$, $K_{12} = 4,325\cdot10^{-3}$, $K_{13} = 6,172\cdot10^{-5}$, $K_{23} = 1,944\cdot10^{-7}$; для охолодження: $K_{11} = 5,578$, $K_{22} = 1,118\cdot10^{-5}$, $K_{33} = 1,71\cdot10^{-6}$, $K_{12} = 4,339\cdot10^{-3}$, $K_{13} = 6,193\cdot10^{-5}$, $K_{23} = 1,597\cdot10^{-7}$.

Підставимо отримані значення коефіцієнтів в рівняння оптимального регулятора (6) та знайдемо закони керування для нагріву та охолодження відповідно:

$$u_{t^o}^h = -19,62\cdot T - 0,0618\cdot\omega - 0,5436\cdot M,$$
$$u_{t^o}^l = -19,69\cdot T - 0,0508\cdot\omega - 0,5436\cdot M. \quad (10)$$

За допомогою програмного середовища MatLab та його пакету Simulink було

змодельовано привод [2] та процес зміни температури повітря (рис. 3) в приміщенні із застосуванням класичного ПІД-регулятора, а потім було отримано графік перехідного процесу за температурою (рис. 4) із застосуванням синтезованого оптимального регулятора (при тих самих початкових умовах та зовнішніх збуреннях). Під час побудови моделі, що імітує зміну температури та яка не залежить від системи керування для спрощення задатчика зовнішніх збурень було прийнято сталу часу нагріву/охолодження як таку, що дорівнює середньому арифметичному сталих часу нагріву та охолодження технологічного процесу.

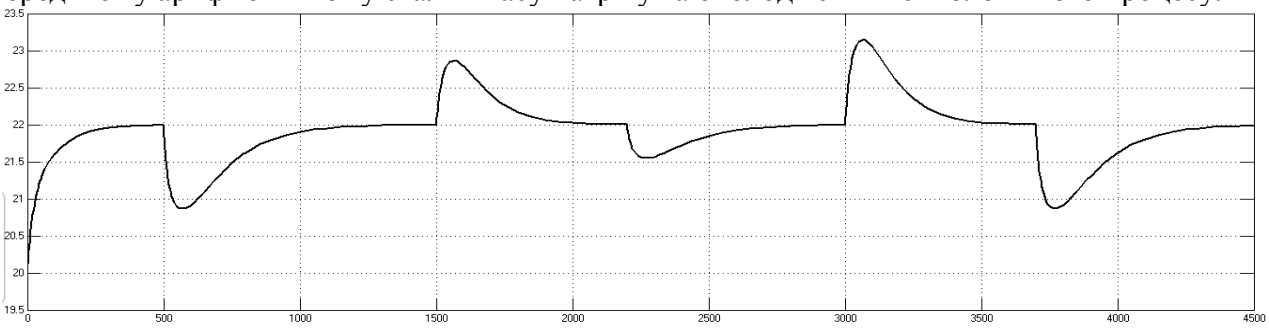


Рисунок 3 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні класичного ПІД-регулятора

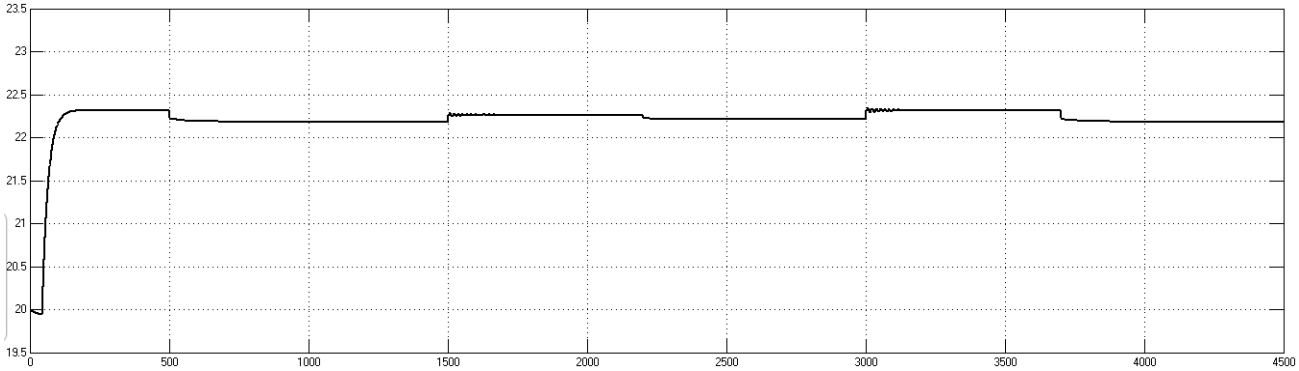


Рисунок 4 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні синтезованого оптимального регулятора з врахуванням варіації постійних часу

Висновки. Було визначено алгоритм керування, що забезпечує високу точність регулювання температури та оптимальний режим роботи, про що свідчать отримані графіки перехідних процесів. Висока швидкодія регулювання температури досягнута завдяки відсутності інтегральної складової регулятора, що накопичує похибку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Санкт-Петербург: Издательство «Авок северо-запад», 2005. – 401с.

2. Осипов О.И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. – Москва: Издательство МЭИ, 2004. – 81с.

3. Кудин В.Ф. Квазиоптимальне керування системою приточної вентиляції з використанням сучасних комп’ютерних технологій/ В.Ф. Кудін, А.В. Торопов// Вісник університету «Україна», №8, Київ, 2010. – с. 174-178.

Закладний О.М., Оборонов Т.Ю., Красносільський М.О.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННО - ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДУ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ШВИДКОСТІ НА НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ

Запропоновано модель для дослідження в MatLab регульованого асинхронного електропривода за системою асинхронно–вентильний каскад в приводах насосних установок, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання двигуна, а також скоротити втрати і заощадити електроенергію від 20% до 40%.

Ключові слова *Система АВК, моделювання, асинхронний електропривод.*

Закладной А.Н., Оборонов Т.Ю., Красносельський М.О.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСИНХРОННО – ВЕНТЕЛЬНОГО КАСКАДА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ В НАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

Предложена модель для исследования в MatLab регулируемого асинхронного электропривода по системе асинхронно-вентильный каскад в приводах насосных установок, позволяет плавно регулировать скорость вращения двигателя, а также сократить потери и сэкономить электроэнергию от 20% до 40%.

Ключевые слова *Система АВК, моделирование, асинхронный электропривод.*

Zakladnyi O., Oboronov T, Krasnosilsky M.

MODELING SYSTEMS ELECTROMECHANICAL PROPERTIES OF ASYNCHRONOUS - VALVE CASCADE SPEED CONTROL IN A PUMP INSTALLATION

A model for the study of asynchronous electric MatLab regulated by a system of asynchronous-stage valve drives in pump systems, which allows to smoothly adjust the motor speed, and reduce loss and save energy from 20% to 40%.

Keywords *AVC system, modeling, asynchronous electric.*

Постановка задачі. В сучасному сільському господарстві основними споживачами електроенергії є електродвигуни (понад 60 %) [1]. У зв'язку з цим до них ставляться все більш жорсткі вимоги щодо ефективності роботи: рівень втрат енергії, відповідність навантаження тощо. Останнім часом пріоритетне значення, наряду з оптимальним конструюванням асинхронних двигунів (АД), набувають задачі оптимального моделювання електроприводів змінного струму та визначення ефективних режимів роботи [2].

Аналіз способів регулювання швидкості обертання приводів показує, що перспективним є частотне регулювання частотою обертання електроприводів завдяки плавності регулювання швидкості і значному зниженню енергоспоживання. Як регульований привод можна використовувати асинхронно–вентильний каскад (АВК).

Використання комп'ютерного математичного моделювання з розробкою моделей різних пристроїв дозволяє провести розрахунки процесів з високою точністю, а також дослідити електромеханічні властивості перед запровадженням в дію такого способу регулювання.

Мета дослідження. Дослідження електромеханічних властивостей АД при регулюванні кутової швидкості за допомогою компютерного моделювання, встановлення

математичних залежностей.

Можливість керування частотою обертання АД була доведена зразу після винаходу електродвигуна. Зазвичай, керування електроприводом змінного струму здійснюється за рахунок зміни вихідних параметрів силового перетворювача (fм, Uм). Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою нових силових напівпровідникових пристроїв [4].

В залежності від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими керування електродвигуном, реалізовуючи ту чи іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна та вихідною напругою. Тому необхідно використовувати імітаційне моделювання з використанням ЕОМ. Такий підхід дозволить спрогнозувати результати з високою точністю.

Частотний спосіб управління заснований на законі М.П. Костенка, який встановив, що відносне діюче значення напруги необхідно змінювати пропорційно добутку частоти на корінь квадратний з відносного моменту двигуна. Надалі А.А. Булгаковим були встановлені закономірності різних співвідношень між частотою і діючим значенням напруги: напруга змінювалася пропорційно частоті; Uм ≈ fм; напруга змінювалася так, щоб забезпечити сталість повного або робочого потоку при зміні частоти; керування частотою при номінальній напрузі тощо.

Значний внесок у розвиток теорії частотного управління внесли А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов, І.І. Епштейн, які розглянули як статичні, так і динамічні режими роботи АД.

Основні матеріали досліджень. Використання регульованого електропривода дозволяє скоротити енергоспоживання: помп – на 25-30 %, компресорів – на 40 %, вентиляторів – на 30 %, центрифуг – на 50 %. Зважаючи на те, що ці типи механізмів становлять понад 50 % у сільському господарстві, приводів які використовуються, даний напрямок є пріоритетним для економії електроенергії.

Найбільш перспективними напрямками впровадження регульованих електроприводів у сільськогосподарському виробництві є системи водопостачання, теплопостачання, каналізації, вентиляції будівель.

Система водопостачання – це досить складний комплекс взаємозалежних за параметрами і режимами роботи спеціальних споруд, що забезпечує забір води з джерел водопостачання, її обробку, акумулювання і збереження, подачу до місця споживання, а також розподіл між споживачами. У кожній точці мережі напір води повинен підтримуватися на заданому рівні, що забезпечує якісне обслуговування споживачів води. Напір у мережі залежить від роботи водоживильників, а також від споживання води, що носить випадковий характер.

У роботі проведено моделювання системи автоматичного регулювання швидкості АД в программі MATLAB Simulink. Дослідження базувалися на теорії диференціальних рівнянь, комп'ютерних методах моделювання. Створена модель містить у своєму складі готовий блок електроприводу з джерелом живлення, частотним перетворювачем і асинхронним двигуном та технологічну частину – моделі насосного агрегату та водоводів (рис. 1)

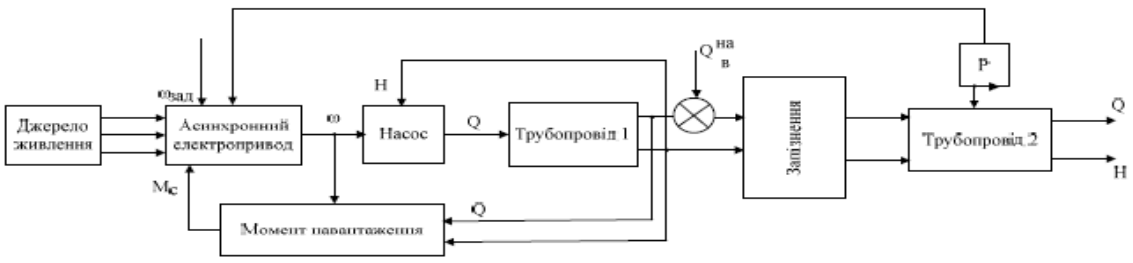


Рисунок. 1 - Модель насосної станції системи водопостачання

Дослідження проводились на двигуні 5АНК 200М-4

Тип	Р, кВт	I статора, А	Частота вращ, об/ мин	КПД, %	cosφ	Mm / Mn	Ротор		Шум, Дб	J, кгхм кв.	Вес, кг
5АНК 200М4	30	57,7	1439	89,0	0,88	3,0	255	76	91	1,82	280

Частотний спосіб відрізняється ще одним досить важливою властивістю, а саме при регулюванні швидкості АД не відбувається збільшення його ковзання, як це має місце, наприклад, при реостатному регулюванні. Тому при цьому способі регулювання втрати ковзання, виявляються незначними, у зв'язку з чим частотний спосіб є найбільш економічним.

При розв'язанні системи диференціальних рівнянь, які описують роботу системи АВК, використано метод Рунге-Кутта в модифікації Гіра.

Склавши модель системи АВК в пакеті *MatLab*, отримаєм

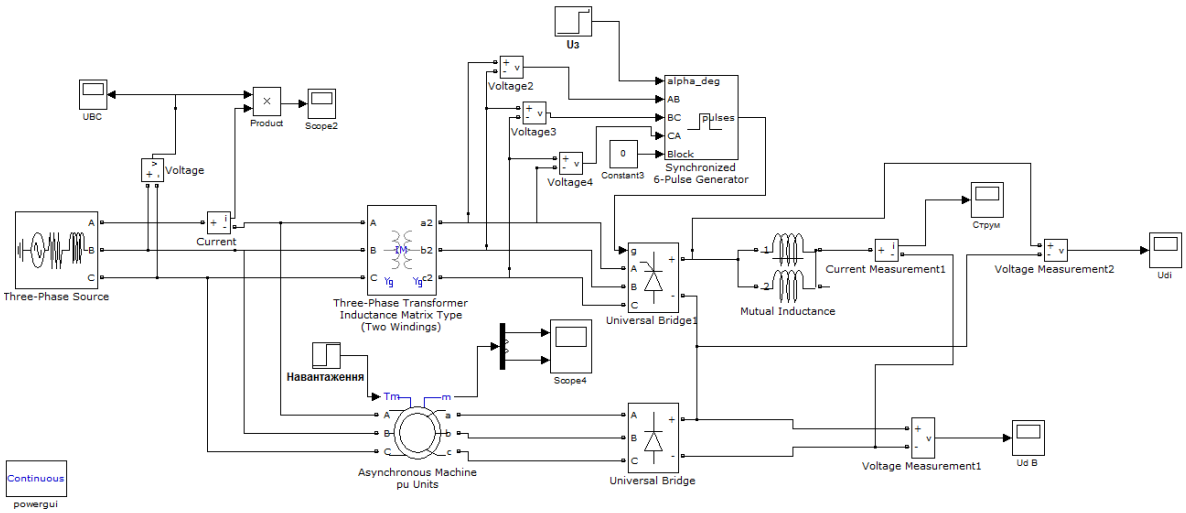


Рисунок. 2 - Модель системи АВК для програмного пакету MatLab

Моделюємо пуск двигуна без навантаження, для трьох різних кутів відкривання тиристорів: $\gamma 1=90$, $\gamma 2=60$, $\gamma 3=30$.

Результати моделювання при куті комутації тиристорів $\gamma 1=90$ наведено на рис.3.

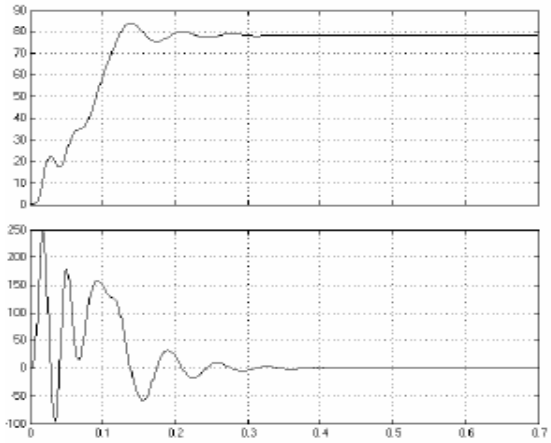


Рисунок. 3 - Графіки ω=f(t) и Мв=f(t)
при $\gamma 1=90$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: ω =114,1 рад/с, I1=8,366 А, Мв=0,498 Н·м

Для кутів комутації тиристорів $\gamma 1=60$ отримано наступні графіки перехідних процесів ω=f(t) (рад/с) и Мв=f(t)(Н·м) (Рис.4).

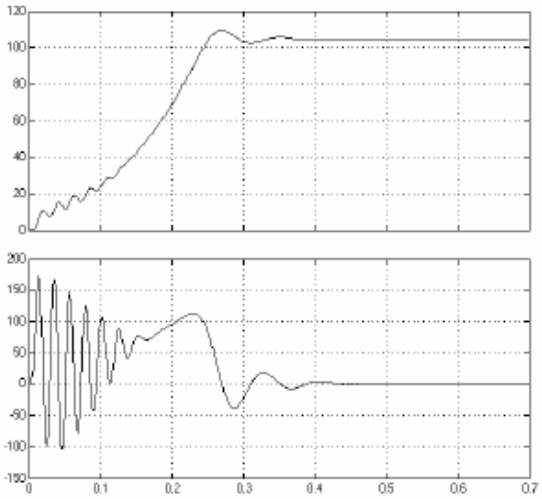


Рисунок. 4 - Графіки ω=f(t) и Мв=f(t) для
$\gamma 2=60$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: ω =80,47 рад/с, I1=8,108 А, Мв=0,337 Н·м

При куті комутації тиристорів $\gamma 1=30$ отримано наступні графіки перехідних процесів ω=f(t) (рад/с) и Мв=f(t)(Н·м) (Рис.5).

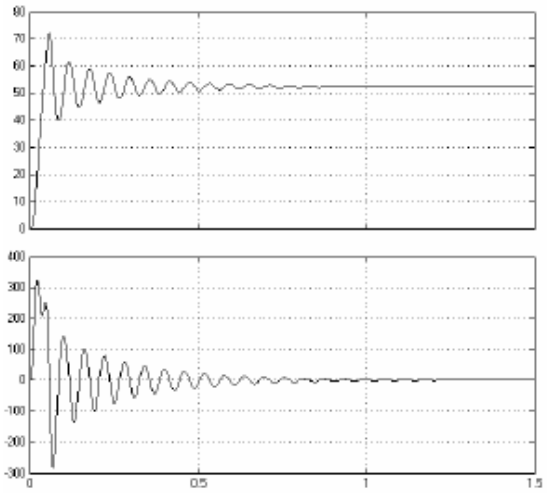


Рисунок. 5 - Графіки ω=f(t) и Мв=f(t)
для $\gamma 3=30$

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: ω =61,06 рад/с, I1=9,31 А, Мв=0,029 Н·м

Для кута комутації тиристорів $\gamma 1=90$ і лінійної напруги Uл = 380 В змоделюємо перехід системи з одного сталого стану Мв=Мн=70 Н·м, ω=ωн=103.5 рад/с, I1 = I1н = 14,6 А до іншого після накиду навантаження на вал двигуна (Мс.доп.= 0,3Мн = 21 Н·м)(Рис.6).

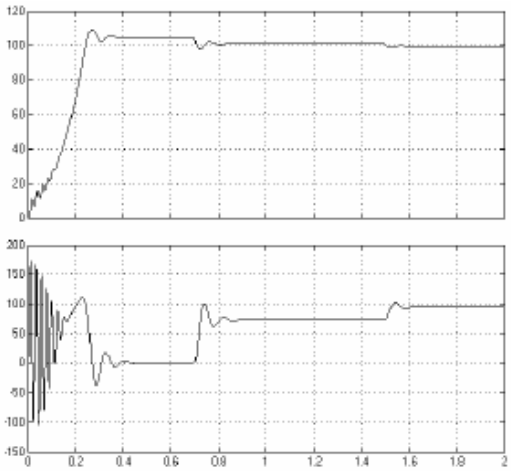


Рисунок. 6 - Накид навантаження
Мс.доп.=0,3Мн

Для більш детального вивчення перехідного процесу на рис. 7. наведено фрагмент графіків ω=f(t) (рад/с) и Мв=f(t) (Н·м), що охоплює тільки момент уповільнення двигуна після накиду додаткового навантаження.

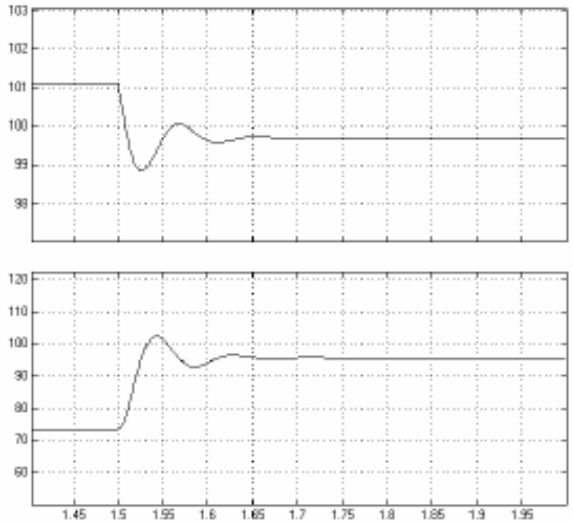


Рисунок. 7 - Накид навантаження
Мс.доп.=0,3Мн (фрагмент)

Після закінчення перехідного процесу одержано такі усталені значення: ω =95рад/с; I1=19,14 А; Мв=93,5 Н·м

Регулювання в цій системі, може здійснюватися плавно, в широкому діапазоні, в обидві сторони від природньої характеристики, тобто АД, може мати швидкість як більше, так і меншу від номінальної. При цьому регулювальні характеристики мають високу жорсткість, а АД зберігає значну перевантажувальну здатність.

Висновки. Результати досліджень показують, що регульований електропривод за системою АВК задовольняє основним потребам його використання у насосних установках об'єктів промисловості та житлово-комунального господарства.

Проведені дослідження свідчать про те, що регулювання швидкості асинхронного двигуна з використанням АВК дозволяє не лише відредагувати технологічний процес, але й зменшити втрати енергії та зекономити від 20 % до 40 % електроенергії, а також плавно регулювати швидкість обертання електродвигуна від нуля до номінального значення при збереженні максимального моменту на валу, що дає можливість збільшити термін служби і підвищити надійність електроприводів та обладнання і підвищити якість надання послуг у водопостачанні за рахунок стабільного тиску в мережі.

Література:

1. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов. – М.: Издательский центр “Академия”, 2003. – 384 с.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. - 360 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. - 3-е изд., переработ. и доп.-М.: Высш.шк., 2001.-327 с.
4. Закладний О.М. Електропривод: навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 316 с.
5. Петров Л.П., Ладензон В.А., Подзолов Р.Г., Яковлев А.В. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением. - М.: Энергия, 1977. - 200 с.

Закладний О.М., Оборонов Т.Ю., Довгопола Н.О.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ

Дана наукова стаття присвячена дослідженню режимів роботи електроприводу вентилятора головного провітрювання шахти за допомогою математичного моделювання в пакеті програм Matlab. Проведено моделювання режимів роботи електродвигуна вентилятора з частотно-регульованим електроприводом.

Ключові слова: *вентилятор головного провітрювання, система електроприводу, частотно-регульований електропривод , моделювання, режими роботи.*

Закладной А.Н., Оборонов Т.Ю., Довгополая Н.О.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Данная научная статья посвящена исследованию режимов работы электропривода вентилятора главного проветривания шахты с помощью математического моделирования в пакете программ Matlab. Проведено моделирование режимов работы электродвигателя вентилятора с частотно-регулируемым электроприводом.

Ключевые слова: *вентилятор главного проветривания, система электропривода, частотно-регулируемый электропривод, моделирование, режимы работы.*

Zakladnyi O, Oboronov T, Dovgopola N.

MODELINGMODES OF VARIABLE FREQUENCY ELECTRIC DRIVE OF MINE VENTILATORY INSTALLATION OF THE PRINCIPAL AIRING

This article is devoted to research of modes to operation of the fan of the main airing of mine with the help of mathematical modeling software package MatLab. A simulation modes of operation of the fan motor with frequency-regulated electric drive.

Keywords: *the main fans, the system electric drive, variable frequency electric drive, modeling, modes.*

На шахтах за якістю і кількістю повітря, яке надходить, стежить пило-вентиляційна служба (ПВС), в завдання якої входить контроль концентрації метану, шкідливих домішок у рудничній атмосфері, щоквартальний розрахунок необхідного обсягу повітря для постачання шахти, а також експлуатація вентиляційних установок. Основним засобом, що забезпечує атмосферні умови в підземних гірничих виробках, є вентиляторні установки головного провітрювання (ВГП), які розташовуються на поверхні копальні в окремій будівлі. Зі стволом рудника вентилятори з'єднуються підвідним або нагнітальним каналом, які виготовлені із залізобетону. Перетин каналу має забезпечувати швидкість повітряного потоку не більше 15 $м^3$/хв .

Більшість вентиляторних установок головного провітрювання працює на всмоктування, тобто переміщує не звичайне атмосферне, а шахтне повітря, що відрізняється від атмосферного наявністю рудничних газів, пари, значної кількості пилу, а іноді штибу і води.

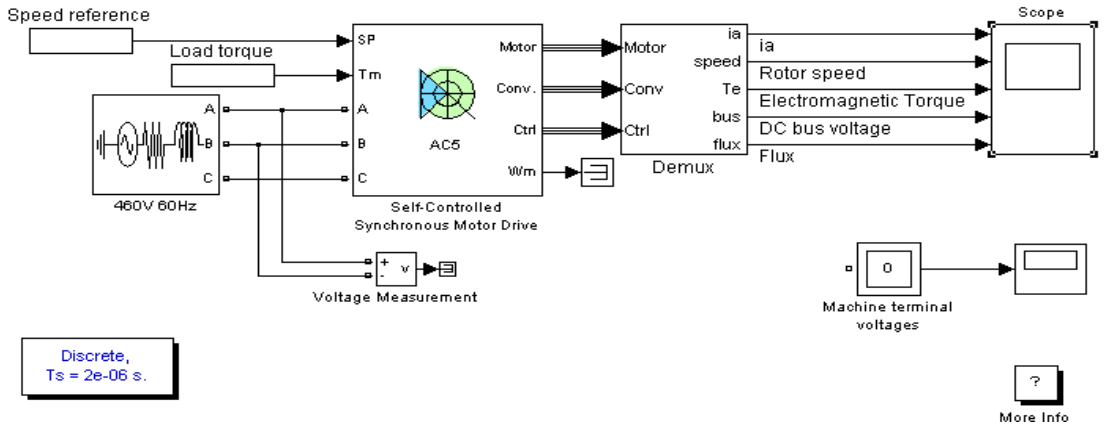
У зв'язку з цим до вентиляторних установок ставляться спеціальні вимоги щодо стійкості до зношування і корозії, обтічних повітрям поверхонь складових частин установок. У нашому випадку використовується вентиляторна установка марки ВЦД, що працює як на нагнітання, так і на всмоктування. Двосторонні вентиляторні установки з відцентровими реверсивними вентиляторами типу ВЦД складаються з двох вентиляторів (робочого та резервного), двох приводних синхронних електродвигунів, двох систем змащення, уніфікованих комплектів апаратури автоматизації, допоміжного обладнання для перемикання повітряного струменя з робочого на резервний вентилятор, будівлі, каналів, фундаментів і глушника шуму. У будівлі розташовують вентилятори з приводними електродвигунами, системи мастила (індивідуальні для кожного вентилятора) і уніфіковані комплекти апаратури автоматизації. Будівля обладнується вантажопідйомними засобами, необхідними для обслуговування і ремонту вентиляторів. Будівля має бути обладнана даховими вентиляторами для нагнітальної вентиляції, які вмикаються при зупинці обох вентиляторів головного провітрювання для уникнення проникання в будівлю загазованого повітря.

Об'єктом дослідження є привід вентилятора головного провітрювання шахти з видобутку порід типу ВЦД - 42,5.

Головною метою дослідження є вибір потужності електроприводу, його режиму і тривалості роботи, моделювання характеристик, отримання порівняльних результатів. Вентиляторні установки головного провітрювання використовуються для подачі повітря в шахту і розташовуються безпосередньо біля ствола копальні. Актуальність статті полягає в моделюванні режимів роботи синхронного електродвигуна з системою частотно-регульованого електроприводу (ЧРП) і застосуванні їх на практиці.

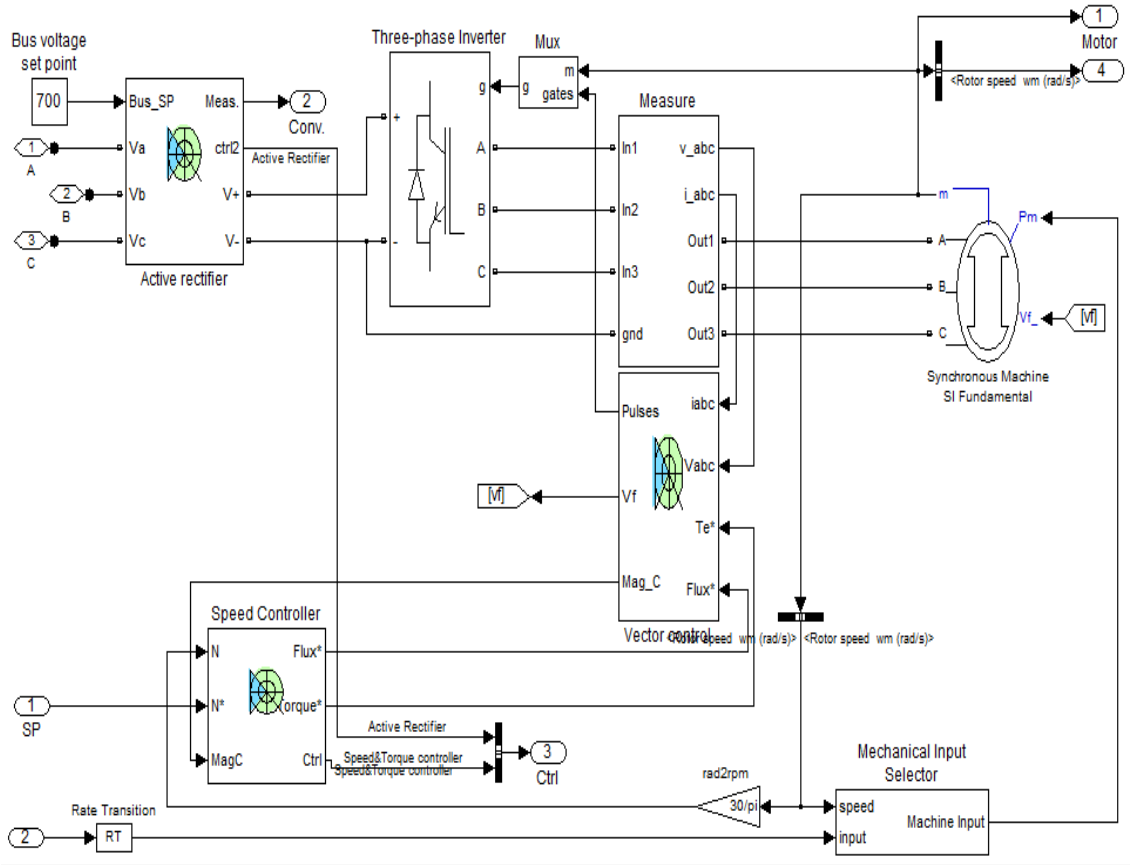
Метою моделювання є побудова характеристик залежності моменту і кутової швидкості обертання електродвигуна від часу при пуску, а також визначення перерегулювання, розрегулювання і часу перехідного процесу. Моделювання виконується на моделі частотно-регульованого привода. Як вихідні дані для моделювання використано дані двигуна СДНЗ 600 15-49-6УЗ.

Для реалізації завдання з дослідження режимів роботи обладнання використано математичну модель пуску синхронного двигуна в пакеті програм MatLab. Пакет програм MatLab призначений для аналітичного і чисельного вирішення різних математичних задач, а також для моделювання електротехнічних і електромеханічних систем, завдяки додаткам Simulink і Sim Power System.



Математичну модель можна умовно поділити на три частини: блоки управління, блоки перетворювачів і модель електродвигуна. Модель електродвигуна являє собою функціональну залежність передавальних блоків, блоків підсилювачів, логіки і нелінійних функцій. Модель двигуна складається з механічної частини і блоку перетворення моменту.

При використанні моделей з частотним регулюванням час встановлення перехідних процесів зростає в кілька разів, проте їх протікання стає більш плавним і точним. Розглянемо більш детально, що собою являє модель синхронного двигуна з частотним регулюванням, і зробимо невеликий опис даної моделі.



З джерела живлення змінна напруга надходить на випрямляч. Далі постійна напруга надходить на перетворювач струму і на інвертор, в якому вона знову перетворюється в змінну та живить синхронний двигун. У цей час із задатчика швидкості і моменту сигнал надходить на контролер швидкості , туди ж приходить сигнал зворотного зв'язку з механічної частини двигуна і регулятора. Після всіх операцій сигнал з контролера швидкості надходить у вимірювач параметрів двигуна, де обробляється, і видається остаточне значення швидкості обертання двигуна.

Після проведених розрахунків заносимо параметри двигуна заносяться в спеціальне вікно (рис.1), у цьому задаються основні параметри синхронного електродвигуна, такі як потужність, напруга, частота, опір та індуктивність обмоток, момент інерції, число пар полюсів.

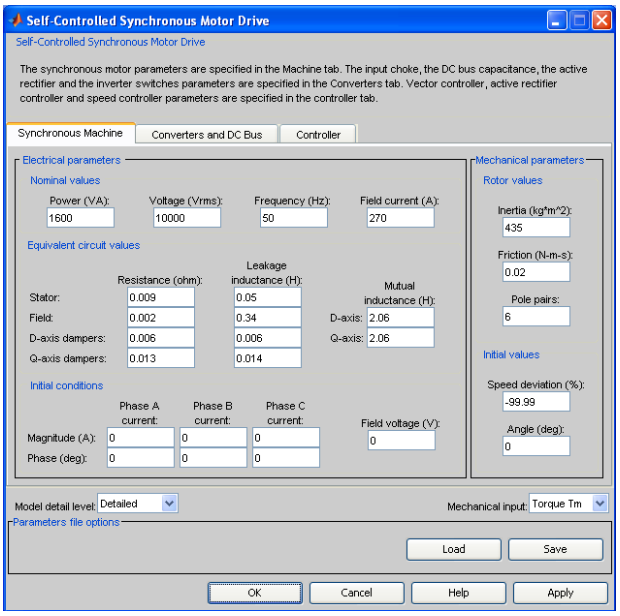


Рисунок 1 – Вікно параметрів

На рис. 2 наведено залежність струму статора синхронного двигуна від часу моделювання і швидкість обертання двигуна залежно від часу моделювання.

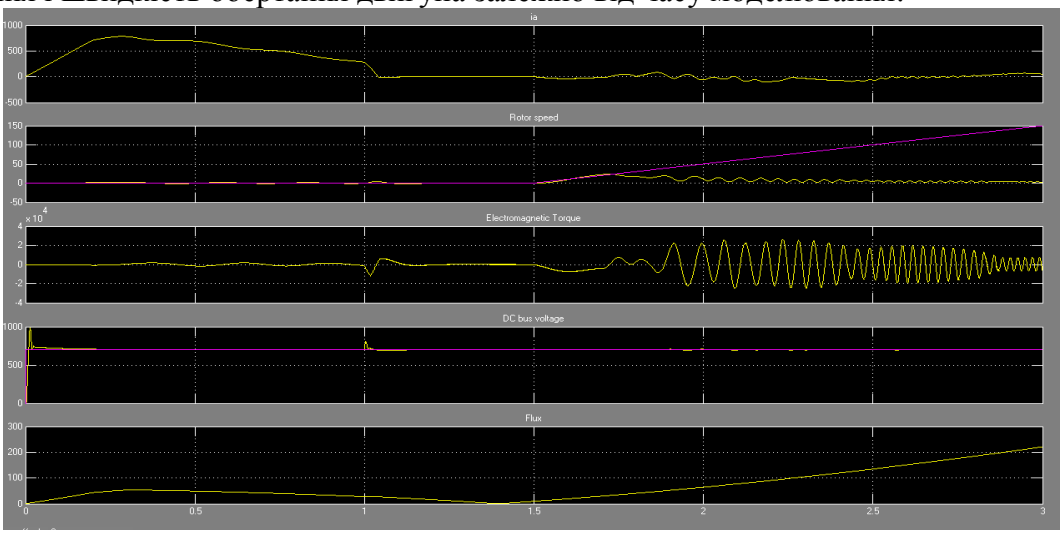


Рисунок 2 – Залежніст струму від часу і швидкість обертання залежно від часу моделювання

Досліджено три основні режими роботи двигуна:

а) пуск;

б) робота на номінальній швидкості;

в) гальмування.

Висновок. У результаті проведеної роботи запропоновано і досліджено модель функціонального рівня системи синхронний двигун з частотним регулюванням. У ході роботи визначено оптимальні параметри експерименту, які забезпечують виконання розрахунків з необхідною точністю і, дозволяють досягти кращої наочності результатів. Результати експерименту представлені у графіках. Однозначно можна вважати використання частотного регулювання найбільш доцільним для синхронного двигуна вентиляторної установки головного провітрювання шахти.

Література

1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконянца. – [4-е изд.]. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
2. Технические средства диагностирования: Справочник / [В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. - М.: Машиностроение, 1989. - 672 с.
3. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю. Діагностування енергоефективності синхронного електропривода // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013 (23). – С. 26-32
4. Mehala N. Condition monitoring methods, failure identification and analysis for induction machines / Neelam Mehala, Ratna Dahiya // International journal of circuits, systems and signal processing. – 2009. - №1. – С. 10 – 17.
5. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений / А.И. Вольдек. – [3-е изд.]. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
6. Прохоров С.А. Математическое описание и моделирование случайных процессов / С.А. Прохоров. - Самара: Гос. аэрокосм. ун-т, 2001. - 209 с.

УДК 62.83.52

О. В. Чермалих, І.Я. Майданський, Ю.І. Затірка

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДОЩОВОЇ СТІЧНОЇ ВОДИ

Розглянуті питання оптимізації режимів роботи насосних агрегатів станції водовідведення дощової стічної води за допомогою синтезованих універсальних структурних моделей. Для насосів приймальної ємкості дощової води обрано технологічний критерій стабілізації статичного напору, що забезпечує оптимальний вибір робочої точки за рахунок точної відповідності напору витраті насосу. Для насосів ємкості відстояної води технологічним критерієм являється підтримання сталості витрати з можливістю регулювання споживаної активної потужності в залежності від потреб споживачів.

Ключові слова: насосний агрегат, регульований електропривод, моделювання, оптимізація, енергозбереження.

А.В. Чермалих, И.Я. Майданский, Ю.И. Затирка

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОДООТВЕДЕНИЯ ДОЖДЕВОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Рассмотрены вопросы оптимизации режимов работы насосных агрегатов станции водоотведения дождевой сточной воды с помощью синтезированных универсальных структурных моделей. Для насосов приемной емкости дождевой воды выбран технологический критерий стабилизации статического напора, что обеспечивает оптимальный выбор рабочей точки за счет точного соответствия напора расходу насоса. Для насосов емкости отстоянной воды технологическим критерием является поддержание постоянства расхода при возможности регулировать потребляемую активную мощность в зависимости от нужд потребителей.

Ключевые слова: насосный агрегат, регулируемый электропривод, моделирование, оптимизация, энергосбережение.

A. Cermalykh, I. Maidansky, Y. Zatirka

SIMULATION TECHNOLOGICAL PROCESS RAIN WATER DISCHARGE WASTWATER

The problems of optimization of the pumping station in - aggregates dootvedeniya rain wastewater with synthesized universal structural models. Pump receiving tank rainwater selected technological stabilization criterion for static pressure, which provides the optimal choice of the working point by accurately matching pressure pump flow. Pumps for water tank to defend technological criterion is to maintain constant flow rate with the possibility to adjust the active power consumption depending on the needs of consumers.

Keywords: pump unit, electric drive, modeling, optimization, energy saving.

Вступ. Екологічна і санітарно-гігієнічна обстановка великих сучасних міст багато в чому визначається ефективною і надійною роботою систем водовідведення. Система водовідведення міста розділяється дві підсистеми: збору і транспортування стічних вод

(СТСВ) і очистки. Ці підсистеми відрізняються одна від одної як фізично, так і суттю технологічних процесів, що протікають в них. При цьому відмінність настільки значна, що автоматизація управління кожної підсистеми може вироблятися практично незалежно одна від іншої.

В роботі розглядаються питання, пов'язані з оптимізацією режимів функціонування одної із названих підсистем – системи транспортування стічних вод. Основна ідея управління СТСВ полягає в цілеспрямованому перерозподілу потоків стічних вод по транспортним магістралям, які забезпечують найбільше завантаження шляхів з мінімальними сумарними витратами електроенергії насосними станціями. Як правило, такий перерозподіл принципово здійснюється завдяки гідравлічним взаємозв'язкам між басейнами водовідведення і різноманітним питомим затратам електроенергії на перекачку води різними насосними станціями мережі.

Особливість функціонування об'єкту полягає головним чином в неможливості проведення в реальних умовах широкомасштабних спеціально поставлених «активних» експериментів, які мають за ціль ідентифікацію характеристик і параметрів споруджень й електрообладнання, що чинять самий безпосередній вплив на процес водовідведення.

При функціонуванні СТСВ мають місце два основних технологічних режими – рух води самопливом на ділянках з певним похилом та підйом води на більш високі відмітки насосними станціями. Насоси станцій приводяться в рух електродвигунами, отже в процесі транспортування стічних вод затрачується електроенергія і ці витрати є досить значними. За статистичними даними вартість електроенергії, яка витрачається насосними станціями безпосередньо на транспортування води через мережу, може досягати половини вартості електроенергії, яка споживається всією системою водовідведення взагалі. Тому для систем водовідведення в якості розумного і економічно обґрунтованого показника ефективності доцільно прийняти сумарні затрати електроенергії всіма насосними станціями мережі, і керування об'єктом слід проводити таким чином, щоб ці затрати по можливості були мінімальними, тобто оцінка ефективності функціонування окремих насосних станцій таких систем по значенню затрат на транспортування стічних вод можна вважати економічно виправданою [1].

Структурна складність, велика територіальна розосередженість СТСВ, а також різноманіття задач, що виникають в реальних умовах при оперативному управлінні ними, в багатьох випадках не дозволяють обслуговуючому персоналу знаходити оптимальні чи навіть тільки раціональні вирішення. Тому ефективне вирішення задач з оперативного керування системою водовідведення може бути здійснено лише на основі алгоритмів, що базуються на математичних методах управління з широким використанням обчислювальної техніки. В зв'язку з цим, тему роботи, пов'язану з комп'ютерним моделюванням й дослідженням режимів роботи насосних станцій систем водовідведення дощових стічних вод слід вважати актуальною.

Мета та завдання дослідження. Здійснити синтез універсальної структурної моделі для дослідження й оптимізації режимів роботи насосної стації системи водовідведення дощової стічної води й отримання кількісних оцінок щодо енергозберігаючих аспектів стосовно споживаної активної потужності.

Основні завдання досліджень:

- вивчити стан в галузі технологічних та енергозберігаючих аспектів роботи насосних станцій систем водовідведення;

- розглянути сучасні підходи до вибору критеріїв оптимізації режимів функціонування систем водовідведення;

- розробити універсальну модель для побудови механічної характеристики насосу та

оцінити енергетичні характеристики за її допомогою;

- визначити особливості роботи окремих насосних груп станції водовідведення й надати алгоритми їх технологічної оптимізації;

- синтезувати універсальну структурну модель насосних агрегатів станції водовідведення для дослідження робочих параметрів у потрібних режимах, енергетичних характеристик та поведінки системи в динаміці.

Результати дослідження. Практично для всіх насосних станцій, незалежно від їх призначення, можливі технологічні режими визначаються характером водоспоживання – змінним чи постійним. Для станції водовідведення стічної дощової води, що розглядається мають місце обидва варіанти.

Приток води в першу приймальну ємність станції ПЄДВ носить випадковий характер і залежить від наявності і інтенсивності опадів в вигляді дощу. Тому насоси НДВ, які обслуговують цю ємність, з точки зору оптимізації процесу відкачки води, що поступає із ПЄДВ в шламонакопичувач, повинні мати можливість регулювати відповідним чином подачу і напір. При цьому, статичний напір в системі підтримується постійним $H_c=const$.

Насосні агрегати НВВ обслуговують другу приймальну ємність відстояної води ПЄВВ, куди самопливом поступає вода із шламонакопичувача. В цьому випадку процес перекачки води в станцію додаткової очистки для подальшого її використання в системі технічного водопостачання АЕС доцільно оптимізувати за вихідною координатою – витраті, підтримуючи її постійною $Q=Q_{розр}=const$.

Застосування методів комп'ютерного моделювання для таких складних процесів, які протікають в насосних агрегатах станції водовідведення, дозволяють оцінити динаміку поведінки насосів, а також отримати кількісні значення технологічних параметрів і оптимізувати процес в цілому.

В роботі при моделюванні використана система *MATLAB* [2, 3], яка має всі необхідні відповідні інструментальні засоби.

Синтезована модель насосу спільно з системою електропривода (рис. 1) виконана універсальною, яка дозволяє проводити дослідження режимів роботи насосних агрегатів станції водовідведення стічної дощової води як для варіанта змінного водоспоживання (насоси НДВ), так і для варіанту постійного водопостачання (насоси НВВ).

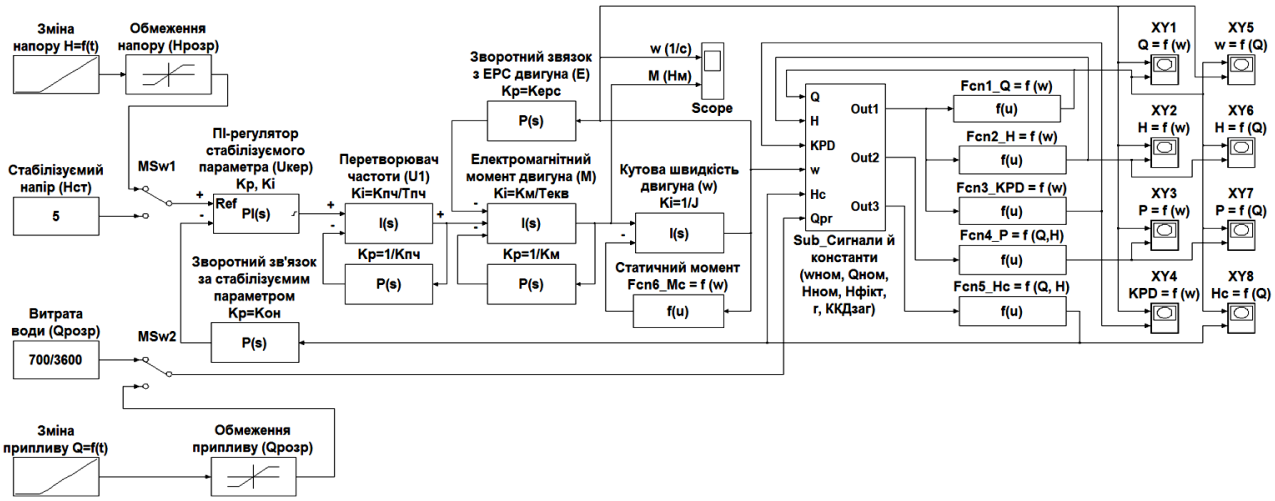


Рисунок 1 – Імітаційна модель насосного агрегату станції водовідведення дощової стічної води

Модель містить дві основні складові: структурну модель електропривода за системою перетворювач частоти – асинхронний двигун і математичну модель визначення робочих параметрів насоса і енергетичних характеристик.

Особливістю побудови моделі електроприводу є застосування замість звичних елементів одного універсального блоку ПІД-регулятора, який з'явився в останніх версіях системи *MATLAB*. Вибираючи в поле налаштування цього блоку необхідну позицію, є можливість автоматично отримати всі необхідні передаточні функції ланок. Характерні для структурних моделей електроприводу аперіодичні ланки синтезовані за допомогою інтегруючої ланки в прямому каналі і пропорційної в каналі негативного зворотного зв'язку.

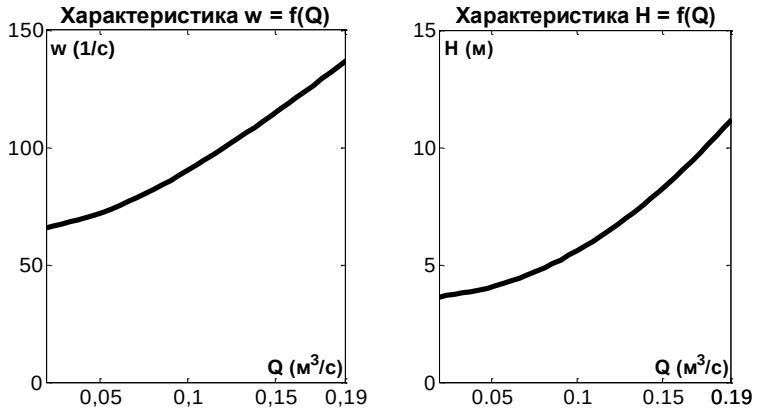
Таким чином, запропонований варіант дозволяє за допомогою одного елемента швидко і просто побудувати модель практично будь якої електромеханічної системи на основі структурної схеми або математичних залежностей .

У розглянутій моделі над блоками дані назви і призначення елементів електропривода, в дужках вказані вихідні змінні, а також наведені формули для визначення і введення їх параметрів відповідно до методики, викладеної в [4].

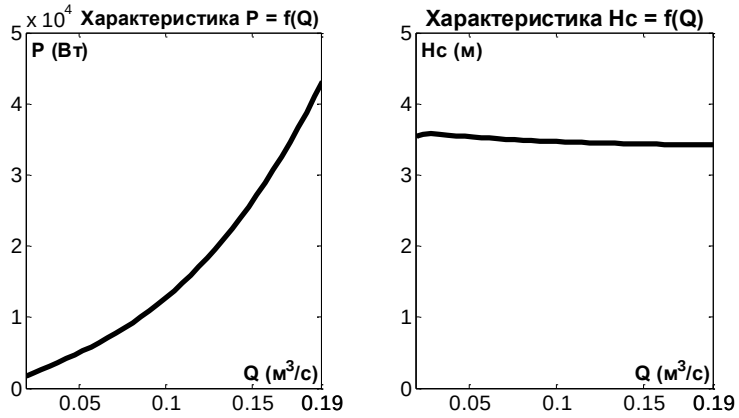
Аналогічний підхід використаний і при побудові моделі насоса. Основними являються математичні блоки *Fcn1 ... Fcn6*, за допомогою яких реалізуються необхідні функціональні залежності витрати $Q = f(\omega)$, подачі $H = f(\omega)$, коефіцієнта корисної дії насоса $\eta_{нас} = f(\omega)$, моменту навантаження $M_c = f(\omega)$ від кутової швидкості приводного двигуна ω, а також потужності $P = f(Q, H)$ і статичного напору $H_c = f(Q, H)$.

Реєстрацію робочих параметрів установки реалізують графобудувачі відповідно *XY1...XY4* (режим постійного водопостачання) і *XY5 ... XY8* (режим змінного водоспоживання). У моделі перемикання режимів забезпечують ключі *MSw1, MSw2.*

Нижнє положення ключів забезпечує режим змінного водоспоживання (насоси НДВ). При цьому через ключ *MSw1* на вході регулятора задається постійне необхідне значення стабілізуючого напору $H_{ст}$, а через ключ *MSw2* надходить сигнал плавної лінійної зміни припливу рідини *Q (t)* з обмеженням розрахунковим значенням $Q_{розр}$. На рис. 2 наведено графічні залежності кутової швидкості, напору, потужності і стабілізуючого напору від витрати насоса.



а б



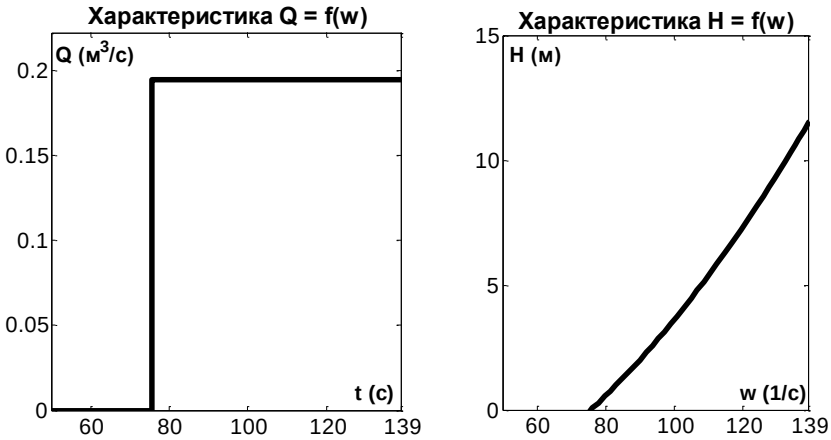
в г

Рисунок 2 – Графічні залежності параметрів насосних агрегатів НДВ
від припливу дощової води
за кутовою швидкістю (а), напором (б), активною потужністю (в), статичним напором (г)

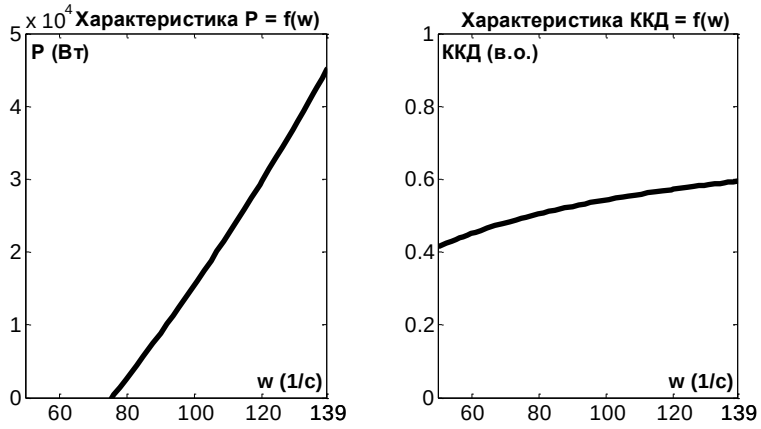
Графіки ілюструють зростання кутової швидкості електроприводу починаючи з мінімальної граничної при збільшенні припливу рідини, що призводить до зростання значень напору і потужності. При цьому стабілізуючий напір залишається практично постійним.

Енергозберігаючий аспект при такому способі регулювання полягає в тому, що для будь-якої інтенсивності випадання опадів у вигляді дощу обрана швидкість двигуна визначає оптимальну робочу точку роботи насосних агрегатів НДВ станції водовідведення стічної дощової води, коли повністю відсутній надлишковий напір, що характерно, наприклад, для режиму дроселювання засувкою.

У верхньому положенні ключів має місце режим постійного водопостачання (насоси НВВ). У цьому випадку через ключ *MSw1* на вхід регулятора надходить сигнал завдання швидкості за рахунок плавного лінійної зміни напору *H (t)* з обмеженням на рівні розрахункового значення $H_{розр}$. Через ключ *MSw2* в систему подається розрахункове значення витрати $Q_{розр}$. На рис. 3 зображені графічні залежності витрати, напору, потужності і ККД насосного агрегату від кутової швидкості двигуна.



а б



в г

Рисунок 3 – Графічні залежності параметрів насосних агрегатів НВВ
від кутової швидкості двигуна
за витратою (а), напором (б), активною потужністю (в), ККД (г)

З графіків видно, що із збільшенням кутової швидкості зростають відповідно напір і споживана потужність, залишаючись нижче своїх номінальних значень. Витрата при цьому залишається постійною, починаючи від значення мінімальної швидкості, а відносно невисоке максимальне значення ККД пояснюється його низьким номінальним значенням для розглянутого насоса. Крім того, самі малі величини ККД відповідають неробочій зоні насосного агрегату при швидкості нижче мінімальної. У цьому випадку швидкість і момент навантаження є, а витрата води дорівнює нулю.

В цьому зв'язку необхідно відзначити, що результати моделювання, по-перше, підтверджують саму можливість підтримувати постійною витрату води при частотному регулювання приводного двигуна насоса, а, по-друге, цей фактор дозволяє вирішувати енергозберігаючі аспекти за рахунок зменшення швидкості двигуна згідно технологічним режимам водоспоживання АЕС.

Для кількісної оцінки оптимізуючого показника – споживання електроенергії насосним агрегатом з регульованим частотним електроприводом, розглянемо варіант з мінімальним економічним ефектом, коли робоча точка відповідає розрахунковому режиму.

У цьому випадку споживана потужність при нерегульованому електроприводі становить

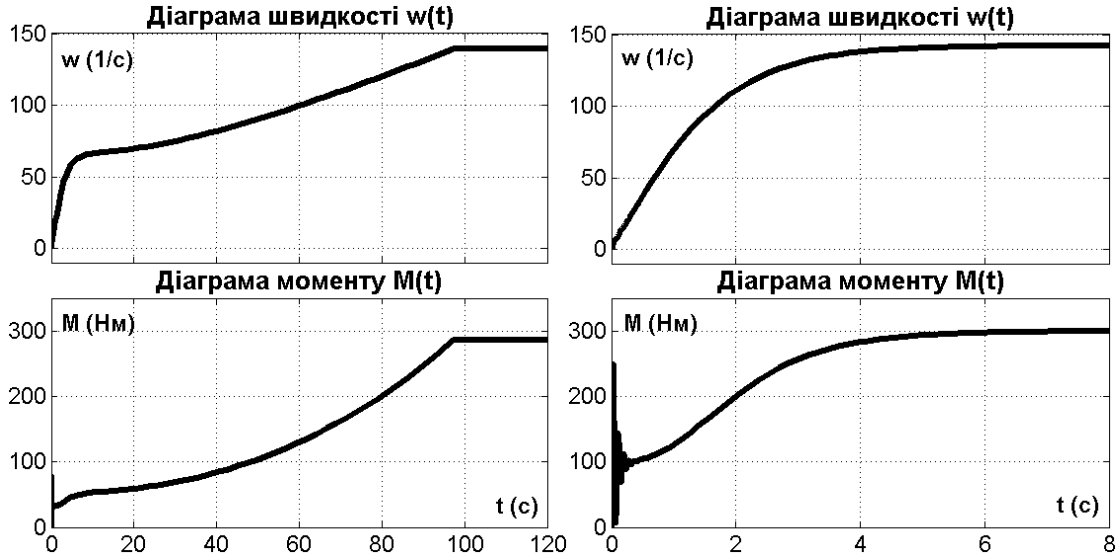
$$P_{нер} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{ном} \cdot H_{ном}}{\eta_{н}} = \frac{1100 \cdot 9{,}81 \cdot 800/3600 \cdot 14}{0.61} = 55000,\ \text{Вт}.$$

У разі застосування частотно-регульованого електроприводу, для забезпечення необхідних параметрів функціонування насосних агрегатів станції водовідведення стічної дощової води, використовуючи результати моделювання маємо $P_{чрп}$ = 45000 Вт при $\omega_н$ = 139 рад/с.

Таким чином, мінімальна економія споживаної потужності в робочій точці в номінальному режимі роботи насосного агрегату становить 10 кВт або 18 %, а при регулюванні швидкості у бік її зменшення економія ще більш зростає. Так, наприклад, при

швидкості ω = 100 рад /с споживана потужність складає $P_{\text{чрп}}$ = 15 кВт, що забезпечує економію в 40 кВт або 73 %.

Синтезована модель дозволяє також дослідити поведінку насосного агрегату в динаміці. Візуалізацію забезпечує віртуальний осцилограф *Scope*. Діаграми зміни швидкості та моменту двигуна для обох режимів, що розглядаються зображені на рис 4.



а б

Рисунок 4 – Діаграми швидкості і моменту двигуна при перемінному водоспоживанні (а) та постійному водопостачанні (б)

Характеристики насосного агрегату в залежності від відповідного режиму в динаміці відрізняються формою та тривалістю перехідних процесів. Регулювання режиму роботи насосу в залежності від припливу стічної дощової води відрізняється інерційністю, що пояснюється самою природою протікання процесу. Режим підтримання сталості витрати води має достатню швидкодію, оскільки потребує простого регулювання швидкості насосу. Необхідно відмітити, що незалежно від режиму, який застосовується протікання перехідних процесів має спокійний характер як для швидкості, так і для моменту.

Висновки. За технологією роботи насосні станція водовідведення дощової стічної води є об’єктом, який в значній мірі потребує вирішення питань оптимізації робочого процесу відносно різних параметрів і показників. Насосні агрегати приймальної ємкості дощової стічної води повинні мати можливість регулювати витрату та напір в залежності від інтенсивності осадків у вигляді дощу, підтримуючи оптимальне значення робочої точки. Для насосних агрегатів приймальної ємкості відстояної води доцільно оптимізувати робочий процес за вихідною координатою – витратою, підтримуючи її постійною. Синтезовані універсальні структурні моделі дають можливість використовувати їх для будь-яких насосних агрегатів маючі тільки їх номінальні параметри в якості вихідних даних. Результати моделювання довели доцільність застосування частотно-регульованого електроприводу для насосів, котрий забезпечує економічне управління в потрібних режимах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Оптимизация процесса водоотведения в крупных городах. – М.: АСВ, 2013.

2. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

3. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

4. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 260 с.

УДК 681.52

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н.,

Бояринцев Я.И., Видренков В.А.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В УНИФИЦИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Статья посвящается особенностям автоматизации шахтного конвейерного транспорта при применении унифицированных систем автоматизации УТАС, САУКЛ. В статье указаны основные области применения этих систем, а также вопросы адаптации при их использовании с системами регулируемого электропривода. Предложено устройство, которое может быть включено в конфигурацию УТАС, САУКЛ и позволяет контролировать значения загрузки ленты конвейера при изменении заданной частоты вращения его приводного барабана для разных значений производительности.

ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНВЕЄРІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В УНІФІКОВАНИХ СИСТЕМАХ

Стаття присвячується особливостям автоматизації шахтного конвеєрного транспорту при застосуванні уніфікованих систем автоматизації УТАС, САУКЛ. У статті вказані основні області застосування цих систем , а також питання адаптації при їх використанні з системами регульованого електроприводу. Запропоновано пристрій, який може бути включено в конфігурацію УТАС, САУКЛ і дозволяє контролювати значення завантаження стрічки конвеєра при зміні заданої частоти обертання його приводного барабана для різних значень продуктивності.

AUTOMATION OF PIPELINES IN THE APPLICATION ELECTRIC DRIVE SYSTEMS IN UNIFORM

The article is dedicated to the automation features of the mine conveyor transport in the application of standardized automation systems UTAS, SAUKL. The paper identifies the main areas of application of these systems, as well as issues of adaptation when used with controlled drive systems. A device which may be included in the configuration UTAS, and allows control SAUKL load value of the conveyor belt at a predetermined speed change its drive drum for different performance.

Роль автоматизации шахтного конвейерного транспорта заключается в снижении трудоемкости обслуживания, высвобождении занятых на подземном транспорте работников, а также в повышении безопасности и снижении травматизма. Как известно, в соответствии с

Постановлением Кабинета Министров Украины от 18.01.2001 г. № 25 и от 31.03.2003 г. № 413 ГП «Петровский завод угольного машиностроения» приобрел технологию фирмы «Continental Conveyor Ltd» (Великобритания) для создания и серийного производства унифицированной телекоммуникационной автоматизированной противоаварийной системы (УТАС). Проектировщиками и специалистами завода эта лицензионная технология была доработана с учетом особенностей угледобычи в Украине и адаптирована к местным условиям.

Основная область применения системы УТАС – угольные шахты и рудники, в том числе опасные по газу, пыли и внезапным выбросам, а также поверхностный комплекс шахты и обогатительные фабрики. Кроме того, систе-ма УТАС может применяться на предприятиях химической и металлурги-ческой промышленности, в деревообрабатывающей промышленности, в промышленности по добыче и обработке строительных материалов, в сельском хозяйстве и других областях [1].

Объединение автоматизированных систем позволяет единообразно и надежно решить важнейшую проблему – защиту накапливаемой информации от искажений.

Основными задачами системы УТАС при ее использовании на предприятиях являются:

– автоматический контроль метана;

– контроль проветривания тупиковых выработок и управление ВМП;

– мониторинг параметров шахтной атмосферы и микроклимата;

– мониторинг состояния основного и вспомогательного технологического оборудования;

– управление технологическими процессами и технологическим оборудованием;

– мониторинг состояния систем электроснабжения, гидроснабжения, пневмоснабжения, а так же их управления.

Типовый состав технических средств подземной части системы УТАС:

– датчики аэрогазового контроля;

– датчики физических параметров;

– подземные вычислительные устройства (контроллеры);

– устройства аудио-визуальной сигнализации;

– дисплеи;

– источники питания;

– репитеры;

– линии питания и связи;

– телекоммуникационные линии.

Функционально система УТАС состоит из следующих модулей:

– модуль сбора и первичной обработки информации, представляющий собой совокупность датчиков и устройств, обеспечивающих сбор контролируемых данных;

– модуль передачи данных, состоящий из передающих устройств (программируемые контроллеры, репитеры) и телекоммуникационных линий;

– модуль приема, обработки, анализа собранной информации и управления машинами и комплексами, представляющий собой средства приема информа-ции, вычислительной техники, программное обеспечение и средства телемеханики осуществляющие контроль, визуальное отображение контроли-руемых параметров и включение – выключение оборудования.

Подсистема УТАС для управления транспортной цепочкой (конвейеры, бункеры, питатели и др.) от забоя и до ствола шахты обеспечивае**т следующие функции:**

- непрерывный автоматический контроль скорости движения ленты ленточных конвейе-ров;

- непрерывный автоматический контроль проскальзывания ленты ленточных конвейеров;

- непрерывный автоматический контроль оксида углерода у приводных станций, сбрасывающих и натяжных барабанов ленточных конвейеров;

- непрерывный автоматический контроль температуры окружающей среды у приводных станций ленточных конвейеров;

- непрерывный автоматический контроль тока двигателя приводной станции ленточного конвейера;

- контроль положения ограждений приводных станций ленточных конвейеров;

- непрерывный автоматический контроль давления воды в противопожар-ном ставе;

- непрерывный автоматический контроль состояния ленточных конвейеров (работают/выключены);

- отключение программируемым контроллером контролируемого конве-йера, который должен быть обесточен при достижении предельно допустимого уровня температуры контролируемого узла конвейера, предельно допустимого уровня содержания оксида углерода у приводных станций ленточных конвей-еров, предельно допустимого уровня содержания метана в выработках, оборудованных ленточными конвейерами и над аккумулирующими бункерами, при отсутствии необходимого давления воды в противопожарном ставе у приводной станции, открытом положении ограждений приводной станций [2].

Из анализа приведенных функций и возможностей системы УТАС видно, что для применения регулируемого электропривода конвейеров требуется специальная аппаратная адаптация. Далее рассмотрим особенности еще одной системы автоматизации - САУКЛ.

На рис. 1.1. приведена схема электрическая структурная САУКЛ, где приняты следующие сокращения:

АЛС – адаптер линии связи;

АПУ – адаптер пульта управления;

ПУ – пульт управления;

СА и Э – схема автоматизации и электроснабжения;

На рис. 1.2. приведена схема электрическая структурная комплекта конвейера, где приняты следующие сокращения:

СБ – сбрасывающий барабан;

ПБ – приводной барабан;

BV – датчик скорости ленты;

КТВ-2 – кабель-тросовый выключатель;

SQ – коммутирующее устройство;

BR – датчик оборотов;

ВВ – датчик скорости приводного барабана (ДМ-2М);

БУК – блок управления конвейером;

МЗС – модуль заштыбовки, сирены;

КСЛ – датчик контроля схода ленты;

ЛС - линия связи;

ЛТ – линия телефона;

Система САУКЛ совместно с пусковым оборудованием и датчиками обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Централизованное автоматизированное управление разветвленными и неразветвленными конвейерными линиями.

2. Местное автоматизированное управление конвейером, осуществляемое с блока управления конвейером.

3. Дистанционное управление вспомогательным оборудованием.

4. Создание и редактирование на пульте управления (ПУ) мнемосхемы конвейерных линий в соответствии с конфигурацией транспортной сети.

5. Автоматическая регистрация и сохранение на ПУ информации о работе конвейеров (линий) и системы управления с защитой от внесения изменений.

6. Двустороннюю симплексную телефонную связь между диспетчером и пунктами установки блоков управления конвейерами.

7. Управление конвейером с многодвигательным приводом.

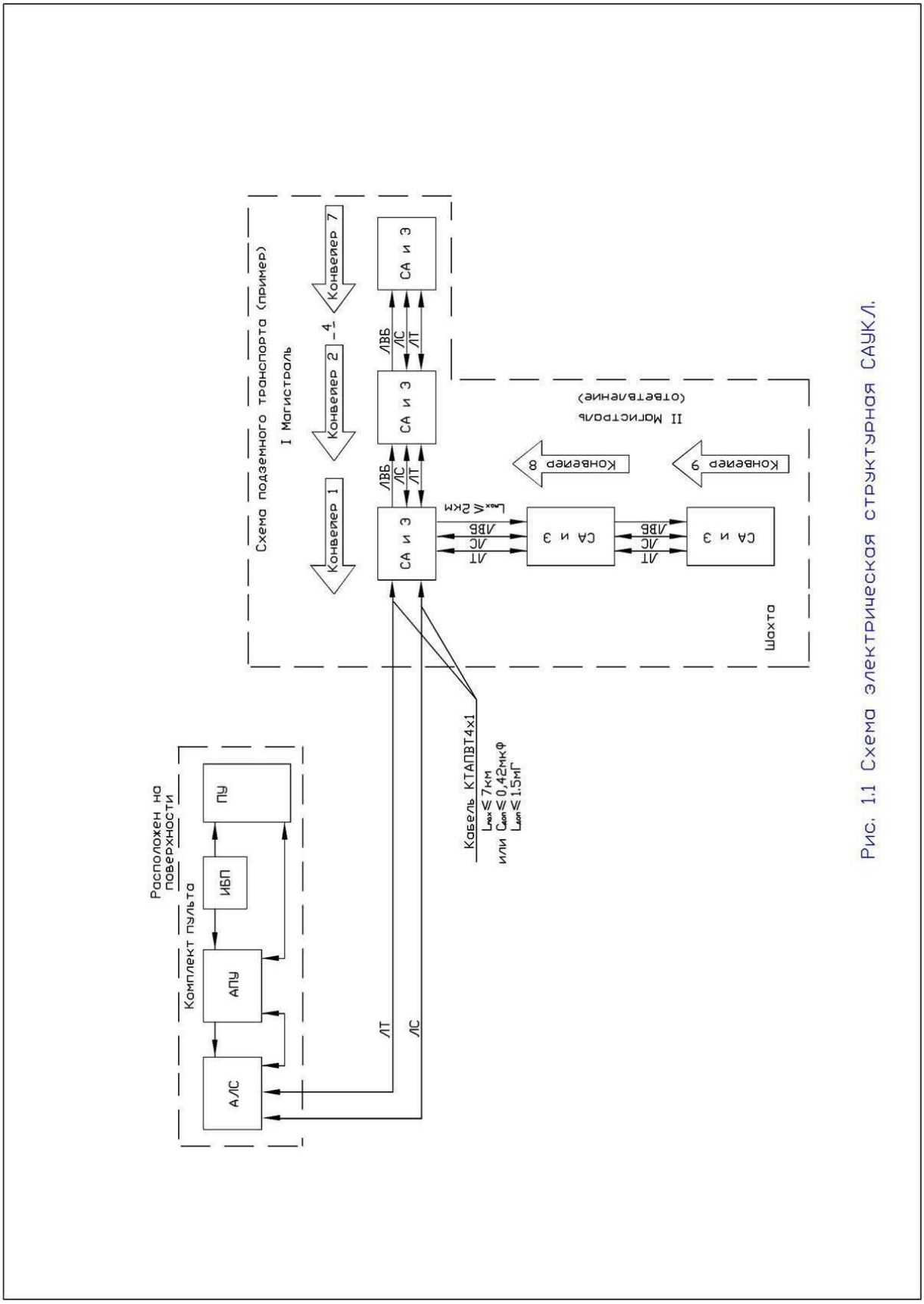


Рис. 1.1 Схема электрическая структурная САУКЛ.

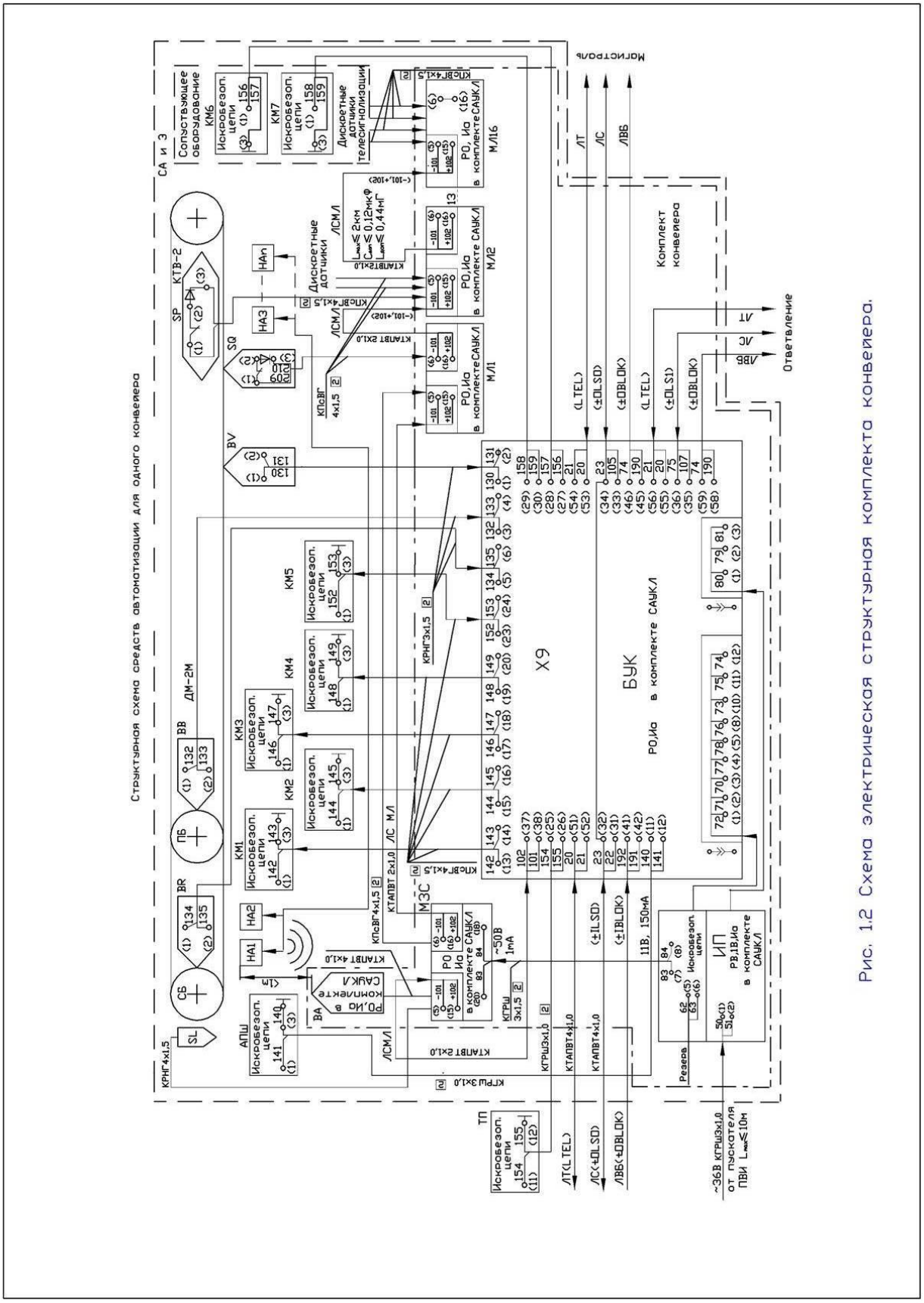


Рис. 1.2 Схема электрическая структурная комплекта конвейера.

8. Контроль процесса снижения скорости при остановке конвейера и его защитное отключение, воздействием на трансформаторную подстанцию или фидерный автомат, при залипании силовых контактов магнитных пускателей.

9. Контроль и защита от несанкционированного пуска конвейера в случае прямого воздействия на магнитный пускатель его двигателя.

10. Пуск конвейерной линии (части линии) или дозапуск необходимого количества конвейеров, без остановки работающих, по командам оператора с подачей предупредительной звуковой сигнализации длительностью не менее 6с.

11. Оперативную остановку конвейерной линии, части линии, отдельного конвейера с автоматическим отключением всех конвейеров, подающих груз на остановившийся конвейер:

а) по команде диспетчера с пульта управления;

б) при нажатии кнопки «Стоп» на блоке управления конвейером, обслуживающим персоналом;

в) при размыкании цепи линии взаимоблокировки от принимающего конвейера;

г) при несанкционированном переводе переключателя режима работы в положение «Местный», если конвейер был запущен в автоматизированном режиме управления, или при переводе переключателя режима работы в положение «Автоматизированный», если конвейер был запущен в местном режиме управления.

12. Аварийную остановку конвейера (с наложением тормозов при снижении скорости ленты ниже 0.5 м/с) при следующих видах защитного отключения, а также в случаях п. 13 для конвейеров, в конструкции которых не предусмотрены тормоза:

а) при проскальзывании ленты относительно приводных барабанов в период нормальной работы более чем на 10 % от номинальной синхронной скорости и при непрерывной подаче сигнала о проскальзывании в течение от 1,5 до 4 с.; б) при снижении скорости приводного барабана в период нормальной работы более чем на 25 % от его номинальной синхронной скорости и при длительности сигнала в течение от 1,5 до 4 с;

в) при затянувшемся пуске, если за установленное время разгона, в пределах от 10 до

60 с, скорость приводного барабана не достигнет 75 % от номинальной синхронной скорости;

г) при сходе ленты в сторону на величину, составляющую 10 % от ее ширины и в случае непрерывной подачи сигнала в течение от 1,5 до 4 с;

д) при срабатывании электрической защиты электропривода;

е) при открытом ограждении приводных, натяжных и концевых станций, (конструкция которых предусматривает возможность их съема);

ж) при самопроизвольном наложении тормозов в процессе работы конвейера (при наличии соответствующих датчиков);

з) при нагреве приводных барабанов свыше установленной нормы (при наличии соответствующих датчиков контроля температуры барабана, в соответствии с паспортом или технической документацией на используемый конвейер);

и) при перегреве масла в гидромуфте (при наличии соответствующего датчика контроля температуры в гидромуфте);

к) при отсутствии связи с пультом управления более 30 с;

л) при наличии короткого замыкания в цепях подключения дискретных датчиков к МЛ;

м) при наличии обрыва или короткого замыкания в линии связи с МЛ.

13. Экстренную остановку конвейера, с одновременным наложением тормозов и подачей команды на отключение привода конвейера при следующих видах защитного отключения:

а) при превышении скорости барабана бремсберговых конвейеров на 8 % от его синхронной скорости и длительности сигнала в течение от 1,5 до 4 с;

б) при подаче персоналом команды на экстренное отключение конвейера из любой точки вдоль его става;

в) при превышении допустимого уровня транспортируемого материала в местах перегрузки с конвейера на конвейер, длительность сигнала от 1 до 3 с;

г) при поступлении сигнала на отключение от средств обнаружения пожара;

д) при срабатывании датчиков обрыва или ловителей ленты;

е) при проезде человеком места схода с ленты;

ж) при отсутствии сбрасывающего щитка грузопассажирских конвейеров.

14. Блокировку запрещающую:

а) пуск конвейера с пульта управления, если блок управления конвейером находится в режиме местного управления;

б) работу всех конвейеров в автоматизированном режиме управления, расположенных за конвейером находящимся в режиме местного управления;

в) работу конвейера в местном режиме при фиксации кнопки «Пуск».

15. Блокировку, запрещающую включение двигателей конвейера:

а) без подачи предупредительной сигнализации;

б) при превышении допустимого уровня транспортируемого материала в местах перегрузки;

в) при предельном положении натяжного барабана;

г) при открытом состоянии ограждений приводных, натяжных, концевых станций, конструкция которых предусматривает возможность их съема;

д) при наложенных тормозах;

е) при перегреве масла в турбомуфтах приводных барабанов;

ж) при наличии схода ленты в сторону;

з) при наличии сигнала от датчика экстренной остановки;

и) при перегреве обмоток электродвигателей;

к) при наличии сигнала от средств обнаружения пожара;

л) при обрыве ленты;

м) при наличии короткого замыкания в цепях подключения дискретных датчиков;

н) при наличии короткого замыкания в цепях кнопок «Пуск» и «Сирена»;

о) при обрыве в цепи кнопки «Стоп»;

п) при наличии короткого замыкания или обрыва в линии связи с МЛ.

р) при отсутствии давления воды в противопожарном ставе.

16. Блокировку, запрещающую повторный пуск конвейера с пульта управления до момента ручной деблокировки в случаях:

а) проскальзывания ленты относительно приводного барабана;

б) снижения скорости приводного барабана;

в) превышения скорости приводного барабана на 8 % от номинальной синхронной скорости;

г) срабатывания электрических защит электропривода;

д) затянувшегося пуска;

е) подачи команды по линии экстренного отключения;

ж) самопроизвольного наложения тормозов в процессе работы;

з) срабатывания ловителей ленты или датчика обрыва ленты;

и) поступления команды на отключение от средств обнаружения пожара.

17. Сигнализацию и индикацию:

а) предупредительную звуковую сигнализацию длительностью не менее 6 с, автоматически подаваемую перед пуском конвейера или конвейерной линии, слышимую по всей длине;

б) аварийную звуковую сигнализацию на конвейере, при возникновении любого защитного отключения конвейера, длительностью не менее 30 с;

в) вызывную (кодовую) звуковую сигнализацию по любому выбранному диспетчером маршруту, подаваемую для вызова обслуживающего персонала;

г) звуковую сигнализацию на пульте управления об экстренном или аварийном отключении любого конвейера;

д) оперативную индикацию на блоке управления конвейером, содержащую сообщение о режиме работы и типе конвейера;

е) аварийную индикацию на блоке управления конвейером с расшифровкой всех видов

защитных отключений и блокировок;

ж) оперативное отображение на пульте управления состояний управляемых объектов;

з) отображение на пульте управления причин защитных отключений, с точностью до номера конвейера и номера датчика;

Запуск и остановка конвейера.

Пуск конвейера производится оператором с пульта управления. После получения команды "Пуск" БУК автоматически отрабатывает предпусковую предупредительную сигнализацию длительностью не менее 6 секунд. Снятие тормоза и включение электродвигателей привода конвейера начинается после поступления сигнала по линии взаимоблокировки.

Во время разгона конвейера контролируются сигналы поступающие от датчиков скорости приводного барабана и ленты. Через 15 секунд после подачи команд на включение двигателей начинается контроль наличия сигнала с датчика скорости приводного барабана. Если сигнал не поступает, то БУК идентифицирует это как обрыв цепи линии датчика и производит аварийное отключение привода конвейера. Наличие сигнала с датчика скорости ленты контролируется через 30-40 секунд после пуска двигателей. При его отсутствии так же производится аварийная остановка. Разгон конвейера до номинальной скорости ленты контролируется по установленному времени разгона. Если за это время разгон не произошел то двигатели привода отключаются и ситуация идентифицируется как "затянувшийся пуск".

Управление линией взаимоблокировки производится только в автоматизированном режиме. Разрешение на запуск подающих конвейеров происходит только после разгона ленты до скорости выше 0,75 % от номинального значения.

После подачи команды на отключение двигателей производится контроль снижения скорости ленты. Если снижение не происходит то БУК идентифицирует это, как не выполнение команды остановки и формирует сигнал на отключение подстанции или фидерного автомата, от которых поступает силовое питание.

В системах УТАС, САУКЛ отсутствует возможность контроля значения загрузки ленты конвейера при изменении заданной частоты вращения его приводного барабана для разных значений производительности.

Использование, например, преобразователя частоты для привода ленты конвейера позволяет осуществлять плавный пуск конвейера без перегрузок двигателя, плавно регулировать скорость ленты при изменении загрузки, увеличить межремонтные периоды механической части в 1,3 - 1,5 раз, снизить эксплуатационные расходы на обслуживание конвейера на 30-50%, существенно снизить потребление электроэнергии электроприводом конвейера [3].

Предлагается устройство, которое может быть включено в конфигурацию УТАС, САУКЛ и позволяет контролировать значения загрузки ленты конвейера при изменении заданной частоты вращения его приводного барабана для разных значений производительности. Так же позволяет не допустить повышения перегрузки ленты конвейера при его работе и своевременно изменять режим работы путем изменения скорости привода, позволяет также изменять порог срабатывания устройства, имеет простую конструкцию и повышенную надежность при эксплуатации, а также имеет низкие затраты на его обслуживание. При этом также уменьшаются расходы электроэнергии за счет уменьшения времени работы конвейера вхолостую, уменьшаются затраты на ремонт ленты, так как при работе с некоторой средней производительностью при недогруженной ленте осуществляется излишнее количество пробегов, что сокращает ее срок службы, а недогрузка асинхронных двигателей электроприводов конвейеров ухудшает энергетические показатели из-за снижения коэффициента мощности cosφ.

На рис. 1.3. представлена структурная схема устройства контроля загрузки конвейерной ленты, которое имеет блок 1 приводной ленты конвейера, соединенный с цепями трехфазного питания U1 через датчик 2 мощности, вход весов 3 конвейерных соединен со входом блока 4 расчета пути, второй вход которого через преобразователь 5 скорости соединено с выходом датчика 6 скорости, который связан с лентой конвейера, четвертый вход привода 1 ленты конвейера соединено с выходом блока 7 управления, второй вход которого соединен с выходом первого порогового элемента 8, выход датчик 2 мощности соединен с входом блока 9 определения нагрузки, выход которого через блок 10 сравнения соединен с первым входом блока 7 управления, выход блока 4 расчета пути подключен через последовательно соединенные второй пороговый элемент 11 и формирователь 12 импульсов со входом блока 13 распределения сигналов, восемь выходов которого соединено со вторыми входами четырех регистров 14, 15, 16, 17 параллельных и четырех формирователей 18, 19, 20, 21 шинных, девятый выход соединен со входом весов 13

конвейерных и с входом блока 4 расчета пути, десятый выход соединен с цифро-аналоговым преобразователем 22 через сумматор 23, второй вход которого соединен с выходами четырех формирователей 18, 19, 20, 21 шинных, выход цифро-аналогового преобразователя 22 соединен со вторым входом блок 10 сравнения и входом первого порогового элемента 8, второй вход которого соединен с источником Е1 постоянного входного действия, два других источника Е2, Е3 сопряжены со вторыми входами, соответственно, второго порогового элемента 11, блока 9 определения нагрузки, выход весов 3 конвейерных подключен с последовательно соединенными регистрами 14, 15, 16, 17 параллельными, выходы которых соединены со входами, соответственно, формирователей 18, 19, 20, 21 шинных [4].

Блок 1 приводной ленты конвейера состоит из устройства регулирования скорости, выход которого подключен к трехфазному электродвигателю с редуктором, который соединен с приводным барабаном конвейерной ленты. Устройство регулирования скорости может быть выполнено в виде преобразователя частоты, который обеспечивает обработку входных сигналов от блока 7 управления для изменения частоты вращения электродвигателя путем изменения его выходного напряжения и частоты питания, что дает не только технологические преимущества, но и экономию болеее 25% электроэнергии, также снижаются пусковые токи электродвигателя и повышается срок его службы.

Датчик 2 мощности предназначен для преобразования активной мощности переменного тока в стандартный уровень сигнала постоянного напряжения с обеспечением гальванической развязки

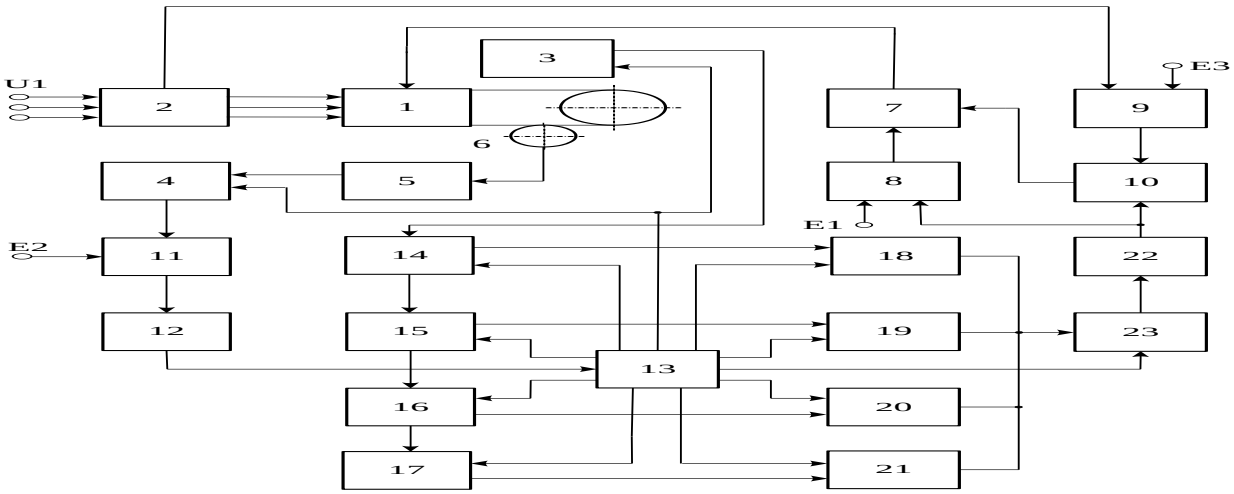


Рис. 1.3. Структурная схема устройства контроля загрузки конвейерной ленты

Может быть использован, например, измерительный преобразователь активной мощности с симметричной нагрузкой трехфазный типа P13P, который имеет выходной сигнал в виде напряжения.

Весы 3 конвейерные обеспечивают определение загрузки D конвейера по методу взвешивания грузопотока Qm в единицу времени. Для ленточных конвейеров приближенно можно считать, что

$$D = \int_{l_1}^{l_2} Q_m dt$$

Конвейерные весы состоят из грузоприемной платформы с расположенными на ней одним или двумя роликоопорами, воспринимающими груз на ленте. Роликоопоры располагаются на раме конвейера. Между платформой и рамой конвейера устанавливаются датчики нагрузки, например, в виде тензорезисторов. Могут быть использованы конвейерные весы суммирующие, которые формируют выходной сигнал Qm в аналоговом виде, а загрузка D - в цифровом.

Тензорезисторные преобразователи имеют небольшие габаритные размеры и простую конструкцию упругих элементов, стабильность показаний, пригодность для использования при динамическом взвешивании, возможность применения в тяжелых условиях взрывоопасных и агрессивных сред, что позволяет просто создать прецизионную весовую систему с большой жесткостью и высокой собственной частотой колебаний [5].

В устройстве цифровой сигнал U3 пропорционален загрузке D ленты. Количество разрядов на выходе весов 3 конвейерных определяется максимальным значением загрузки D за время измерения на фиксированном отрезке пути, который вводится значением E2. На рис. 1.3. связи между блоками с многоразрядными цифровыми сигналами показаны в виде одиночных линий.

Блок 4 расчета пути обеспечивает определение фиксированного отрезка пути LO пройденного лентой конвейера за время между сигналами обнуления текущего значения при переменной скорости V ленты и может быть выполнен с использованием интегратора, выходной сигнал U4 которого изменяется в зависимости от скорости V, в соответствии с выражением

$$LO = \int_{t1}^{t2} V dt \quad , \qquad \text{или} \quad U4 = \int_{t1}^{t2} U5\, dt \quad .$$

Момент t_2 интегрирования определяется при достижении сигналом U4 значение E2 в пороговом элементе 11 и подачей сигнала обнуления на вход блока 4 от блока 13, дальше начинается новый цикл интегрирования с момента t_1, при котором U4 = 0.

Преобразователь 5 скорости обеспечивает усиление сигнала U6 датчика 6 скорости, а также преобразование его в сигнал U5 выходного напряжения, пропорционального скорости ленты во всем диапазоне ее измерения.

Датчик 6 скорости обеспечивает формирование выходного сигнала U6, пропорционального линейной скорости конвейерной ленты. Он может быть выполнен с использованием датчиков с контактными или бесконтактными методами измерения, например, с использованием тахогенератора или датчика скорости на эффекте Доплера.

Блок 7 управления обеспечивает формирование сигнала управления приводом 1 ленты конвейера в зависимости от его загрузки D по сигналу U10 от блока 10 сравнения, формирования и подачи звуковых и световых сигналов, а также сигнала аварийного отключения конвейера при подаче высокого логического уровня U8 от порогового элемента 8. Элементы для настройки блока 7, а также входные сигналы от технологических датчиков и датчиков аварийного состояния конвейера не показаны.

Пороговый элемент 8 обеспечивает переключение выходного уровня сигнала U8 с логического нуля в единицу при условии U22 > E1. Значение E1 пропорционально номинальному значению загрузки Dном ленты конвейера.

Блок 9 определения загрузки обеспечивает расчет загрузки Dроз ленты конвейера с использованием значения потребляемой мощности P по выражению

$$\mathrm{D}роз = \frac{P - Pxx}{k(w \pm \sin\alpha)} \quad \text{или} \quad U9 = \frac{U2 - U2xx}{k(w \pm \sin\alpha)}$$

Между мощностью *P*, потребляемой блоком 1 приводным ленты, и значением загрузки *Dроз* существует указанная зависимость с использованием значений активной мощности P_{xx}, потребляемой двигателем при отсутствии груза на конвейере; коэффициента *k*, характеризующего конструктивные особенности ленточного конвейера; среднего значения коэффициента *w* сопротивления движению ленты ; угла *α* наклона конвейера. Выходной сигнал U_9 блока 9 пропорционален значению мгновенной производительностью *Dроз/сек*. Обычно мощность *Pxx* холостого хода величина постоянная для любого конвейера и устанавливается с помощью значения напряжения источника *E3*. Установка угла *α*,

коэффициентов *k, w* выполняются при настройке устройства, а элементы для их выполнения не показаны.

Блок 10 сравнения обеспечивает формирование выходного переменного сигнала U_{10}, амплитуда которого зависит от алгебраической разности сигналов на выходе блоков 9 и 22. Знак и амплитуда выходного сигнала $U_{10} = U_9 - U_{22}$ определяют параметры сигнала управления блоком 1 приводным ленты, который подается с выхода блока 7. Блок 10 сравнения может быть выполнен с использованием операционных усилителей.

Пороговый элемент 11 обеспечивает переключение выходного уровня сигнала U_{11} с логического нуля в единицу при условии $U_4 \geq E_2$.

Формирователь 12 импульсов обеспечивает формирование выходной последовательности импульсов и может быть выполнен на схеме генератора, который запускается высоким логическим уровнем сигнала U_{11}.

Блок 13 распределения сигналов обеспечивает формирование выходных импульсов, распределенных во времени, с использованием двоичного четырехразрядного счетчика, выходы которого соединены с демультиплексором, который имеет шестнадцать выходных линий. В зависимости от кода на четырех входах демультиплексора на одном из выходов присутствует высокий логический уровень.

С выходов блока 13 сигналы подаются в такой последовательности: сигнал в регистр 17 для записи числа значения веса из регистра 16, сигнал в регистр 16 для записи числа значение веса из регистра 15, сигнал в регистр 15 для записи числа значение веса из регистра 14 , сигнал в регистр 14 для записи числа значение веса из весов 3 конвейерных, сигнал в сумматор для его обнуления, сигнал в формирователь 21 шинный и сумматор 23 для первого слагаемого, сигнал в формирователь 20 шинный и сумматора 23 для второго слагаемого, сигнал в формирователь 19 шинный и сумматор 23 для третьего слагаемого, сигнал в формирователь 18 шинный и сумматор 23 для четвертого слагаемого, сигнал в весы 3 конвейерные для обнуления его значений и блок 4 расчета пути для обнуления исходного значения сигнала. Линии прохождения сигналов в сумматор 23 для выполнения сложения не показаны. Формирование сигналов блоком 13 заканчивается при исчезновении, отсутствии последовательности импульсов от формирователя 12 импульсов после обнуления исходных значений блока 4 и переключения выхода порогового элемента 11 в нулевой исходный уровень.

Регистры 14, 15, 16, 17 параллельные, обеспечивают запоминание цифровой

информации по результатам взвешивания груза на ленте конвейера на четырех единичных фиксированных отрезках L_O ее рабочей длины, которые определяются блоком 4. Количество разрядов регистров определяется разрядностью цифрового выходного сигнала весов 3 конвейерных. При двоичной записи максимальное число значения загрузки D при восьми разрядах регистра может быть определено по выражению $D = 2^n-1$, n - число разрядов. Управление регистрами 14, 15, 16, 17 параллельными осуществляется сигналами блока 13 распределения сигналов. Количество регистров может быть изменено и равно количеству фиксированных отрезков пути, длина каждого пропорциональна значению $E2$. При длине L грузовой части конвейера, значение фиксированного отрезка пути Lo измерения загрузки ленты весами 3 конвейерными определяется по формуле $L_O = L /N$, при четырех регистрах параллельных $N = 4$. С увеличением числа N регистров параллельных уменьшается транспортное запаздывание в обратной связи по значению загрузки ленты, а точность регулирования по заданному параметру увеличивается.

Формирователи 18, 19, 20, 21 шинные обеспечивают организацию совместной работы регистров 14, 15, 16, 17 параллельных на общую магистраль для подключения к входу сумматора 23 на основе элементов с тремя состояниями. Количество формирователей шинных всегда равно количеству регистров параллельных. Примером восьмиразрядного формирователя шинного являются интегральные микросхемы 555АП13, 555АП14. Практически во всех цифровых микросхемах выходы активны при наличии на входе CS или OE логического нуля и находятся в третьем состоянии при наличии на входе CS логической единицы, то есть вход CS является инверсным. Многие из шинных формирователей для повышения помехоустойчивости содержат внутри триггеры Шмитта. Управление формирователями 18, 19, 20, 21 шинными производится по сигналам блока 13 распределения сигналов. Это также могут быть интегральные схемы 82С86 и 82С87 - восьмиразрядные двунаправленные шинные формирователи, соответственно, неинвертирующий и инвертирующий. Цифровые многоразрядные входы формирователей шинных, которые соединены с выходами регистров 14, 15, 16, 17 параллельных, на рис. 1.3. показаны в виде единичных линий.

Цифро-аналоговый преобразователь 22 обеспечивает преобразование цифрового сигнала U_{23} с выхода сумматора 23 в аналоговый сигнал, пропорциональный значению суммы.

Сумматор 23 обеспечивает добавление числовых значений веса, которые поочередно

подаются от формирователей 18-21 шинных в цифровом виде записи и обеспечивает накопление общей суммы. Обнуление значения суммы производится по сигналу от блока 13 распределения сигналов. Дополнительные цепи для работы сумматора не приведены.

Движение ленты конвейера обеспечивается приводным барабаном от электродвигателя через редуктор. Момент М на валу приводного двигателя конвейера $M = FR/(i_p\eta_p)$, где F - усилие на приводном барабане.

$$F = F_{x.x} + F_T$$

$F_{x.x}$ - усилие, затрачиваемое на перемещение только ленты конвейера; F_T - усилие, необходимое на перемещение груза; R - радиус приводного барабана; i_p - передаточное отношение редуктора; ηp - КПД редуктора.

При отсутствии груза на ленте конвейера, двигатель создает момент холостого хода

$$M_{x.x} = F_{x.x}R/i_p\eta_{p.x.x},$$

где $\eta_{p.x.x}$ - КПД редуктора, соответствующий усилию $F_{x.x}$.

Учитывая линейную зависимость сил трения от усилий, необходимых для перемещения груза, зависимость момента на валу двигателя от усилия на барабане в относительных единицах можно представить следующим образом

$$M_* = M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*})F_{Г*}, \text{ де } M_* = M/M_{ном};$$

$$M_{x.x*} = M_{x.x}/M_{ном};\ F_{Г*} = F_Г/F_{Г.ном}$$

$M_{ном}$ - номинальный момент на валу двигателя, необходимый для перемещения ленты и номинального груза при номинальной скорости; $F_{Г\,НОМ}$ - составная усилия в тянущем органе конвейера, возникающая при перемещении только номинального полезного груза.

Составляющая тянущего усилия $F_Г$ и линейная скорость перемещения конвейера определяют в относительных единицах его производительность

$$Q_* = F_{Г*}\ v_*, \text{ де } Q_* = Q/Q_{ном}$$

$Q_{ном}$ - номинальная производительность конвейера. При постоянной номинальной скорости конвейера $v_* = 1$, $Q_* = F_{Г*}$, поэтому, потребляемую мощность электродвигателем, можно записать в виде

$$P_* = M_*\omega_* = M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*})Q_*$$

$$\text{где } P_* = P/P_{ном} = 1;\ \omega_* = \omega/\omega_{ном};\ \omega = Vi_p/R;$$

$P_{ном}$ - номинальная мощность на валу электродвигателя,

$\omega_{ном}$ - номинальная угловая скорость вала электродвигателя.

Из последней формулы следует, что по мере снижения производительности эффективность работы конвейера уменьшается, поскольку возрастает относительная доля мощности, расходуемой на преодоление момента холостого хода $M_{x\ x}$. Экономическим является режим работы конвейера с переменной линейной скоростью, что обеспечивает ту же производительность, но при постоянстве составляющей усилия $F_r^* = 1$. Угловая скорость в этом случае должна изменяться по закону $\omega_* = v_* = Q_*$, которому соответствует мощность на валу двигателя

$$P_* = M_* \omega_* = [M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*})]Q_* = Q_*$$

В этом случае мощность на валу двигателя будет меньше на величину ΔP_*

$$\Delta P_* = M_{x.x}(1 - Q_*),$$

откуда видно, что эффект от регулирования линейной скорости конвейера тем выше, чем больше момент M_{xx} холостого хода и чем значительнее снижается его производительность Q_* [6].

Принятые обозначения Un^i - амплитуда сигнала на i-м выходе n-го блока.

Блок питания, элементы для его подключения на рис. 1.3. не приведены.

Работает устройство следующим образом. После подачи питания U_1 на устройство производится обнуление значений веса 3 конвейерной, блока 4 расчета пути, а также всех узлов, связанных с выходами блока 13 распределения сигналов, подаётся питание на привод 1 ленты конвейера через датчик 2 мощности. Элементы и цепи для обнуления после подачи питания не показаны. Устройство готово для работы, аппараты для коммутации питания не приведены. При этом на выходе датчика скорости 6 сигналы равны нулю. После подачи сигнала управления от блока 7 лента конвейера разгоняется до заданной скорости, измеряемой датчиком 6 скоростей. Сигнал U_6 подается на преобразователь 5 скорости, а дальше на блок 4 расчета пути. Выходной сигнал U_4 изменяется в соответствии с зависимостью

$$U_4 = \int_{t1}^{t2} U5\, dt.$$

При увеличении значения сигнала U_4 до уровня E_2 на выходе порогового элемента 11

устанавливается логическая единица в соответствии с характеристики

$$U_{11} = \begin{cases} 0, \text{ при } U_4 < E_2 \\ 1, \text{ при } U_4 \geq E_2. \end{cases}$$

Формирователь 12 импульсов формирует выходную последовательность импульсов, которая подаётся на блок 13 распределения сигналов, который обеспечивает режимы работы регистров 14-17 параллельных, формирователей 18-21 шинных, весов 3 конвейерных, блока 4 определения пути и сумматора 23.

Материал, который подается на грузовую часть ленты перемещается на весовой участок на котором нагрузка материала воспринимается грузоизмерителем и превращается тензодатчиком в цифровой электрический сигнал. При разной скорости ленты, пропорциональной мгновенной производительности позволяет вести учет суммарной массы транспортируемого материала на фиксированном отрезке, а также автоматически регулировать и поддерживать заданную производительность конвейера в пределах допустимой погрешности.

После запуска ленты конвейера начинается измерения значения загрузки с помощью весов 3 конвейерных, выходной сигнал которых записывается в регистр 14 при каждом цикле, который начинается после обнуления в соответствии с алгоритмом работы блока 13 распределения сигналов. За четыре цикла проходит полное заполнение четырех регистров 14-17 параллельных и при этом лента проходит полный путь грузовой длины, а в сумматоре 23 накапливается значение полной массы загрузки ленты конвейера и оно преобразуется в аналоговый сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя 22.

Кроме того, с выхода датчика 2 мощности подается сигнал U_2, пропорциональный активной мощности, потребляемой блоком приводным ленты конвейера на блок 9 определения нагрузки, который определяет загрузку ленты конвейера.

Выходной сигнал U_9 блока 9, пропорциональный расчетному значению загрузки ленты конвейера, подается на первый вход блока 10 сравнения, а на его второй вход - от цифро-аналогового преобразователя 22 сигнал, пропорциональный загрузке D ленты конвейера в результате определения весами 3 конвейерными на каждом отрезке L_o. На выходе блока 10 сравнения сигнал U_{10} изменяется в зависимости от алгебраической разности сигналов на выходе блоков 9 и 22. Знак и амплитуда выходного сигнала $U_{10} = U_9 - U_{22}$ определяют параметры сигнала управления блока 1 приводного ленты, который подается

через блок 7 управления.

При уменьшении загрузки D ленты конвейера сигнал U_{22} уменьшается, поэтому U_{10} при этом увеличивается, что приводит к уменьшению сигнала U_7, вследствие чего уменьшается скорость ленты конвейера, что ведет к увеличению ее загрузки. При увеличении загрузки D ленты конвейера сигнал U_{22} увеличивается и если он превышает значение уровня E_1, то на выходе порогового элемента 8 устанавливается логическая единица в соответствии с характеристики

$$U11 = \begin{cases} 0, \text{ при } U22 < E1 \\ 1, \text{ при } U_{22} > E_1. \end{cases}$$

Сигнал U_8 подается на второй вход блока 7 управления уровня логической единицы, что приводит к подаче с его выхода сигнала на увеличение скорости ленты конвейера, а также подачи звукового или светового сигнала.

Поскольку регулирование скорости обеспечивает равномерную загрузку конвейера, то сопротивление движению практически постоянно. И так, привод ленты конвейера обеспечивает регулирование скорости движения ленты при постоянном моменте на его валу, т.е. при постоянном натяжении ленты независимо от диапазона регулирования скорости, что увеличивает срок ее службы. Это важно, поскольку стоимость ленты конвейера составляет от 30 до 60% стоимости всей конвейерной установки в зависимости от длины транспортировки [7].

По мере перемещения ленты конвейера с грузом от места загрузки до места выгрузки проходит переписывание значений веса груза на каждом отрезке пути L_O из регистра 14 в регистр 15, далее из регистра 15 в регистр 16, далее из регистра 16 в регистр 17. После каждого взвешивания такое перемещение и перезапись продолжаются. Общая загрузка ленты в виде четырех взвешиваний по количеству регистров всегда присутствует в сумматоре 23 после суммирования четырех составляющих на его входе. Время выполнения операций управления, которые подаются в виде сигналов с блока 13 распределения сигналов, не превышают долей миллисекунды и связано с быстродействием выбранной элементной базы электронных компонентов устройства. Для остановки ленты конвейера подается сигнал с блока 7 управления. Элементы и цепи для оперативной остановки ленты конвейера с помощью кабель-тросовых выключателей не показаны на рис. 1.3.

Для сопряжения предлагаемого устройства с блоками и узлами САУКЛ, рис. 1.2.,

можно привести привязку сигналов:

- для формирования сигналов блока 7 управления используется **блок управления конвейером (БУК)**;

- для формирования сигналов датчика скорости 6 используется **датчик BV – скорости ленты**;

- для формирования сигналов *E1, E2, E3* используются выходные напряжения **источника питания (ИП) с выходными амплитудами напряжения +8В, +12В, +24В** и соответствующими делителями.

Устройство обеспечивает отключение конвейера при технологической перегрузке ленты вне зависимости от скорости ее перемещения. При работе устройства используются источники *E1, E2, E3* постоянного входного действия, что позволяет просто выполнять его настройки на конкретные значения загрузки ленты конвейера, пропорционально номинальной с помощью E_1, длины фиксированного отрезка пути следования ленты для выполнения взвешивания, с помощью значения *E2,* мощности *Pxx* холостого хода с помощью значения *E3*.

Использованные источники информации

1. Типовое руководство по оборудованию и эксплуатации унифицированной телекоммуникационной системы диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами (УТАС) в угольных шахтах. “Петровский завод угольного машиностроения”. Донецк. 2004 г. 100 с.

2. Ігнатович М.В., Здановський В.Г. Перспективи впровадження автоматизованої протиаварійної системи УТАС // Інформаційний бюлетень з промислової безпеки – К.: ННДІПБОП, 2009. – № 4 (16). – с. 19-21.

3. Система САУКЛ. Руководство по эксплуатации САУКЛ 4.00.000 РЭ. АОЗТ "Инстройсервис". Том 01. 2003. 64 с.

4. Патент України на корисну модель № 70523. Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Бояринцев Я.І. Пристрій керування конвеєром з контролем завантаження стрічки. МПК B65G 43/00. 11.06.2012. Бюл. № 11, 2012 р.

5. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В.А. Дьяконов, Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев и др. - М.: Недра, 1982. -350 с.

6. Батицкий В.А. и др. Руководство по проектированию, монтажу, наладке и эксплуатации технологического оборудования и технических средств автоматизации шахтного конвейерного транспорта. - М.: Недра, 1986. -224 с.

7. Пособие по проектированию конвейерного транспорта. Ленточные конвейеры (к СНиП 2.05.07-85)/ Промтрансниипроект. – М.: Стройиздат, 1988. - 48 с.

РОЗДІЛ D
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕКОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК : 536.248.1

ГАЛЬЧЕНКО І.В., ЗАТІРКА Н.О., ГАВРИШ А.С.

ПРО СТВОРЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОРЕЧОВИН

ГАЛЬЧЕНКО И.В., ЗАТИРКА Н.О., ГАВРИШ А.С.

О СОЗДАНИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВЕЩЕСТВ

GALCHENKO I.V., ZATIRKA N.O., GAVRISH A.S.

ABOUT CREATING PROTECTION COATINGS OF HEAT EXCHANGING SURFACES WITH USING NANOFLUIDS

Анотація. Використання нанотехнологій в енергетиці супроводжується розвитком експериментальних досліджень. На підставі проведеного аналізу були розглянуті особливості використання наноречовин для створення захисних покриттів теплообмінних поверхонь, що дозволяють підвищити стійкість до корозії, механічних впливів, поганих погодних умов та дії агресивних середовищ.

Аннотация. Использование нанотехнологий в энергетике сопровождается развитием экспериментальных исследований. На основании проведенного анализа были рассмотрены особенности использования нановеществ для создания защитных покрытий теплообменных поверхностей, которые позволяют повысить стойкость к коррозии, механическим воздействиям, плохим погодным условиям та действию агрессивных сред.

Annotation. The usage of nanotechnology in the energy sector accompanied by the development of experimental research. Based on the analysis were discussed features of using nanofluids for creation protection coatings of heat exchanging, which allow increase corrosion resistance, mechanical influence, bad weather conditions and action of aggressive environment.

Ключові слова. Наноречовини, наночастинки, захисні покриття.

Ключевые слова. Нановещества, наночастицы, защитные покрытия.

Key words. Nanofluids, nanoparticles, protection coatings.

ВСТУП

Нанотехнології - це новий напрямок науки і технології, що активно розвивається в останні десятиліття. Нанотехнології включають створення і використання матеріалів, пристроїв і технічних систем, функціонування яких визначається наноструктурою.

Найважливішою складовою частиною нанотехнології є наноматеріали, тобто матеріали, незвичайні функціональні властивості яких визначаються впорядкованою структурою їх нанофрагментів розміром від 1 до 100 нм. Вони є сировиною для виготовлення наносистемної техніки, характеристики якої кардинально відрізняються від аналогів, створених за традиційними технологіями.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проаналізувати різного роду наноречовини для створення захисних покриттів теплообмінних поверхонь.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОРІДИН ТА ПРО «ЕФЕКТ ЛОТОСА»

Базовим елементом нановиробництва є наночастинки. Вони мають розмір від 1 до 100 нанометрів. В загальному випадку можуть бути твердими, рідкими і газоподібними. Типовими несучими рідинами є вода, органічні рідини (етиленгліколь, масло, біологічні рідини), полімерні розчини. Як тверді наночастинки зазвичай виступають хімічно стійкі метали та їх оксиди. Найменшою наночасткою можна вважати фулерен, діаметр якого близько 1 нм. Саме з таких дрібних частинок зроблені різні «мікроконструкції»: нанотрубки, «наноліки», нанопокриття і т.д. Наночастинки деяких матеріалів мають дуже хороші каталітичні та адсорбційні властивості. Інші матеріали показують дивовижні оптичні властивості. Наприклад, надтонкі плівки органічних матеріалів застосовують для виробництва сонячних батарей. Вдається домогтися взаємодії штучних наночасток з природними об'єктами нанорозмірів - білками, нуклеїновими кислотами та іншими. Ретельно очищені наночастинки можуть створювати певні структури. Така структура містить строго впорядковані наночастинки і також часто проявляє незвичайні властивості.

Самостійно зберегти свої початкові властивості не в змозі жоден матеріал, незалежно від своєї вартості і технології його виробництва. Для того, щоб зберегти поверхні різних матеріалів від впливу на них агресивних факторів зовнішнього середовища використовуються захисні нанопокриття.

Розроблено унікальне покриття зі стійкими гідрофобними властивостями. На обробленій поверхні відтворений так званий «ефект лотоса» - ефект зовсім малої змочуваності поверхні водою і самоочищення. Він відбувається за рахунок того, що краплі води не затримуються на листках і пелюстках лотоса, а скочуються з них. На рис.1 зображено рельєф поверхні листка лотоса. Він представлений впорядкованим рельєфом мікронного і манометрового розміру, який покритий тонким соскоподібним (гідрофобним) шаром. Потрапляючи на цю поверхню, капля приймає майже ідеальну сферичну форму і з легкістю скочується з неї, несучи з собою частинки пилу та бруду.

Рисунок 1 - Поверхня лотоса

При дослідженні на атомно-силовому мікроскопі отриманих захисних покриттів

вияснилось, що нанорельєф, який утворюється на оброблюваному матеріалі, практично повністю відповідає поверхні лотоса. Таким чином, захисні нанопокриття спроможні відтворювати «ефект лотоса» на поверхні будь-якого матеріалу.

В основі створення захисних покриттів нового покоління лежить так званий «метод хімічного щеплення». Нанопокриття наноситься на поверхню матеріалу, який необхідно захистити від впливу агресивних агентів оточуючого середовища і закріплюється на ній за рахунок міцних хімічних зв'язків. Формування захисного шару на оброблюваній поверхні відбувається шляхом взаємодії активних груп поверхні матеріалу і якірних груп молекул захисного нанопокриття.

Нанопокриття додає матеріалу водовідштовхувальні і самоочищувальні властивості. Оброблений виріб стійкий до різного роду забрудненням, а також володіє теплоізоляційними властивостями. Таким чином, захисне нанопокриття продовжує строк дії матеріалу, зберігаючи його якість.

Використання нанопокриттів дозволяє:

1. Значно зменшити коефіцієнт тертя при збереженні зносостійкості;
2. Збільшити в'язкість покриттів при збереженні антикорозійних властивостей;
3. Збільшити температуру експлуатації на 50°С.

Крайовий кут змочування також впливає на взаємодію нанопокриття з поверхнею. Крайовий кут змочування - це кут між поверхнею матеріалу і площиною, дотичною до поверхні рідини. Менше значення крайового кута свідчить про більш сильне розтікання краплі, і, відповідно, про більшу площу контакту води з матеріалом. Більша величина крайового кута сприяє тому, що крапля прагне прийняти ідеальну сферичну форму, в результаті чого площа її контакту з гідрофобною поверхнею мінімальна, а змочування практично відсутнє. На рис.2 зображено крайовий кут змочування.

Рисунок 2 - Статичний крайовий кут змочування

Із рисунка 2 отримаємо уяву про статичний крайовий кут змочування для трьох характерних випадків поверхонь: гідрофільної, гідрофобної та супергідрофобної.

2 СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ НАНОПОКРИТТІВ

Нанопокриття може наноситись різними способами на поверхню. Розглянемо метод газотермічного напилення. За рахунок зміни температури і варіювання швидкості газового струменя, який взаємодіє з частинками матеріалу можна добитися оптимального рівня адгезійних і корозійних характеристик, а також забезпечити більш високу густину покриттів.

В використанні високошвидкісного напилення є своя перевага. Це створення тонких,

але в той час міцних наноструктурованих покриттів.
В таблиці 1 приведені основні методи газотермічного напилення та їх характеристики.

Таблиця 1. Методи газотермічного напилення та їх властивості

Методи напилення	Матеріали, що використовуються	Джерело утворення тепла (робочі гази)	Адгезія, МПа	Пористість, %
Електродугова металізація	Проволоки суцільного перерізу і композити	Електрична дуга (повітря або інші гази)	20...50	5...25
Газополум'яне напилення	Порошки і проволоки, шнурові та стрижневі матеріали	Горіння газоподібних вуглеводнів в середовищі кисню або повітря (продукти згоряння)	20...50	3...15
Плазмове напилення	Порошки та проволоки	Пряма або непряма електрична дуга (іонізований газ)	30...60	0, 5...10
Високошвидкісні методи напилення (HVOF, HVAF, Детонація, Cold Spray)	Порошки	Горіння вуглеводнів (в тому числі рідких) або водню в середовищі кисню чи повітря (продукти згоряння)	45...80 і більше	0, 1...2
Високошвидкісні методи напилення наноструктурованих покриттів	Порошки, колоїдні розчини, істинні розчини	Горіння вуглеводнів (в тому числі рідких), кисню чи повітря (продукти згоряння)	60...100 і більше	<0, 1 ненаскрізна

Примітка. Значення подані для стандартних процесів. Тобто коли при напиленні не переслідується мета отримання покриття зі спеціальними властивостями.

При нанесенні нанопокриттів методом газотермічного напилення з використанням нанодисперсних часток або їх агломератів виникають наступні проблеми:
1. Необхідно створювати спеціальний дозатор наночасток;
2. Можливість сплавлення часток у випадку використання плазмового або електродугового методу напилення;
3. Висока вартість матеріалів.
Також існує ще одна важлива проблема при нанесенні покриттів за допомогою нанопорошків, та ін. Це можливість втрати агломератами наночасток своєї структури.
Більшість зарубіжних варіантів нанесення нанопокриттів основано на використанні плазмового напилення суспензії. Тому що енергії плазми достатньо для того, щоб розчинник випарувався. В той час проблема втрати наноструктури залишається актуальною.

3 КЛАСИФІКАЦІЯ НАНОРІДИН ТА ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛООБМІНУ

Класифікація нанорідин здійснюється за кількома ознаками, як для дисперсних рідин. Першою ознакою є агрегатний стан. Тут можна виділити наступні рідини:
1. Наногазові суспензії (газ + тверді наночастинки);
2. Наногелі (газ + рідкі наночастинки);
3. Наносуспензії (рідина + тверді наночастинки);
4. Наноемульсії (рідина + рідкі наночастинки);
5. Рідини з нанобульбашками.
Друга ознака - об'ємна концентрація наночастинок φ. Нанорідини поділяються на:
1. Розріджені, в яких $\varphi < 10\text{-}3$;
2. Помірно розріджені, де $10\text{-}3 < \varphi < 10\text{-}1$;
3. Щільні, де $10\text{-}1 < \varphi < 6*10\text{-}1$.
У разі, якщо об'ємні концентрації мають більші значення, то ми маємо справу з нанопорошками. Нанопорошок - тверда порошкоподібна речовина штучного походження, що містить нанооб'єкти, агрегати або агломерати нанооб'єктів або їх суміш.
Специфічно малі розміри наночастинок визначають їх досить особливі властивості. Нанорідини характеризуються і особливими властивостями переносу. На відміну від великих дисперсних частинок наночастинки практично не седиментують, вони не беруть під ерозію канали, по яких рухаються. Теплові нанорідини здатні ефективно переносити теплову енергію з мінімальними втратами. Відомо, що додавання всього лише 5 об'ємних% наночастинок оксиду міді збільшує ефективну теплопровідність води на 20%, а слабкий відсоток вуглецевих нанотрубок в теплонесучій рідині змінює її теплопровідність в декілька разів. Також дуже сильно зростають значення критичного теплового потоку (КТП), який є одним з визначаючих параметрів конвективного теплообміну. Широке використання процесів кипіння якраз і пояснюється значно вищими коефіцієнтами тепловіддачі (2000-50000W/m2K) [1] у порівнянні з інтенсивністю тепловіддачі при конвективному теплообміні без зміни агрегатного стану. Однак основною перешкодою на шляху успішного вирішення даної проблеми є «криза кипіння» - раптовий перехід від бульбашкового режиму кипіння до плівкового. Це явище супроводжується різким зменшенням коефіцієнта тепловіддачі і швидким зростанням температури нагрівача, що тягнуть за собою вихід з ладу обладнання. Актуальними завданнями дослідження теплообміну при кипінні теплоносіїв є передбачення настання кризи кипіння, її затримка або контроль над нею.

Як видно, крива кипіння для дистильованої води (1) має характерний вигляд з горизонтальною ділянкою. Вона відповідає настанню кризи кипіння і раптового зростання температури нагрівача. Введення наночастинок у воду (рис. 3, крива 2) навіть у відсутності диспергента не тільки різко змінює характер кривої кипіння води як базової рідини, але і помітно збільшує критичний тепловий потік з 1,22 до 1,8 і 3,1 МВт/м^2. При цьому різко змінюються хімічна природа і шорсткість поверхні нагрівача, внаслідок відкладення на неї шару наночастинок. Однак, як випливає з рис. 3 (крива 3), введення в дисперсію атапульгітів всього 0.05 mass % диспергенту викликає ще більше зростання КТП. Це вказує на те, що дезагрегація наночастинок (підвищення ступеня їх дисперсності) покращують теплофізичні властивості і параметри нанорідин як теплоносіїв, засвідчуючи про можливу роль броунівського руху в механізмі зростання інтенсивності тепловіддачі.

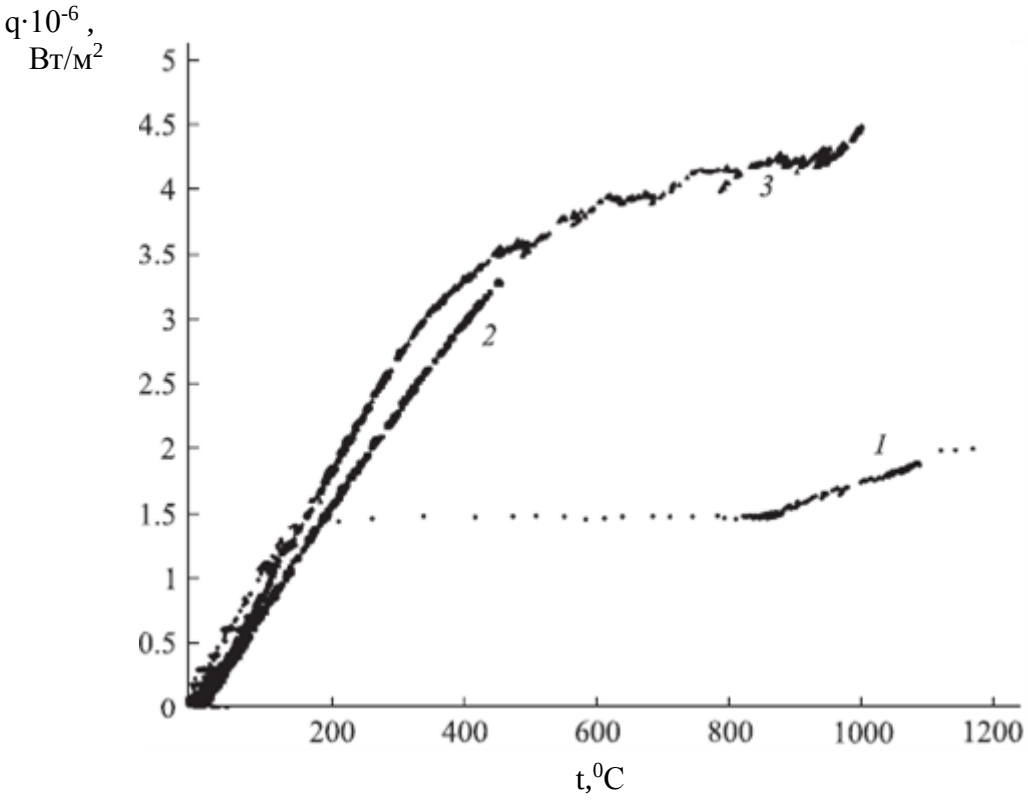


Рисунок 3 - залежності питомого теплового потоку (q) від температури поверхні нагрівача (Т):

1 - для дистильованої води; 2 - для нанодисперсії атапульгітів (1,76 vol.%) в дистильованій воді; 3- для нанодісперсії атапульгітів в 0,05mass.% розчині диспергенту

Як видно з рис.3, крива кипіння стабілізованої нанорідини (3) не має горизонтальної ділянки, що відповідає плівковому кипінню, як у випадку води, а характеризується все меншим кутом нахилу до вісі абсцис у міру зростання теплового навантаження. З підвищенням температури вище 500 °С на поверхні нагрівача відбуваються процеси дегідроксилізації і перекристалізації атапульгіта, плавлення диспергента та утворення склоподібного шару теплоізоляції навколо нього. У кінцевому рахунку, це уповільнює зростання коефіцієнтів, як тепловіддачі, так і теплопередачі, наближаючи настання

кризи кипіння. Таким чином, крім аномального росту КТП, ще одна особливість кипіння нанорідин полягає в тому, що в їх присутності сама криза кипіння «відсувається» і не настає так раптово, як у випадку однофазних рідин [1].

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз дозволив встановити, що нанопокриття являють собою новий революційний спосіб підвищення стійкості промислового обладнання. Зокрема підвищується стійкість до корозії, механічних впливів, поганих погодних умов та дії агресивних середовищ. Нанопокриття збільшують міцність деталей, зменшують їх зношуваність, надають водо- та брудовідштовхуючі властивості.
Отож, як ми бачимо нанопокриття, і, зокрема, отримані за допомогою нанорідин, можуть відіграти значну роль в енергетиці.
Також нанорідини вже з успіхом використовуються і в інших галузях.
- в хімічних процесах, включаючи каталіз;
- для охолодження різних пристроїв, в тому числі радіоелектронної апаратури;
- при створенні нових систем транспортування та виробництва теплової енергії;
- при створенні нових лікарських і косметичних препаратів;
- для доставки лікарських препаратів;
- при створенні систем розпізнавання забруднень різного типу;
- при створенні систем очищення повітря та води;
- при створенні нових мастильних матеріалів;
- при створенні нових лаків і фарб.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат, 1979. - 416с.

2. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – К.: Наукова думка, 1975. - 352с.

3. Moraru V.N., Lebovka N.I., Chevchenko D.G. // Colloids and Surfaces A.: Physicochem. Eng. Aspects. - 2004. - V. 242. - P. 181–187.

4. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. - М.: Мир, 1979. - 568с.

5. Наноматериалы, нанопокрытия, нанотехнологии: Учебное пособие / Азаренков Н.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д., Маликов Л.В., Турбин П.В. - Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. - 209с.

6. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta Materialia. - 2000. - Vol. 48, No. 1. - P. 1-29.

7. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. Роко М.К., Вильямса Р.С., Аливисатоса П.; пер. с англ. под ред. Андриевского Р.А. - М.: Мир, 2002. - 292с.

8. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М.: Физматлит, 2005. - 416с.

9. Афанасьєва Л.В., Урошлєв В.В. Робота на X Всеукраїнський конкурс "Молодь - енергетиці України - 2011: відкритий конкурс молодих енергетиків та вчених". – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 30с.

УДК 621.4

Автор: Плахута С.В.

БАЗОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТЕНДУ «СОНЯЧНИЙ ІМІТАТОР – ДВИГУН СТІРЛІНГА УДС-1»

Анотація

У статті розглянуто процес перетворення інфрачервоного випромінювання в механічну енергію на базі науково-дослідного стенду «сонячний імітатор - двигун Стірлінга». Подано короткий опис та принцип дії стенду, базові характеристики його основних елементів, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. Представлено результати теоретичного розрахунку процесу перетворення на основі експериментально отриманих даних.

Ключові слова: ЦИКЛ СТІРЛІНГА, ГАММА-СТІРЛІНГ, СОНЯЧНИЙ ІМІТАТОР, ІНФРАЧЕРВОНИЙ ТЕРМОВИПРОМІНЮВАЧ, МЕТОД ШМІДТА.

БАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА «СОЛНЕЧНЫЙ ИМИТАТОР – ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА УДС-1»

Аннотация

В статье рассмотрен процесс преобразования инфракрасного излучения в механическую энергию на базе научно-исследовательского стенда «солнечный имитатор - двигатель Стирлинга». Подано краткое описание и принцип действия стенда, базовые характеристики его основных элементов, полученные в результате проведения экспериментальных исследований. Представлены результаты теоретического расчета процесса преобразования на основе экспериментально полученных данных.

Ключові слова: ЦИКЛ СТІРЛІНГА, ГАММА-СТІРЛІНГ, СОНЯЧНИЙ ІМІТАТОР, ІНФРАЧЕРВОНИЙ ТЕРМОВИПРОМІНЮВАЧ, МЕТОД ШМІДТА.

BASIC CHARACTERISTICS OF RESEARCH STAND "SOLARSIMULATOR – STIRLINGENGINE"

Annotation

The article deals with the process of converting infrared radiation into mechanical energy at the research stand "solar simulator - Stirling engine." A brief description and principle of operation of the stand, the basic characteristics of its main elements derived from experimental studies. The results of theoretical calculation of the conversion process based on experimentally obtained data.

Keywords: CYCLE STIRLING, STIRLING GAMMA, SOLAR SIMULATORS, INFARED THERMORADIATOR, SCMIDT’S METHOD.

Вступ

Робота стосується дослідження процесу перетворення енергії інфрачервоного випромінювання у механічну енергію на базі установки «сонячний імітатор (СІ) – двигун Стірлінга (ДС)». Перетворення енергії на розробленій установці, що імітує сонячне світло, відбувається за допомоги випромінювання інфрачервоної лампи, що знаходиться в алюмінієвому концентраторі, в оптичному фокусі якого встановлений тепловий приймач-перетворювач (двигун Стірлінга УДС-1 [1]).

Перспективність науково-технологічного напрямку, пов’язаного з перетворенням сонячної енергії за допомоги динамічних перетворювачів, є загальновизнаною. Зокрема, поєднання двигунів Стірлінга з концентраторами сонячного випромінювання визнано однією з трьох перспективних сонячних

енергосистем у планах Департаменту Енергетики (DOE) США, складених на період до 2020 р.

Метою роботи є створення діючого експериментального стенду «сонячний імітатор – двигун Стірлінга» та дослідження основних характеристик його складових елементів. Її реалізація здійснювалась через виконання наступних **завдань:**

- створення сонячного імітатора із світильником, що виконує функцію концентратора випромінювання;
- експериментальне дослідження процесу перетворення сонячної енергії у механічну на створеній енергоустановці;
- теоретичне визначення базових характеристик створеної сонячної енергоустановки «сонячний імітатор – двигун Стірлінга»;

Науково-дослідницький стенд складається з двох основних елементів:

- сонячний імітатор на базі кварцево-галогенної лампи із термовипромінювачем
  КГТ 220-1000-3 та світильником для неї.
- двигун УДС-1 як динамічний перетворювач.

Схема науково-дослідницького стенду зображена на рис. 1.

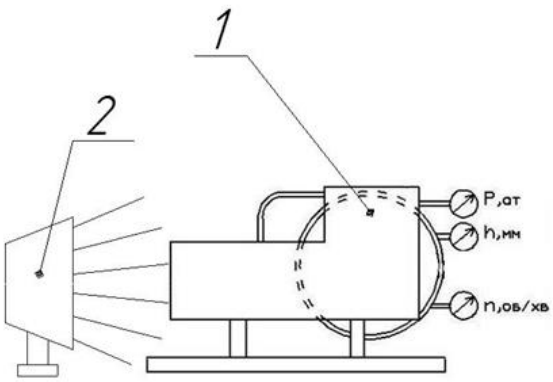


Рис. 1 – Науково-дослідницький стенд:
1 – двигун Стірлінга УДС-1; 2 – сонячний імітатор.

Принцип дії НДС: сонячний імітатор створює променевий тепловий потік у вигляді інфрачервоного випромінювання, яке подається на циліндр-витискувач двигуна УДС-1. У результаті нагрівання робочого тіла у внутрішньому контурі, УДС-1 приводиться в дію, створюючи корисну роботу.

Характеристики інфрачервоної лампи КГТ220-1000-3 (рис.2), що використовується у сонячному імітаторі, представлені у таблиці 1.

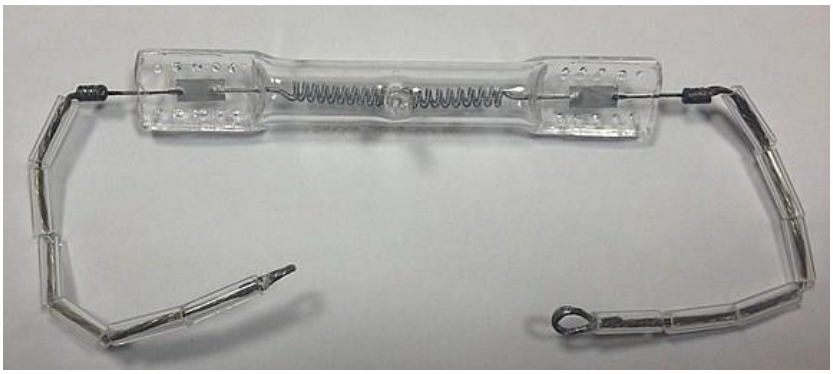


Рис. 2 - інфрачервона лампа КГТ220-1000-3

Таблиця 1. – Характеристики лампи КГТ 220-1000-3

Потужність, В	1000
Робоче положення	горизонтальне
Тип цоколю	НРа15х20
Напруга, В	220
струм, А	9,5
довжина, мм	345
діаметр, мм	15
виконання лампи	у прозорій циліндричній колбі
загальний індекс кольоропередачі	CRI Ra = 90 (клас 1А)
відносна кольорова температура(за шкалою Кельвіна)	ССТК = 2800
середній номінальний термін служби, год	500

Характеристики двигуна Стірлінга УДС-1 (рис.3) представлені у таблиці 2 [1].

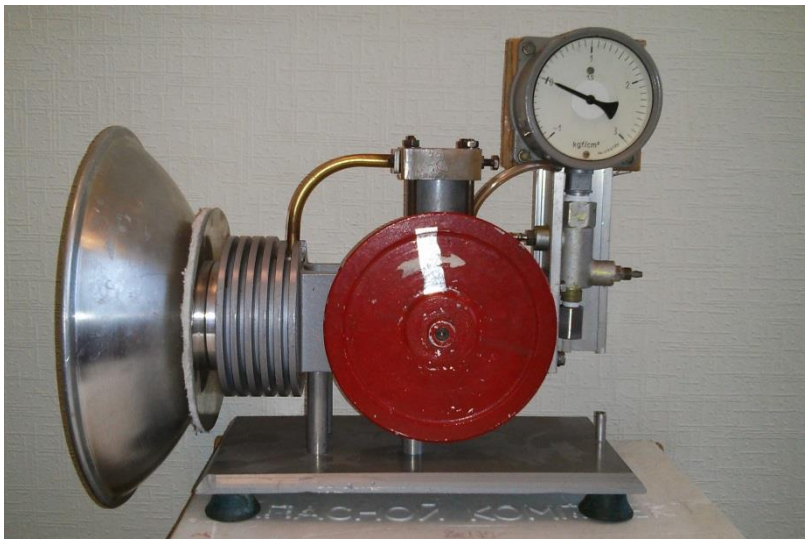


Рис. 3 – Двигун Стірлінга УДС-1

Таблиця 2. – Номінальні характеристики двигуна Стірлінга УДС-1

Номінальна потужність, Вт	5
Кутова швидкість вихідного валу, об/хв	500
Число робочих циліндрів, шт	1
Система згоряння	Зовнішня
Охолодження	Повітряне
Робоче тіло	Повітря
Обертання маховика	За годинниковою стрілкою
Маса, кг	8
Габаритні розміри, мм	340x160x170

В результаті експериментального дослідження процесу перетворення сонячної енергії у механічну було отримано ряд характеристик роботи основних елементів дослідницького стенду, представлених на рисунках 3-8.

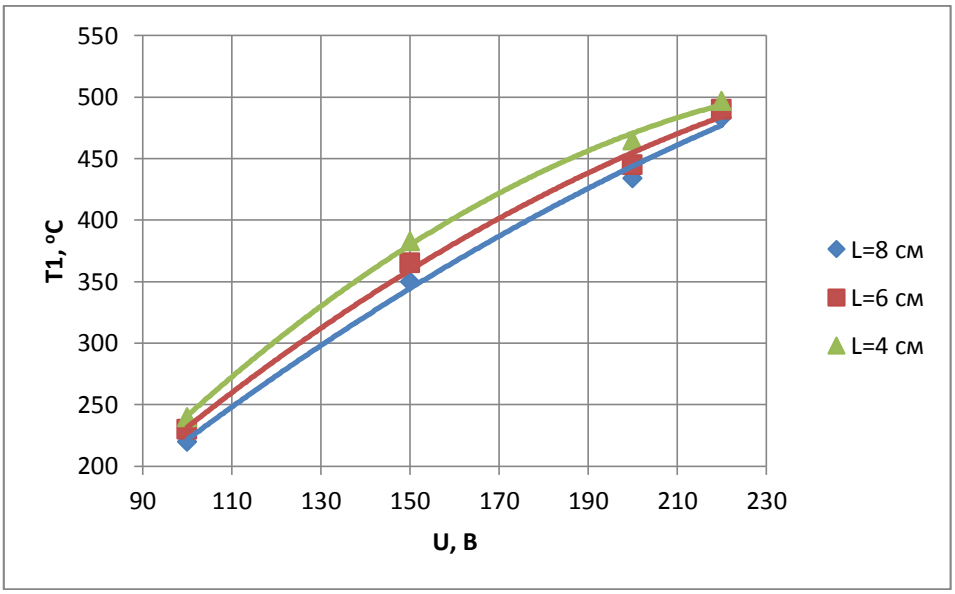


Рис. 4. Залежність температури гарячої порожнини УДС-1 від електричної потужності на сонячному імітаторі (L – відстань між СІ і ДС).

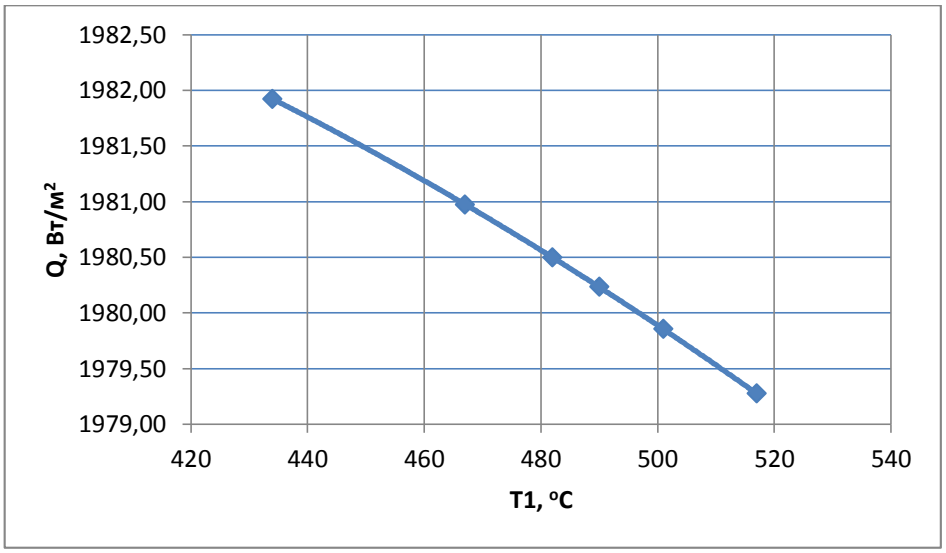


Рис.5 - Залежність теплового потоку сонячного імітатора від температури гарячої порожнини УДС-1.

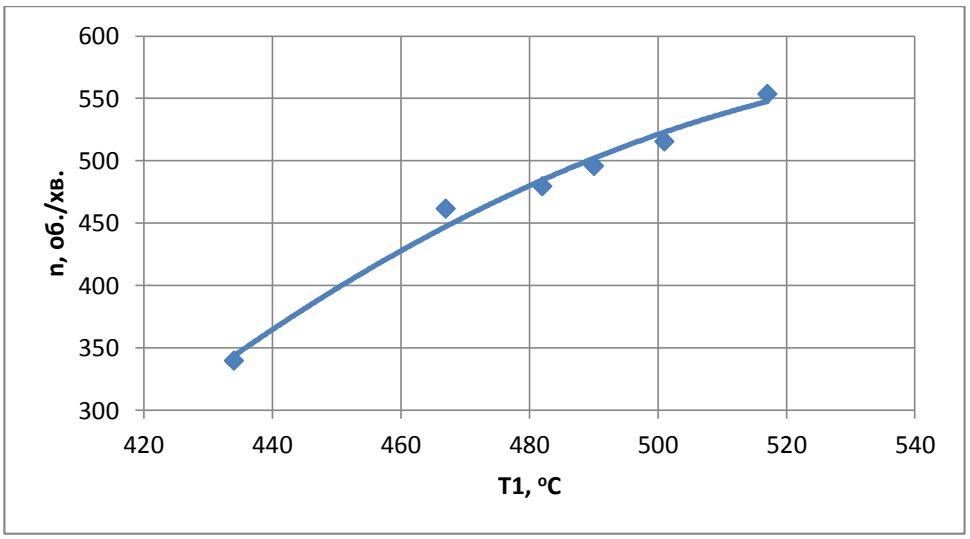


Рис.6 – Залежність швидкості обертання УДС-1 від температури гарячої порожнини.

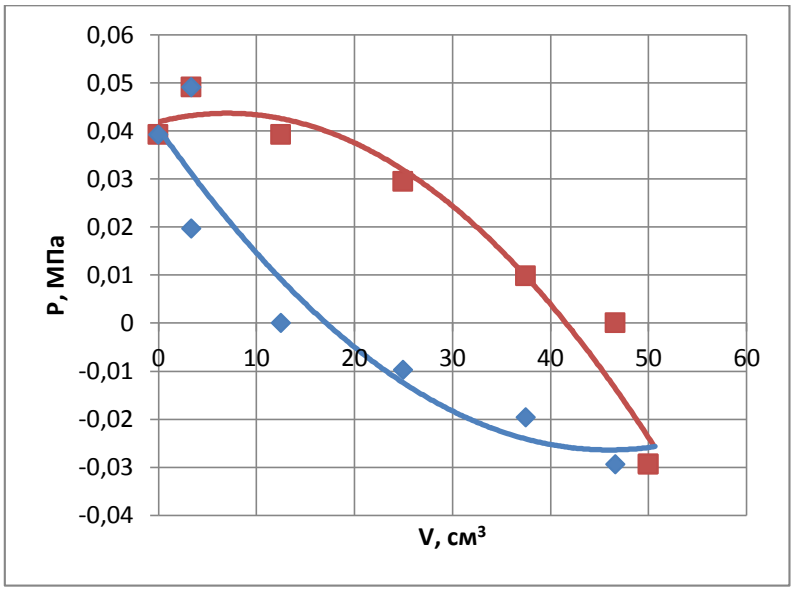


Рис. 7 – Індикаторна діаграма УДС-1,
експеримент 1: T1=470 , n=426 .

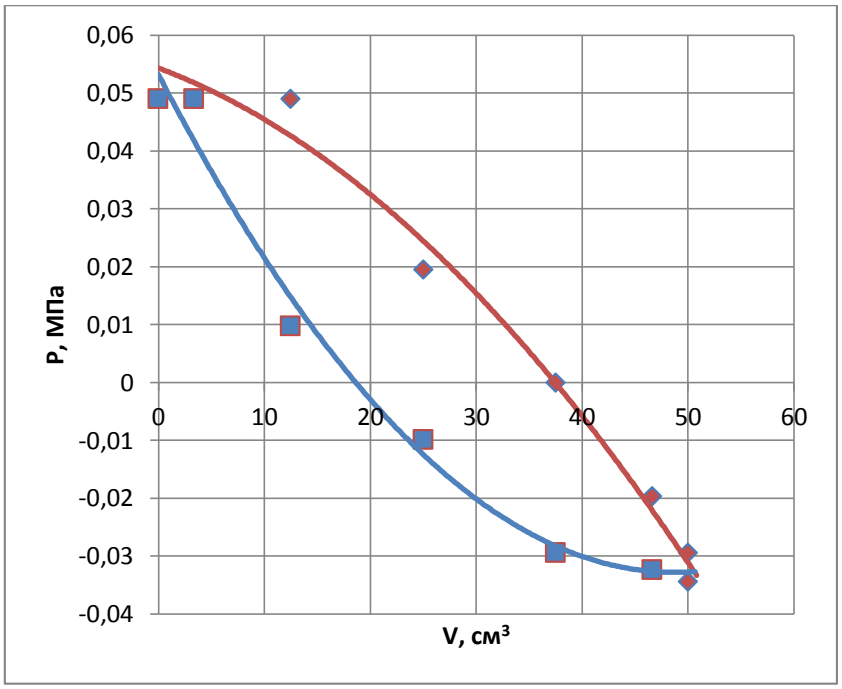


Рис. 8 – Індикаторна діаграма УДС-1,
експеримент 2: T1=485 , n=440

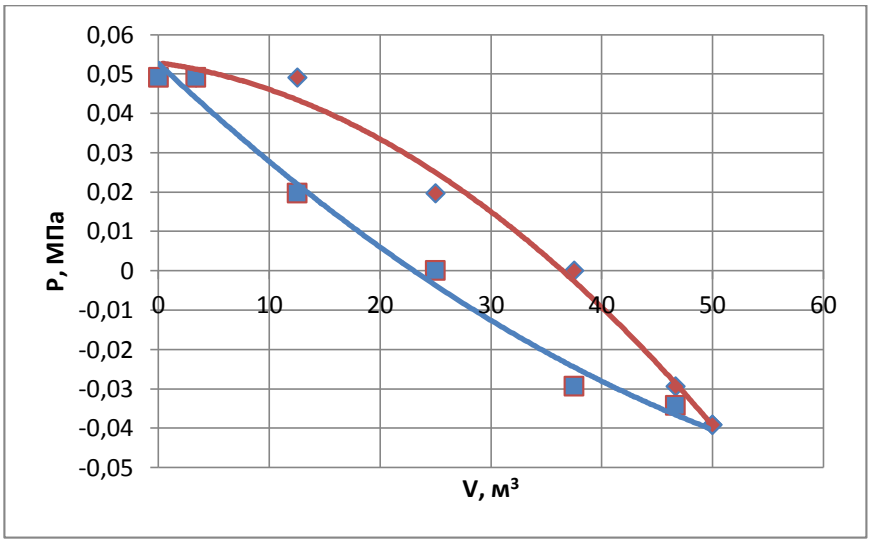


Рис. 9 – Індикаторна діаграма УДС-1,
експеримент 3: T1=492 , n=501

Використовуючи експериментально отримані характеристики роботи науково-дослідного стенду, було отримано аналітично визначені базові характеристики створеної сонячної енергоустановки.

Розрахунок виконувався за методом Шмідта [2,3], беручі до уваги наступні припущення:

1. Усі процеси є зворотні;
2. Справедливе рівняння стану ідеального газу: pV=MRT;
3. Зміна об’ємів підпорядковується синусоїдальному закону;
4. Регенерація відбувається ідеально;
5. Температура газу у порожнині розширення постійна і дорівнює температурі нагрівача;
6. Температура газу у порожнині стиснення постійна і дорівнює температурі холодильника;
7. Температура газу у мертвому об’ємі та регенераторі постійна.

Основні співвідношення метода Шмідта (γ-схема):

V_{SE} - робочий об’єм порожнини розширення;

V_{SP} - робочий об’єм порожнини стиснення;

k_P - приведений робочий об’єм порожнини стиснення;

$$k_P = \frac{V_{SP}}{V_{SE}} \quad (1)$$

V_D - мертвий об’єм;

X - приведений мертвий об’єм;

$$X = \frac{V_D}{V_{SE}} \quad (2)$$

V_{ST} - сумарний робочий об’єм;

$$V_{ST} = V_{SE}(2 + k_P) \quad (3)$$

V_T - сумарний об’єм;

$$V_T = V_{ST} + V_D = V_{SE}(2 + k_p + 2X) \tag{4}$$

ξ - відношення температур;

$$\xi = \frac{T_2}{T_1} \tag{5}$$

B – параметр;

$$B = (\xi^2 + 2k\xi\cos\alpha + k^2)^{1/2} \tag{6}$$

S - параметр;

$$S = \xi + k + \frac{4X\xi}{\xi + 1} \tag{7}$$

δ - параметр;

$$\delta = \frac{B}{S} \tag{8}$$

W_{TS} - безрозмірний показник роботи;

$$W_{TS} = \frac{\delta(1-\xi)\pi \cdot \sin\vartheta(1-\delta)^{1/2}}{(1+\delta)^{1/2}\left[1+(1-\delta^2)^{1/2}\right]\cdot(2+k_p+2X)} \tag{9}$$

W_T - робота циклу;

$$W_T = W_{TS} \cdot P_{\max} \cdot V_{ST} \tag{10}$$

P_S - потужність;

$$P_S = W_T \cdot N \tag{11}$$

η_t -ККД циклу;

$$\eta_t = 1 - \xi \tag{12}$$

Діаграми цих характеристики зображені на рисунках 6-7.

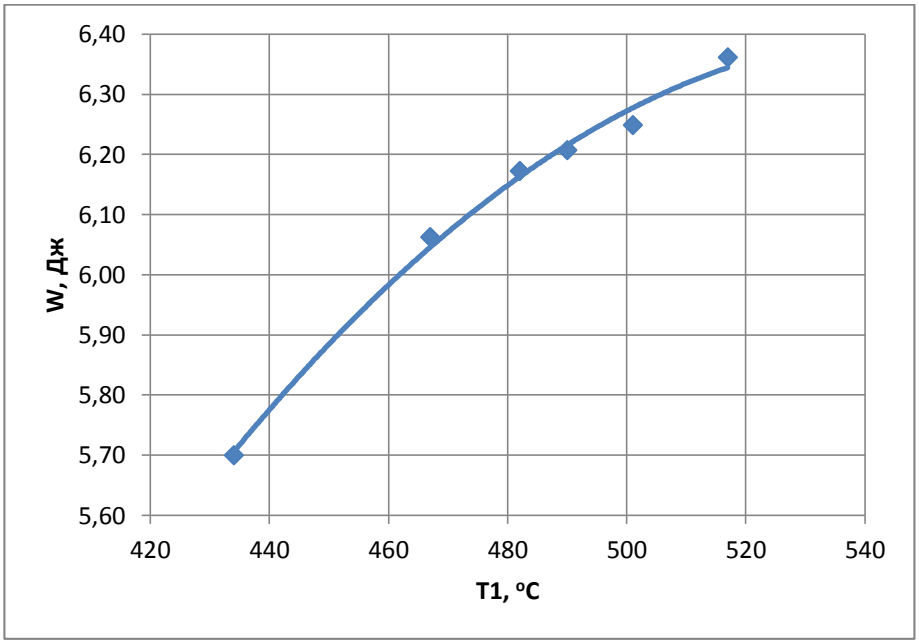


Рис. 6 - Залежність величини роботи УДС-1 від температури гарячої порожнини

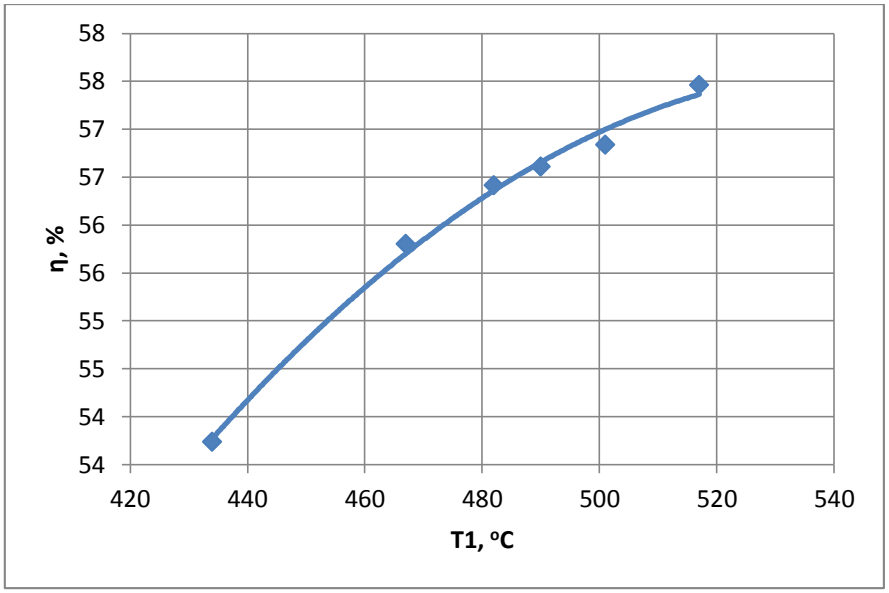


Рис. 7 - Залежність ККД УДС-1 від температури гарячої порожнини

Висновки

1. Створено експериментальний науково-дослідний стенд «сонячний імітатор – двигун Стірлінга». Установку успішно випробувано та доведено її працездатність: отримано індикаторні діаграми роботи УДС-1.

2. В результаті проведення експериментальних досліджень отримано ряд робочих характеристик: температура гарячої порожнини T1= 434÷517 °C, швидкість обертання n=340÷554 об/хв, тиск та об'єм у робочому циліндрі УДС-1 (за індикаторними діаграмами).

3. Проведено теоретичне визначення базових характеристик двигуна Стірлінга УДС-1: робота циклу W=5,7÷6,36 Дж , ККД η=0,54÷0,57 .

Література

1. Долганов К.Е., Лисица В.П. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга УДС-1. // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 28, 33.
2. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.— 464 с., ил.
3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга / Сокр. пер. с англ. Б.В. Сутугина и Н.В. Сутугина. - М.: Машиностроение, 1985. - 408 с., ил.

Г. Є. Кібякова, студент
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», Київ

INVESTIGATION OF FOOD PROCESSING INDUSTRY INFLUENCE ON IMPROVEMENT OF WASTEWATER TREATMENT PLANT PERFORMANCE

Improvement of the wastewater treatment process is essential for related environmental and economic issues, because nowadays discharge limits of nutrients are reconsidered and wastewater treatment plants have to modify current operation in order to reduce their harmful effects on environment: aquatic life, atmosphere and human health. The implementation of suggested anaerobic treatment system on the water outflow of food processing company, which supply Lillevik wastewater treatment plant with waste water with high nutrients concentration could be the solution to mentioned issues.

Удосконалення процесу очищення стічних вод має важливе значення для вирішення відповідних екологічних та економічних питань, оскільки в даний час допустимі значення викидів біогенних речовин переглянуті, і очисні споруди повинні змінити існуючий режим роботи, щоб зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище: водну флору і фауну, атмосферу і здоров'я людини. Реалізація запропонованої системи анаеробної очистки в компанії харчової промисловості, яка постачає на завод очищення стічних вод Lillevik стічні води з високою концентрацією біогенних речовин, може бути рішенням зазначених вище проблем.

Совершенствование процесса очистки сточных вод имеет важное значение для решения соответствующих экологических и экономических вопросов, поскольку в настоящее время допустимые значения выбросов биогенных веществ пересмотрены, и очистные сооружения должны изменить существующий режим работы, чтобы уменьшить вредное воздействие на окружающую среду: водную флору и фауну, атмосферу и здоровье человека. Реализация предложенной системы анаэробной очистки в компании пищевой промішленности, которая поставляет на завод очистки сточных вод Lillevik сточные воды с высокой концентрацией биогенных веществ, может быть решением упомянутых выше проблем.

Introduction

Wastewater from Larvik municipality (Norway) both domestic and industrial (food processing industries) is supplied to the Lillevik wastewater treatment plant (WWTP), environmental efficiency of which is determined by the correspondence between real and established by authority nutrients removal efficiencies (COD-75 %, BOD–70%, P–90 %, N-70%). Discharge of these nutrients from plant into the North Sea without control measures could cause serious effects on aquatic life. Real average removal nutrients efficiencies are: COD–67%, BOD–74%, P-94%, N-10% [1].

With analysis of annual data it was proved that wastewater from food industry working from August till February with a lot of organic matter could influence characteristics of wastewater in the inlet of plant significantly. Furthermore, there is generally lower removal efficiency of COD and BOD during this period.

Objectives and purpose of research

Goals of the study: to improve the existing wastewater treatment process at Lillevik WWTP; to analyse the food processing industries influence on the wastewater treatment process at Lillevik WWTP; to study the opportunity of implementation of anaerobic treatment in the outflow of food processing company to reduce nutrients amount in the inlet of Lillewik WWTP; to investigate the possibility of convertion of biogas produced in the anaerobic process into energy.

Results of research

General characteristics of analysed companies. Wastewater from Larvik municipality: domestic and industrial is collected and treated at Lillevik WWTP. High seasonal levels of P, COD and BOD inlet concentrations were observed and could be caused by food processing industries operation in that period of time. There are 8 large food companies in Larvik Municipality. For detailed analysis 3 of them are presented in Table 1.

Table 1: Analysed food processing industries in Larvik

Company	Industry	Water flow, m^3/year	COD av.		P		N	
			kg/day	mg/l	mg/l	kg/day	mg/l	kg/day
A	Vegetables processing and freezing	≈ 200 000	300-600	750	2,7	1,2	9	3,9
B	Vegetables processing and freezing	≈ 20 000	1000	10000	21	3,1	45	6,5
C	Salads production	≈ 10 000	400-800	10000				

Analysing information from Table 1 it can be noticed that Company A has the highest wastewater flow with relatively low COD, P and N concentrations, while Company B (same industry) has 10 times less water load with highest nutrients concentration. Company C has the lowest wastewater load.

Generally, average COD inlet concentration at Lillevik WWTP is 320 mg O/l or – 6000 kg COD/day. To estimate COD inlet amount at WWTP from domestic providers of Larvik municipality assume that there are 19300 households with 47,2 kg COD/year production for one household and 2490 kg COD/day for all of them. From industrial suppliers there is ≈ 3500 kg COD/day then (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).
Information presented in Table 1regarding approximate distribution of this industrial COD supplied to WWTP can be illustrated by **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

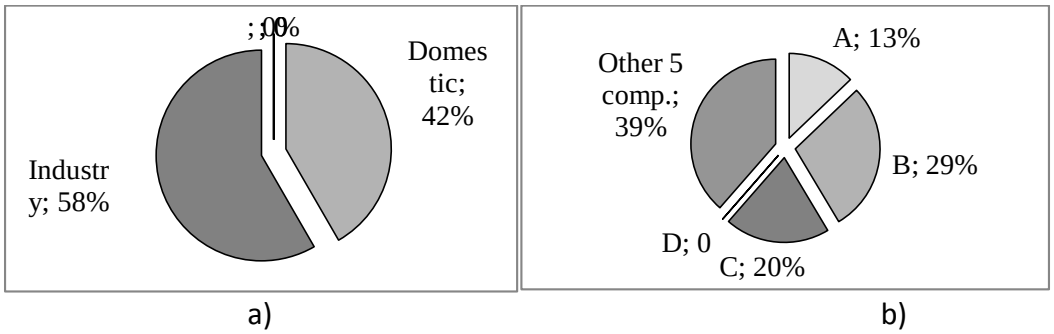


Figure 1: Distribution of COD supplied to WWTP from different providers (a) and from different companies (b)

From **Ошибка! Источник ссылки не найден.** it could be noticed that the shares of COD in the inlet wastewater at Lillevik WWTP from industrial suppliers is quite higher than from domestic, and from food companies B and C are higher than for other companies.

Experimental results of biogas potential test. To reduce nutrients amount in the water

inflow to WWTP organic material from industrial wastewater can be treated locally as mentioned in [1]. For further investigation of this possibility wastewater from Company C was analysed as this company has low flow rate and medium COD concentration.

Laboratory experiment - biogas potential test - was performed for filtered and unfiltered water samples. Wastewater parameters measurements (25.02.14) and average real process parameters (2012-2013) are summarised in Table 2.

Table 2: Wastewater sample characteristics

Sample	BOD av, mg/l	COD, mg/l	BOD/ COD	pH	Turbi-dity	Absorpti-vity	COD av, mg/l	pH av, upon withdrawal
Unfiltered (U)	6600	10770	1,63	5,72	1448	0,638	10371	6,97
Filtered (F)	4440	7120	1,6	5,94	2	0,471		

Analysing data from **Ошибка! Источник ссылки не найден.** it can be noticed that measured COD is approximately equal to real average value. The ratio of COD to BOD5 is as expected: usually 1.5-2 for the food processing industry wastewater as stated in [2]. BOD and COD values are higher for unfiltered sample. Real average pH measured upon withdrawal is higher than pH measured after 1 day storage at low temperature. Measured pH is in the range that corresponds to successful operation of anaerobic digestion process. [3] Turbidity and absorptivity of filtered water sample is relatively low in comparison to unfiltered one.

Wastewater sample and inoculum were mixed and kept in anaerobic conditions for 3 weeks.

Average volumes of biogas produced for filtered, unfiltered sample and blank at environmental temperature with respect to time are shown on **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

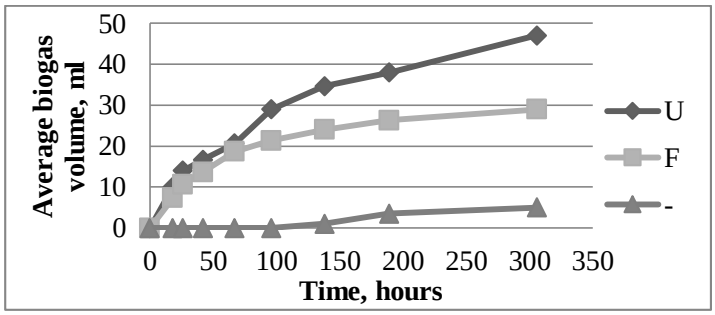


Figure 2: Average biogas accumulation for Samples with feed types: U *(unfiltered sample); F (filtered sample); - (blank).*

From the **Ошибка! Источник ссылки не найден.** could be observed that syringes with different samples type have different nature of biogas accumulation. It can be noticed that syringes with unfiltered sample have highest amount of biogas accumulation, while syringes with filtered samples have a third less biogas amount. After feeding for next 70 hours filtered and unfiltered samples run almost similarly and have quite the same biogas production. After 100 hours production of biogas in Samples U increases compare to

Sample F. Comparatively low biogas accumulation is observed in blank syringes.

Ошибка! Источник ссылки не найден. shows the production rate of biogas (the volume interval depending on the time interval) versus time of all experiment.

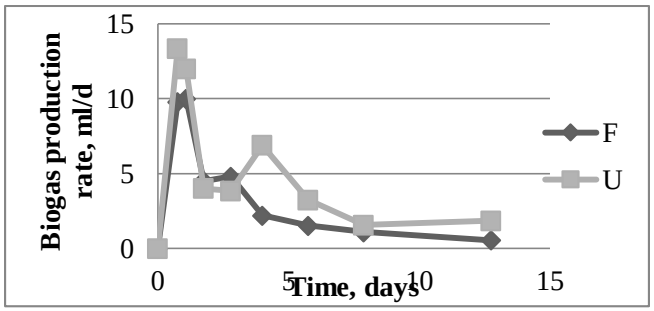


Figure 3: Production rate of biogas (days)

According to **Ошибка! Источник ссылки не найден.** the premier peak of biogas production rate is during first 18 hour after the start of experiment. There is an increase in rate more or less at the same time for two types of syringes: U and F, but not with the same values. Highest production rate of biogas comes from the Sample U fed by unfiltered wastewater and the lower one - from Sample F fed by filtered one. Sample U has increase of rate on the 4th day. On the eight day after the feeding the rates of all mixtures are almost stabilized.

COD removal efficiency and Energy content estimation results.

To estimate the COD removal efficiency of anaerobic digestion process for wastewater from Company C COD mass balance around Anaerobic Digester (AD) can be made (1) [1,4].

$$Q_{AD,in} \cdot COD_{AD,in} = Q_{AD,out} \cdot COD_{AD,out} + COD_{vss} + COD_{methane}, \quad (1)$$

where $Q_{AD,in}$, $Q_{AD,out}$ - waste water flow on inlet and outlet of the AD, m^3/day;

$COD_{AD,in}$, $COD_{AD,out}$ - COD concentration on inlet and outlet of the AD, gCOD/m^3;

COD_{vss} - COD of volatile suspended solids, gCOD/day (2);

$$COD_{vss} = 5,68\frac{m^3}{day} \cdot \left(COD_{AD,in} - COD_{AD,out}\right) \quad (2)$$

$COD_{methane}$ - COD of methane, gCOD/day.

$$COD_{methane} = \frac{Q_{biogas} \cdot f_{CH_4} \cdot 64\frac{gCOD}{mole}}{V} \quad (3)$$

From ideal gas calculation $V = 0,025 m^3 / mole$

$$COD_{methane} = \frac{220,9 \cdot 0,65 \cdot 64}{0,025} = 367578 \text{ gCOD} / m^3$$

For calculation of COD amount after digester:

$$COD_{AD,out} = \frac{Q_{AD,in} \cdot COD_{AD,in} - 5,68 \cdot COD_{AD,in} - COD_{methane}}{Q_{AD,out} - 5,68} = 1874\ gCOD / m^3 = 88\ kg\ COD / day$$

Removal COD efficiency is $\eta_{COD} = 82\%$

From **Ошибка! Источник ссылки не найден.** it can be observed that: the reactors containing 10 ml of unfiltered wastewater produce 47 ml of biogas. Average food processing plant (Company C) water load is 47 m^3/d. Biogas potential of anaerobic digestion process installed at food processing plant C can be equal to 220,9 m^3/d.

Energy content of the gas can be calculated as [4]:

$$E = \varepsilon \cdot \frac{0.65 \cdot P_{biogas}}{V_{CH_4}^{25C}} \cdot M_{CH_4} = 50,1\,kJ / g \cdot \frac{0.65 \cdot 220,9\,m^3 / d}{24,5\,L / mol} \cdot 16\,g / mol = 4,7 \times 10^6\,kJ / d$$

Energy content of biogas is equal to 54,4 kW and yearly energy production from biogas is - 476 MWh. Assuming total conversion of biogas energy potential to electricity with efficiency equal to 35% electrical energy produced is 166 MWh. Usage of this energy will give 53 kNOK/year or 6400 EUR/year economy. For evaluation of total economic feasibility cost estimation analysis should be performed.

Conclusions

Anaerobic digestion at the food processing industrial company has many environmental benefits: efficient nutrients in wastewater reduction, energy production, less energy required for operation, reduction of waste volumes, smaller reactor volume required, etc. [4,5]

COD removal efficiency of 82% at food processing company corresponds to successful operation of local wastewater treatment process, which cause the discharge decrease of the nutrients from Lillevik WWTP into the North Sea.

Energy carrier produced in anaerobic process could be used to heat the digestion reactors, generate electricity and/or heat for local needs or be fed into the natural gas grid after treatment. [5] The quantity of biogas produced will be variable according to several factors, such as the quality of the organic matter and the environmental parameters: temperature, pH value, C:N ratio, redox potential, C:N:P:S ratio, trace elements. [3]

References:

1. H. Kibiakova, M. Kotenko, C. P. Paneru. *Investigation to improve the coagulation process at Lillevik WWTP, Larvik*, 2013, Telemark Univercity College.
2. Egyptian Environmental Affairs Agency , “Industrial Wastewater Treatment Plants Inspection Procedures Manual,” 2012.
3. G. D. Zupančič, V. Grilc. *Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste,* Management of Organic Waste, Institute for Environmental Protection and Sensors, Slovenia.
4. Metcalf & Eddy, I., George Tchobanoglous, Franklin Burton, H. David Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 2004: McGraw-Hill Education.
5. Ioannis S. Arvanitoyannis, *Waste Management for the Food Industries*. 2008:

University of Thessaly, Greece.
УДК : 536.248.1

ОЧЕРЕТНЮК Р.В. , ГАВРИШ А.С.

СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ І КАРТИ РЕЖИМІВ

ОЧЕРЕТНЮК Р.В. , ГАВРИШ А.С.

СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ И КАРТЫ РЕЖИМОВ

OCHERETNIUK R.V. GAVRISH A.S.

MODELING METHOD OF TW0-PHASE FLOW AND REGIMES MAPS

:

Анотація. Розглянуто модифіковану модель двофазних потоків. Для даної моделі побудовано діаграму Бейкера, модифіковану Скоттом. Для горизонтальних двофазних потоків побудовано карту режимів Шихта. Для вертикальних потоків побудовано карту режимів течії Хьюітта і Робертса.

Аннотация. Рассмотрена модифицированная модель двухфазных потоков. Для данной модели построена диаграмма Бейкера, модифицированная Скоттом. Для горизонтальных двухфазных потоков построено карту режимов Шихта. Для вертикальных потоков построено карту режимов течения Хьюитта и Робертса.

Annotation. Consider a modified model of two-phase flows. For the Baker's constructed model diagram modify by Scott. For horizontal two-phase flow regimes constructed a Shiht map of the charge. Hewitt and Roberts flow regimes map was constructed for vertical flow.

Ключові слова. Двофазні потоки, математична модель, карта режимів.

Ключевые слова. Двухфазные потоки, математическая модель, карта режимов.

Key words. Two-phase flow, mathematic model, map of the regimes.

ВСТУП

В останнє десятиліття спостерігається зростання інтересу до теплообміну двофазних потоків в каналах різного діаметру. Вплив розміру каналу на гідродинаміку і теплообмін в двофазних потоках безсумнівно ,оскільки в них існують внутрішні масштаби (розмір парового пухирця , діаметр рідкої краплі і товщина плівки в дисперсно - кільцевому режимі течії) , які можуть стати сумірними з діаметром каналу.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ:

Проаналізувати і дослідити карти режимів двофазних потоків. Побудувати математичну модель для двофазних потоків з урахуванням наявних карт режимів.

1.УЗАГАЛЬНЕНІ КАРТИ РЕЖИМІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ДВОФАЗНИХ ПОТОКАХ

Дані по режимах течії для певної геометрії і певного поєднання рідин можуть бути представлені на графіках безпосередньо через швидкість , витрату та інші характеристики фаз. Часто буває зручно для однокомпонентною рідини графічно представляти дані у вигляді залежності масової швидкості G від відносної ентальпії потоку x . На рис. 1.1 для прикладу показані результати , отримані для пароводяного потоку при тиску 7,5 МПа.

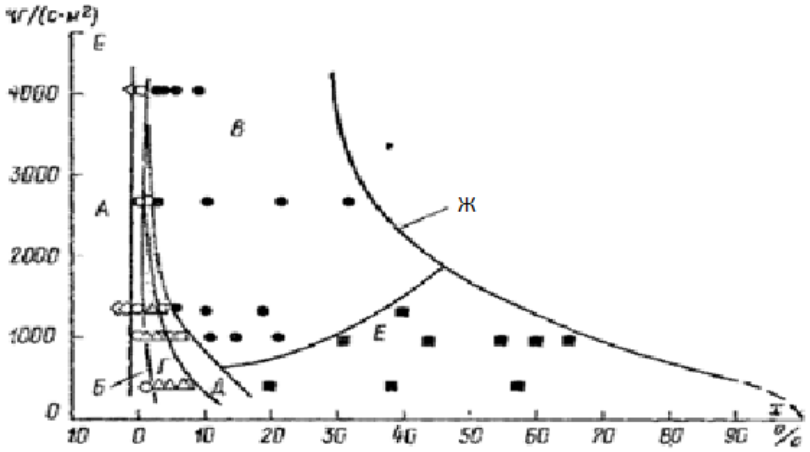


Рис. 1.1 Дослідні дані по визначенню режимів течії пароводяних сумішей при тиску 7.5 мПа

⊔ –вода, О – бульбашковий, Δ – снарядний, ⊡ –зпінений, ■ – кільцевий

А – вода, Б – бульбашковй, В – ключковато – кільцевий, Г – снарядний, Д – зпінений,

Е – кільцевий, Ж – межа по кризі кипіння.

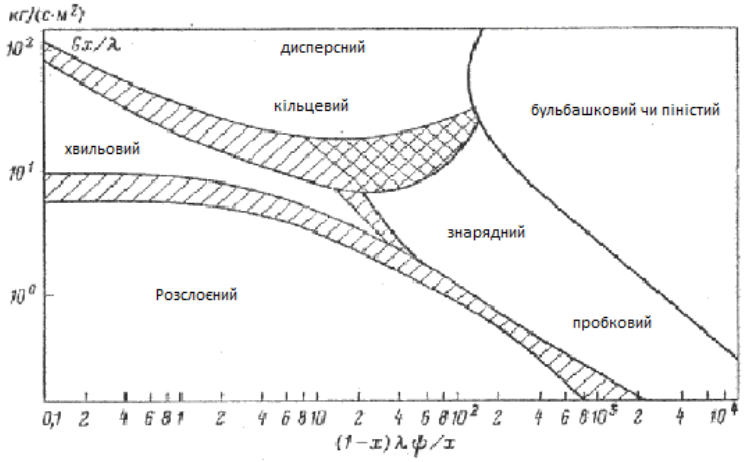


Рис 1.2 Діаграма Бейкера,модифікована Скоттом [3]

Для горизонтальних течій класичною стала карта режимів течії Бейкера [4], який побудував графік залежності параметра Gx/□□від параметра (1-x)□□/x , де G - масова швидкість (потік маси через одиницю площі за одиницю часу); x - масова частка газової фази в двофазному потоці; λ і y визначаються таким чином**:**

$$\lambda = \left[\left(\frac{\rho_G}{\rho_A}\right)\left(\frac{\rho_L}{\rho_W}\right)\right]^{0.5}; \quad \psi = \frac{\sigma_W}{\sigma}\left[\frac{\mu_L}{\mu_W}\left(\frac{\rho_W}{\rho_L}\right)^2\right]^{1/6}, \tag{1.1}$$

де □G - щільність газу; □L - щільність рідини; □ - коефіцієнт поверхневого натягу; □L - в'язкість рідини; □W, □A - щільності води і повітря при нормальних умовах (200С і атмосферний тиск); □W, □W- коефіцієнт поверхневого натягу і в'язкість води при тих же умовах. Таким чином, для потоків водоповітряної суміші при

атмосферному тиску □ і □□рівні одиниці.

2. КАРТИ РЕЖИМІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ І ВЕРТИКАЛЬНИХ ДВОФАЗНИХ ПОТОКАХ

Інша карта режимів течії - карта Шихта [1] яка показана на Рис. 1.3 дає дещо кращі результати , ніж первісна діаграма Бейкера .

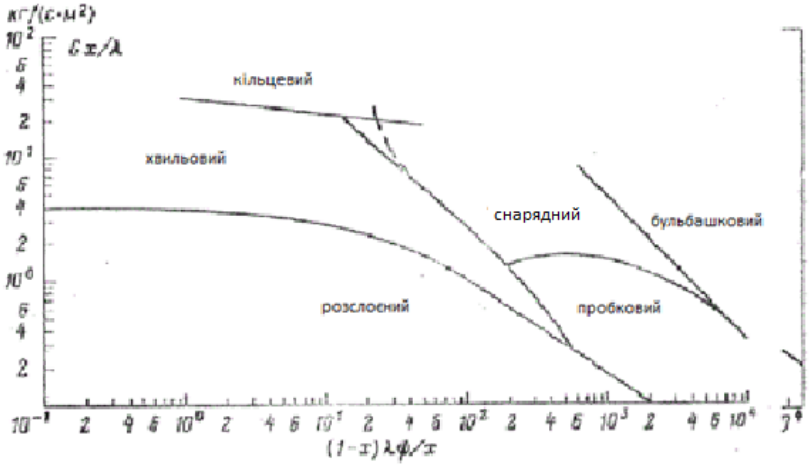


Рис 1.3 Карта режимів Шихта для горизонтальних двофазних потоків

Для вертикальних потоків як приклад наводиться карта режимів течії Хьюітта і Робертса [3] показана на Рис. 1.4.

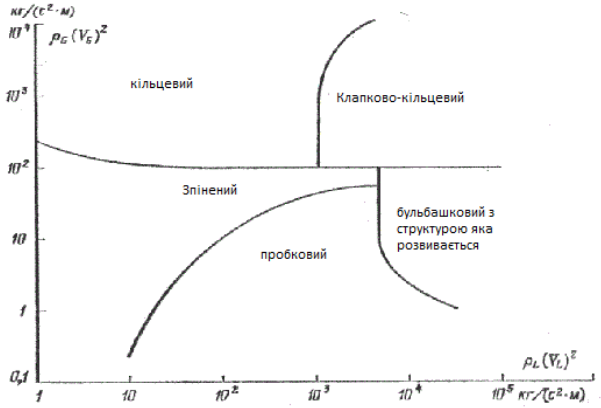


Рис 1.4 Карта режимів течії Хьюітта і Робертса для вертикальних двофазних потоків

Вона виявилася зручною для кореляції як даних для води і повітря при атмосферному тиску , так і для води і пари при високих тисках

3.МОДЕЛЬ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ

При моделюванні двофазного потоку використовувалася модель [6], яка була модифікована на основі наявних карт режимів.

Математична модель двофазного потоку включає рівняння нерозривності, рівняння руху і рівняння енергії для кожної фази, рівняння для кінетичної енергії турбулентності і швидкості дисипації. Для замикання системи рівнянь використовуються рівняння для турбулентної в'язкості і для ефективних турбулентних чисел Прандтля.

Рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho_к \varphi_к}{\partial t} + \mathrm{div}(\rho_k \varphi_k V_k) = M_k, \qquad (2.1)$$

де - ρ_k, φ_k, V_k щільність, об'ємна фракція і швидкість кожної фази,

Сума об'ємних фракцій фаз в кожній розрахунковій комірці дорівнює одиниці:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 1. \qquad (2.2)$$

У рівнянні (2.1) інтенсивність масообміну Mk між двома фазами визначається у вигляді [9]:

$$M_2 = -M_1 = \frac{\alpha_2 A_{межф}(T_2 - T_н) - \alpha_1 A_{межф}(T_1 - T_н)}{r}, \qquad (2.3)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти тепловіддачі на поверхні розділу, $T_н$ - температура насичення, r - теплота пароутворення при даному тиску.

$$A_{межф=} \frac{6\varphi}{d_b}, \qquad \alpha_2 = \frac{\mathrm{Nu}\lambda_2}{l}, \quad \alpha_1 = \frac{\mathrm{Nu}\lambda_1}{l}, \qquad l = \frac{c_p \rho_1 \sigma T_н}{(r\rho_2)^2}. \qquad (2.4)$$

Числа Нуссельта і Рейнольдса визначаються по залежностях:

$$\mathrm{Nu} = 2 + 1{,}1\mathrm{Pr}^{\frac{1}{3}} (\mathrm{Re}_b)^{0,6}, \qquad \mathrm{Re}_b = \frac{\rho_1 |w_r| d_b}{\mu_1}, \qquad (2.5)$$

де w_r - швидкість ковзання, визначається у вигляді різниці швидкості парової та рідкої фази, d_b - діаметр бульбашки, який визначається у вигляді:

$$d_b = \frac{4\sigma \mathrm{T}_н \left(1 + \frac{\mathrm{T}_н}{\mathrm{T}_1}\right)}{r\rho_2 \mathrm{T}_1}. \qquad (2.6)$$

Рівняння руху для кожної фази:

$$\rho_k \left[\frac{\partial V_k}{\partial t} + \underbrace{s \frac{\partial \nabla(\mu_t / \rho)}{\partial t}}_{1} + (V_k \cdot \nabla) V_k \right] = -\varphi_k \nabla p + F(V_2 - V_1) + \nabla \left[\mu_k^{eff} \left(\nabla V_k + (\nabla V_k)^T - \frac{2}{3} \nabla \cdot V_k \delta_{nm} \right) \right] + F_b \vec{\mathrm{k}}, \qquad (2.7)$$

де ∇V_k - тензорний градієнт, який перетворює вектор (тензор першого рангу) в тензор другого рангу, $(\nabla V_k)^T$ - зв'язаний (транспонований) тензорний градієнт, в останньому доданку ∇ перед квадратними дужками - тензорна дивергенція, яка перетворює тензор швидкостей деформацій другого рангу в вектор, $\vec{k}$ - орт у вертикальному напрямку вздовж якого діє сила тяжіння, δ_{nm} - тензор Кронекера другого рангу відповідної розмірності. Міжфазне тертя F і виштовхує сила F_b визначаються за співвідношенням:

$$F_b = \rho_k g, \qquad F = 0.75 \frac{c_d \rho_1 \varphi_1 \varphi_2}{d_b} |w_r|, \tag{2.8}$$

де c_d - коефіцієнт тертя і знаходиться за формулами:

$$c_d = \begin{Bmatrix} 6.3/\mathrm{Re}_b^{n_1} & \mathrm{Re}_b > 100, \mathrm{We} \le 8 \\ 2.67 & \mathrm{Re}_b > 100, \mathrm{We} > 8 \\ \mathrm{We}^{n_2}/3.0 & \mathrm{Re}_b > 2065.1/\mathrm{We}^{n_3} \end{Bmatrix}, \tag{2.9}$$

де чисельна значення коефіцієнтів n1, n2 і n3 буде визначено з експериментальних даних; число Вебера We знаходиться зі співвідношення:

$$\mathrm{We} = \frac{\rho_1 |w_r|^2 d_b}{\sigma}. \tag{2.10}$$

Рівняння енергії [10]:

$$\frac{\partial \rho_k \varphi_k h_k}{\partial t} + \underbrace{s \frac{\partial}{\partial t} \nabla \cdot \left(\frac{(\mu_t / \rho_k \varphi_k)}{\sqrt{2}S} \nabla h \right)}_{\mathrm{I}} + \nabla (\rho_k \varphi_k h_k V_k) = \nabla \left(\frac{\mu_k^{eff}}{\mathrm{Pr}_k^{eff}} \varphi_k \nabla h_k \right) + S_h, \tag{2.11}$$

де s - постійна, рівна 0.97, - тензор швидкостей деформації,

$$S = \sqrt{2 S_{nm} S_{nm}}, \qquad S_{nm} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \tag{2.12}$$

S_h - Джерельної член, що дорівнює:

$$S_h = \alpha_k A_{\text{межф}} (T_k - T_{\text{н}}) + M_k (h_k - h_{\text{н}}) \quad . \tag{2.13}$$

Для замикання рівнянь при турбулентному плині використовується модель турбулентності. У даний роботі використовувалася RNG k-ε модель турбулентності. Турбулентна в'язкість визначається за формулою:

$$\mu_{kt} = \frac{1}{24\sqrt{15}} \left[\frac{\left(4k + 3\sqrt{6\pi C_K^3 \varepsilon \mu_k / \rho_k} \right)^2}{C_K^{3/2} \varepsilon} - 216 C_K^{3/2} \mu_k / \rho_k \right] \quad , \tag{2.14}$$

де $C_K = 1.605-$ ренормгрупове значення константи Колмогорова, - турбулентна в'язкість, - молекулярна в'язкість.

Ефективна в'язкість визначається сумою турбулентної та молекулярної в’язкостей: $\mu_k^{eff} = \mu_{kt} + \mu_k$ Ефективне число Прандтля знаходиться із трансцендентного рівняння:

$$\left| \frac{\left(\mathrm{Pr}_k^{eff} \right)^{-1} - a}{\mathrm{Pr}^{-1} - a} \right|^{\frac{a+1}{a+b}} \left| \frac{\left(\mathrm{Pr}_k^{eff} \right)^{-1} + b}{\mathrm{Pr}^{-1} + b} \right|^{\frac{b-1}{a+b}} = \frac{\mu_k}{\mu_k^{eff}} \quad , \tag{2.15}$$

де коефіцієнти

$$a=\frac{1}{2}\left(\sqrt{4\frac{d-1}{d}\tilde{A}_d^{-1}+1}-1\right) \qquad b=\frac{1}{2}\left(\sqrt{4\frac{d-1}{d}\tilde{A}_d^{-1}+1}+1\right) \quad (2.24) \quad \tilde{A}_d=\frac{d-1}{2(d+2)}, \quad (2.16)$$

де d - розмірність простору.

Рівняння для кінетичної енергії турбулентності:

$$\frac{\partial \rho_1\varphi_1 k}{\partial t}+\underbrace{s\frac{\partial}{\partial t}\nabla\cdot\left(\frac{(\mu_t/\rho_1\varphi_1)}{\sqrt{2}S}\nabla k\right)}_{\text{I}}+\nabla\left(\rho_1\varphi_1 k V_1\right)=\nabla\left(\frac{\mu_1^{eff}}{\mathrm{Pr}_k}\varphi_1\nabla k\right)+S_k \qquad , \qquad (2.17)$$

де I - додаткове доданок, що враховує нестаціонарність турбулентних процесів [7,8].

Рівняння для швидкості дисипації:

$$\frac{\partial \rho_1\varphi_1 \varepsilon}{\partial t}+\underbrace{s\frac{\partial}{\partial t}\nabla\cdot\left(\frac{(\mu_t/\rho_1\varphi_1)}{\sqrt{2}S}\nabla \varepsilon\right)}_{\text{I}}+\nabla\left(\rho_1\varphi_1 \varepsilon V_1\right)=\nabla\left(\frac{\mu_1^{eff}}{\mathrm{Pr}_\varepsilon}\varphi_1\nabla\varepsilon\right)+S_\varepsilon \qquad (2.18)$$

У рівняннях (2.17) і (2.18):

$$S_k=\rho r_1\varphi_1(G_k-\varepsilon)+\varphi_1 G_{kb} \qquad S_\varepsilon=\rho_1\varphi_1\frac{\varepsilon}{k}(C_1G_K-C_2\varepsilon)+\varphi_1 C_1 G_{kb}\frac{\varepsilon}{k}, \qquad (2.19)$$

де G_k - генерації турбулентної енергії, яка виражається через квадрат швидкостей деформації, G_{kb} - генерація турбулентної енергії за рахунок руху бульбашок, константи C1 = 1,42 і C2 = 1,68.

Генерація турбулентної енергії визначається у вигляді:

$$G_k=\mu_{t1}\left(\nabla V_1+(\nabla V_1)^T-\frac{2}{3}\nabla\cdot V_1\delta_{nm}\right)^2 \qquad . (2.20)$$

Генерацію турбулентної енергії за рахунок руху бульбашок знаходиться зі співвідношення [11,12]:

$$G_{kb}=0.3\frac{C_d\rho_1\varphi_1\varphi_2}{d_b}|w_r|^3, \qquad (2.21)$$

Для числа Прандтля кінетичної енергії турбулентності і числа Прандтля швидкості дисипації $\mathrm{Pr}_k = \mathrm{Pr}_\varepsilon$ справедливо трансцендентне рівняння:

$$\left|\frac{\mathrm{Pr}_k^{-1}-a}{a}\right|^{\frac{a+1}{a+b}}\left|\frac{\mathrm{Pr}_k^{-1}+b}{b}\right|^{\frac{b-1}{a+b}}=\frac{\mu_k}{\mu_k^{eff}}. \qquad (2.22)$$

Дана математична модель є зручною для опису процесів які відбуваються в двофазних потоках.

ВИСНОВОК:

Були розглянуті узагальнені карти режимів двофазних потоків. Даний тип діаграм дає гарне уявлення про природу двофазних потоків і може широко використовуватись

на практиці.

Окрім узагальнених карт режимів були розглянуті більш конкретні карти режимів для горизонтальних і вертикальних каналів. Такий тип діаграм є більш конкретним, бо якраз найчастіше потоки існують саме в горизонтальному чи вертикальному форматі.

Було досліджено математичну модель двофазних потоків. Дана модель дає можливість досліджувати двофазні потоки при різноманітних параметрах, а також дозволить в майбутньому на своїй основі побудувати математичну модель для більш конкретних випадків, наприклад для двофазних потоків з надкритичними параметрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баттерворс Д., Г.Хюитт Г.. Теплопередача в двухфазных потоках – М.: Энергия, 1980. – 321 с.
2. Mamouru Ishi, Takashi Hibiki. Thermo-fluid dynamics of Two-phase flow – NY.: Springer, 2011. – 518 с.
3. Хьюитт Д., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные потоки – М.: Энергия, 1974. – 418 с.
4. Dimitri Gidaspow. Multiphase Flow and Fluidization: Continuum and Kinetic Theory Descriptions – L.: Academic press, 1994. – 467 с.
5. Hewitt G.F. , Roberts D.N. Studies of two-phase flow patterns by simulations X-ray and flash photography. – NY.:U.K.A.E.A. 1969. – 27 с.
6. Скицко А.И. Моделирование двухфазного пароводяного потока / А.И. Скицко // Энергетика: экономика, технологии, екология. – 2008. – №1. – С.17–21.
7. Авраменко А.А. Ренормгрупповой анализ нестационарной турбулентности. / А.А. Авраменко // Доклады НАН Украины. – 2007. – №12. – С. 88–93.
8. Авраменко А.А. Апробация ренормгрупповой модели нестационарной турбулентности. / А.А. Авраменко // Доклады НАН Украины. – 2011. – №5. – С. 88–93.
9. Rosten H. Phoenics Manual CHAM, TR/100 / H. Rosten, D.B. Spalding. – London, 1986.
10. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении / В.И. Толубинский. – Киев: Наук. думка, 1980. – 316с.
11. Kuo J.T. Flow of bubbles through nozzles / J.T. Kuo, G.B. Wallis // International Journal of Multiphase Flow. – 1988. – №14. – P.547–556.
12. Lopez de Bertodano M. Phase distribution in bubbly two phase flow in vertical ducts / M. Lopez de Bertodano, R.T. Lahey, O.C. Jones // International Journal of Multiphase Flow. – 1994. – №20. – P.805–818.

УДК 620.953

Чернуха К.В., Шкляр В.І., Дубровська В.В.
Національний технічний університет України «КПІ»
Інститут енергозбереження і енергоменеджменту

БІОГАЗОВА УСТАНОВКА ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ

Представлені результати розрахунків доцільності використання біогазу для опалення тваринницької ферми. Показані екологічні переваги при спалюванні біогазу.

Чернуха К.В., Шкляр В.И., Дубровская В.В.

БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ

Представлены результаты расчетов целесообразности использования биогаза для отопления животноводческой фермы. Показаны экологические преимущества при сжигании биогаза.

Chernuha K.V., Shklyar V.I., Dubrovska V.V.

BIOGAS UNIT FOR HEATING OF CATTLE FARM

The results of calculations of the feasibility of using biogas for heating of cattle farm were submitted. The environmental advantages of the combustion of biogas were showed.

Вступ. Отримувати теплоту або електроенергію з продуктів життєдіяльності тварин є необхідністю нашого часу. З точки зору екології біогазова установка – це і переробка відходів, і скорочення викидів парникових газів, і застосування екологічно чистих добрив замість мінеральних, які шкодять не лише ґрунту, але і ґрунтовій воді.

Мета роботи: аналіз ефективності застосування біогазової установки для опалення тваринницької ферми, дослідження якості викидів в атмосферу вуглекислого газу при спалюванні різних видів палива, в тому числі биогазу.

Викладення основного матеріалу. Аналіз проведений для будівлі ферми в Чернігівській області з розмірами 10х100х3 м, зі стінами у дві цегли (δ = 0,52 м) і штукатуркою (δ = 0,02 м), дахом з руберойду та шиферу. Ферма має 20 вікон 1х1 м з одинарним склінням. За вихідними даними визначаємо, кількість різних тварин, які можна розмістити на цій площі і температура їх утримання приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Вид тварин	Необхідна площа на 1 тварину	Кількість тварин	Необхідна температура для утримання тварин , ˚ С
Корови	5 м^2 / гол	200	8-12 (10)
Свині	1,2 м^2/гол	830	13-19 (16)
Птиця	0,3 м^2/гол	3000	16-18 (17)

Для

розрахунку системи опалення необхідно визначити тепловтрати будівлі і теплонадходження від тварин (оскільки розрахунок приблизний, іншими складовими нехтуємо).

Тепловтрати будівлі розраховуємо через огороджувальні конструкції і зводимо в таблицю 2.

Таблиця 2.

Вид тварин	Тепловтрати, кВт						Теплонадход-ження від тварин, кВт	Опалювальне навантаження, кВт
	Стіни	Вікна	Підлога	Дах	На вентиляцію	Σ		
Корови	20,2	3,4	10,2	70,1	32,4	136,3	49,43	86,89
Свині	23,9	4,1	12,1	82,8	38,4	161,3	44,96	116,34
Птиця	24,5	4,2	12,4	85	39,4	165,4	17,4	148,07

Середня кількість біогазу, яку можна отримати з навозу і кількість електроенергії / теплоти за добу, приведено в таблиці 3.

Таблиця 3.

Вид тварин	Кількість навозу від 1 тварини / загальна кількість навозу	Вихід біогазу з сировини, $м^3$	Вихід біодобрив, т / еквівалент мінеральному, т	Кількість електроенергії / теплоти (когенерація), кВт
Корови	35 кг/гол. / 7000 кг	1064,25	32,12 / 0,31	97,56 / 89,75
Свині	6 кг/гол. / 4980 кг	527,83	14,84 / 0,14	48,38 / 44,51
Птиця	0,2 кг/гол. / 600 кг	44,93	1,56 / 0,01	4,11 / 3,79

Дана кількість електричної енергії і теплоти оцінена при виробництві їх когенераційною біогазовою установкою, оскільки такий метод дозволяє підвищити загальну ефективність процесу у порівнянні з роздільним виробництвом.

Ціни на мінеральне добриво типу нітроамофоска коливається від 4000 до 4980 грн/т в залежності від виробника і віддаленості транспортування. Таким чином, можна розраховувати економію на закупівлю добрив, використовуючи продукт власного виробництва.

Застосування біогазової установки на фермі по утриманню великої рогатої худоби економить більш півмільйона гривень в рік. Крім того, використання добрив, отриманих при переробці навозу, збільшує урожайність сільськогосподарських культур на 10-20%.

Якщо температура повітря на фермі досягає некомфортного рівня, то у тварин зменшується продуктивність, збільшується споживання кормів і знижується імунітет. Низькі температури негативно впливають на організм тварин, в таких умовах вони більш схильні до хвороб. Особливо чутливі до цього молоді особи, які в перші дні життя не здатні до фізичної терморегуляції. Так, наприклад, при підтриманні комфортних умов можна збільшити надої на 1-2 л з кожної корови, таким чином збільшить прибуток від 306600 до 613200 грн. в рік (при ціні молока 4,2 грн/л). Недотримання температурного графіку приводить також до зниження яйценосності курей в середньому на 15 %, а це означає, що фермери щорічно недоотримають в

середньому 124740 грн. Для свиней приріст ваги при несприятливих умовах знижується з 607-642 до 491-534 г, що в середньому за рік складає збиток у 621265,6 грн.

Додатковий прибуток, який отримуємо від продажу біодобрив, а також позитивний ефект від установки опалення біогазом на фермі показані в таблиці 4.

Розглянемо екологічні аспекти використання біогазу для опалення тваринницької ферми. Розрахуємо кількість викидів вуглекислого газу при спалюванні кам'яного вугілля, мазуту, природного газу і біогазу. Склад палива і вихід CO_2 приведені в таблиці 5.

Для оцінки кількості викидів введемо питомий показник: $м^3$ викидів на 1 МДж теплоти, яка виділяється при спалюванні палива (рис.1).

Таблиця 4.

Вид тварин	Витрати на біогазову установку «під ключ», грн .	Додатковий прибуток від нововведень (добрива , молоко, яйця, м'ясо), грн.
Корови	7951108	Від 759200 до 1176687
Свині	4194506	Від 825666 до 1080144
Птиця	375992	Від 135560 до 382998

Таблиця 5.

Вид палива	Кам'яне вугілля	Мазут	Природний газ	Біогаз
Склад	C^p=61,6%, H^p=4,41%, N^p=0,31%, O^p=1,99%, S^p=10,2%, W^p=12%, A^p=13,2%	C^p=83%, H^p=10,4%, N^p=0,2%, O^p=0,4%, S^p=2,8%, W^p=3%, A^p=0,1%	CH_4=96%, C_2H_6=2%, C_3H_8=0,2%, C_4H_{10}=0,2%, H_2S=1,2%, CO_2=0,2%	CH_4=60% CO_2=35% H_2O=3% інші 2%
$Q_н^p$, МДж/кг або МДж/$м^3$	24,07	38,9	36,12	21,5
Розрахований об'єм CO_2, $м^3$	1,1495	1,549	1,016	0,6

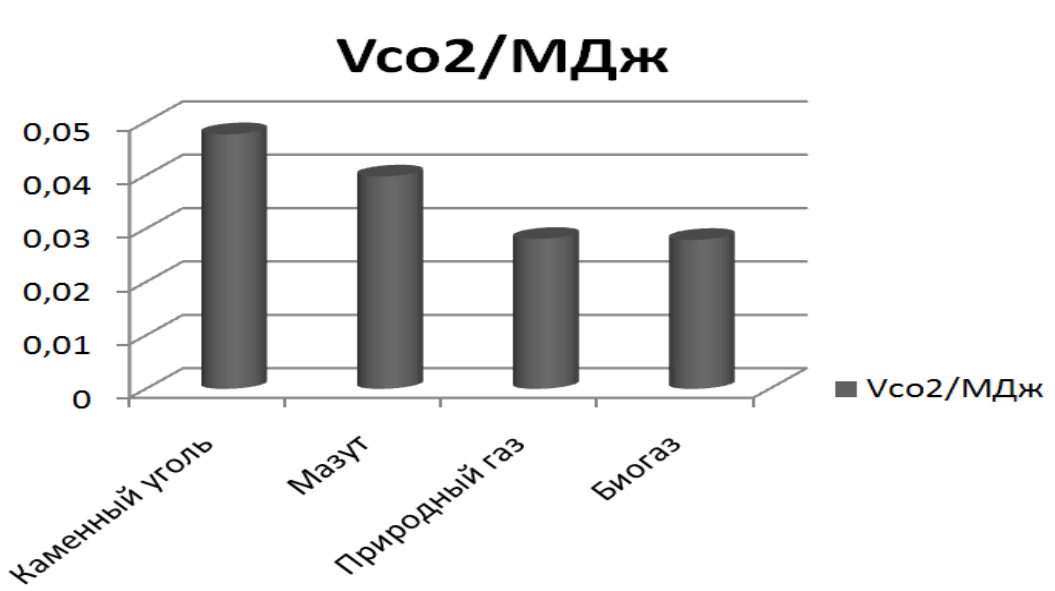


Рис.1. Питома кількість викидів при спалюванні різних видів палива.

Література

1. Джеймс А. Дональд «Arbor Acres Технология микроклимата» - 2012. - 48 с .

2. СНиП 2.04.05-91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование» введ. 01.10.1996 г. - 89с.

3. http://arx.novosibdom.ru/.

4. http://ekotenk.com.ua/products/fast/.

5. http://ptichki.net/cena/ceni-na-yaieco/9-ceni-na-yaieco.

6. http://latifundist.com/novosti/42708-zakupochnye-tseny-na-moloko-povysyatsya.

УДК 662.99

М.Р. КОТЕНКО, проф. д.т.н. В.І. ДЕШКО
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

АНАЛІЗ ТЕПЛООБМІНУ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ

Вентильовані фасади можуть бути використані у випадках реконструкції існуючих будівель і будівлі нових споруд для поліпшення як теплових характеристик будівель, так і архітектури. Перевагами вентильованих фасадів протягом літа є зниження теплового навантаження у зв'язку з комбінацією ефектів від затінення внутрішнього фасаду та наявністю повітряного потоку, викликаного природньою конвекцією в повітряному каналі. Для дослідження теплової поведінки вентильованого фасаду було використане програмне забезпечення ANSYS Fluent. Метою даного дослідження є висвітлення моделювання фасадів здатних забезпечити енергоефективну експлуатацію, як у випадку природньої так і вимушеної конвекції, викликаної дією вентилятора.

Ключові слова: вентильований фасад, математична модель, природня конвекція, вимушена конвекція.

АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕНА ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

Вентилируемые фасады могут быть использованы в случае реконструкции существующих зданий и возведения новых зданий для улучшения как тепловых характеристик, так и архитектуры зданий. Преимущества вентилируемых фасадов во время летнего периода является снижение тепловой нагрузки в связи со следующими эффектами: затенение внутреннего фасада и возникновение воздушного потока, вызванного естественной конвекции в воздушном канале. Было использовано программное обеспечение ANSYS Fluent для исследования теплового поведения одного из самых распространенных типов вентилируемого фасада. Целью данного исследования является моделирование вентилируемых фасадов способных обеспечить энергоэффективную эксплуатацию, как в случае естественной, так и механической конвекции, вызванной действием вентилятора.

Ключевые слова: вентилируемый фасад, математическая модель, естественная конвекция, вынужденная конвекция.

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER THROUGH VENTILATED FACADES

Ventilated facades can be used in cases of reconstruction of existing buildings and in new construction to improve thermal performance of buildings and the architectural appearance of the skin. One of the advantages is reduction of energy consumption using ventilated facades during the summer. This is caused by the combined effect of shading the external wall and airflow induced by convection in heated channel. Computer code "Fluent" was used to investigate the thermal behavior of three different typologies of ventilated facades. The purpose of this study is to show modelling and simulation of ventilated facade that can provide all practical criteria for the selection of suitable the most ventilated facades, as in the case of forced convection due to action fan and natural convection due to stack effect.

Keywords: ventilated facade, a mathematical model, natural convection, forced

convection.

Вступ. Вентильований фасад являє собою систему , що складається з зовнішнього фасаду, структури прикріпленої до поверхні стінки будівлі, ізоляційного матеріалу і повітряного зазору між зовнішнім фасадом та ізоляційним матеріалом. Повітряний потік всередині вентильованого каналу, викликаний ефектом плавучості, забирає теплове навантаження за допомогою природньої конвекції. Енергетичний аналіз вентильованого фасаду є важким через наступні фактори: загальна нестача даних, пов'язаних з вентильованими фасадами; відсутність програмних засобів, які можуть повністю оцінити термічну поведінку провітрюваного непрозорого фасаду. Європейська директива щодо енергетичних характеристик будівель (Директива 2002/91/ЄС) фокусує свою увагу на тому, що системи кондиціонування стали дуже поширеними, зокрема в країнах Південної Європи. Це створює значні проблеми в пікові навантаження; влітку в Італії потужність, необхідна під час літнього піку дорівнює навантаженням під час зимових піків. Така ситуація може повторитись у південних областях України в майбутньому. За Ciampi, M. Solar Energy, 2003 енергозбереження у вентильованих фасадах збільшується, при збільшенні інтенсивності сонячного випромінювання. Отже задля дослідження даного аспекту необхідне порівняння термодинамічної поведінки вентильованих фасадів при різних рівнях сонячного випромінювання. Крім цього оцінка вентильованих фасадів вимагає динамічного аналізу вентильованого повітроводу і точне знання коефіцієнтів тепловіддачі, коефіцієнти тертя і теплофізичні властивості матеріалів. Невизначені знання коефіцієнтів тепловіддачі і втрати тепла всередині повітряного каналу можуть бути нівельовані надійністю використання складних обчислювальних методів, як, наприклад, обчислювальна гідродинаміка (Computational Fluid Dynamics).

Завдання та мета дослідження. Дослідити енергетичну ефективність використання вентильованих фасадів за допомогою порівняння показників температур у вентильованому каналі, швидкостей повітряного потоку вентильованого прошарку з використанням програмного середовища ANSYS Fluent та різних видів конвекції. Порівняння теплових потоків крізь стіну з вентильованим прошарком та за відсутності такого каналу під час літнього періоду. Використання існуючої моделі променевого теплообміну у середовищі ANSYS Fluent з різними інтенсивністями сонячного випромінювання, для порівняння термодинамічних показників поведінки вентильованого фасаду.[1]

Результати дослідження. Непрозорий вентильований фасад є спеціальним фасадом, коли зовнішня поверхня будівлі складається з окремого прошарку, який є природньою вентильованою порожниною. Вентильований фасад зображений схематично у вигляді двовимірної системі на рис. 1. Він складається з двох плит (внутрішня і зовнішня плити) розділені повітропроводом, в який проникає повітря. Передача тепла викликана наступними чинниками [2]:

- радіаційний теплообмін між двома стінками каналу ;
- конвективний теплообмін між стінками порожнини і циркулюючими потоками повітря;
- теплопровідність крізь стіни.

Масу повітря, що протікає в канал, можна вважати в якості незалежної змінної у випадках примусової вентиляції, в той час як у випадку природної вентиляції вона визначається тепловим потоком, геометрією каналу і зовнішніми атмосферними умовами. Масовий потік повітря також перебуває під впливом зовнішніх умов вітру.

Для спрощення основних рівнянь зовнішній ефект вітру в даній системі не розглядаються. Сформульована модель впроваджена у програмне забезпечення ANSYS Fluent.

Енергетичний баланс для стаціонарних систем був застосований для дослідження контрольного об'єму, який представляє собою два непрозорих фасади, розділених повітряним каналом. Усереднене за часом рівняння руху Нав'є-Стокса може бути записана у наступному вигляді [3].

Номенклатура:

ρ - густина повітря, кг/м^3
u_i, u_j - швидкість повітря відносно осі X та У відповідно, м/с
x_i - відстань відносно осі X, м
F_i - додаткові сили, які впливають на систему, Н
j - ентальпія, Дж·кг$^{-1}$
T - температура, К
S_h - додаткова енергія, яка надходить до системи, Дж
μ - динамічна в'язкість повітря, кг·м$^{-1}$·с$^{-1}$
μ_0 - динамічна в'язкість повітря на вході у повітряний канал, кг·м$^{-1}$·с$^{-1}$
G_k - генерація турбулентної кінетичної енергії, кг·м$^{-1}$·с$^{-3}$
G_b - генерація турбулентної кінетичної енергії, яка викликана ефектом плавучості,кг·м$^{-1}$с$^{-3}$
k - турбулентна кінетична енергія, м^2·с$^{-2}$
k_0 - кінетична енергія на вході у повітряний канал, м^2·с$^{-2}$
ε - швидкість дисипації турбулентної кінетичної енергії, м^2·с$^{-3}$
σ_ε,σ_k - турбулентний критерій Прандтля для ε, k відповідно
$C_{1\varepsilon}$, $G_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ - емпіричні коефіцієнти для $k\varepsilon$ турбулентної моделі

Збереження маси у *i*-тому напрямку:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0. \quad (1)$$

Збереження імпульсу в *i*-тому напрямку:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right) + F_i. \quad (2)$$

Збереження енергії:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i j) = -p\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left((k + k_0)\frac{\partial T}{\partial x_i}\right) + S_h. \quad (3)$$

Рівняння переносу для стандартної моделі турбулентності *k*-*ε*, виведене з рівняння Нав'є-Стокса, може бути записане як:

-турбулентна кінетична енергія:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[(\mu + \frac{\mu_0}{\sigma_k})\frac{\partial k}{\partial x_i}\right] + G_h + G_b - \rho\varepsilon; \quad (4)$$

-кінетична енергія дисипації:

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + G_{3\varepsilon}G_k) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}; \quad (5)$$

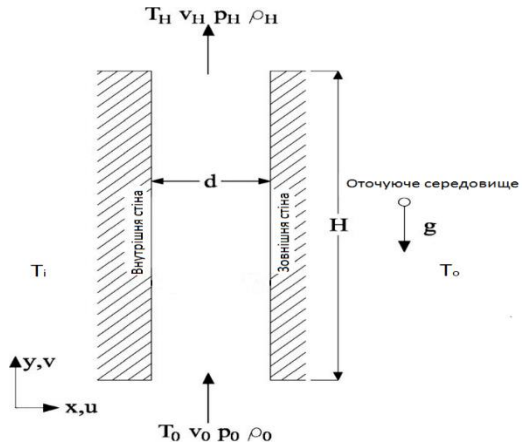


Рисунок 1. Схематичне зображення вентильованого фасаду

Чисельне рішення кінцевих різниць було використане для рішення рівнянь моделі з використанням необхідних граничних умов, які зазначені у табл.1. Наступні кліматичні умови були використані: T_i = 297 К, T_o = 301 К. Де T_i – це температура в приміщенні, а T_o – температура навколишнього середовища, інтенсивність сонячної радіації I= 400 Вт/м^2.

Таблиця 1 – Граничні умови задачі

y=0	y=H
$p=p_0$	$p=\rho gH$
$T=T_0$	-
$v=v_0$	-

Термофізичні властивості та геометричні розміри фасаду вказані у табл. 2. Розміри повітряного каналу були обрані згідно запропонованих величин. [4-6]. Висота H = 6 м., товщина d = 0,15 м. L=0.445м. - загальна товщина стінки.

Таблиця 2 – Термофізичні властивості вентильованого фасаду

Номер прошарку	Назва прошарку	Товщина, м	ρ, кг/м^3	λ, Вт/(м·К)
1	Цегляна стіна	0,045	800	0,3
2	Повітря	0,15	-	0,56
3	Скловолокно	0,04	100	0,038
4	Цементна стяжка	0,015	2000	1,4
5	Пустотіла цегла	0,18	1600	0,59
6	Штукатурка	0,015	1800	0,9

Схематичне зображення прошарків представлене на рис. 2.

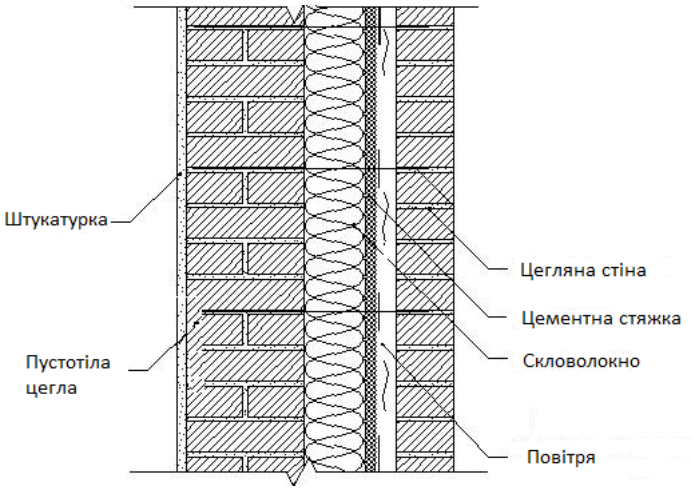


Рисунок 2. Прошарки вентильованого фасаду.

Результати імітаційного моделювання процесу при різних умовах наведено нижче. Було виконано кілька моделювань з різними температурами та швидкостями. Чисельна збіжність між послідовними ітераціями у розмірі 10^{-3} для рівнянь збереження маси , імпульсу та енергії досягається за допомогою від 400 до 500 ітерацій. На рис. 3 представлені залежності температури і швидкості від позиції у повітряному каналі. Графіки показують, що температура повітря збільшується вздовж напрямку руху повітря. T_1 та T_2, розраховані температури стінок з внутрішніх поверхонь повітроводу, (К), які зображені на рис.2 при d=0 м та d=0.15 м відповідно, d – відстань у повітряному каналі.

Профілі швидкостей показують, що найбільша швидкість у граничних областях біля плит. Графіки швидкостей симетричні. Потік повітря всередині каналу є ламінарним з середньою швидкістю близько v_0=0,5 м/с, Re=4200, що є менше критичного значення ($Re_c=1.2\cdot10^5$) для даної геометричної конфігурації. Слід зазначити, що у випускній секції (y = 6 м), швидкість повітря зменшується через втрату тиску на цій ділянці каналу. Інші розрахунки були проведені при збільшенні інтенсивності сонячного випромінювання, що падає на зовнішню поверхню, від 100 Вт/м^2 до 500 Вт/м^2.

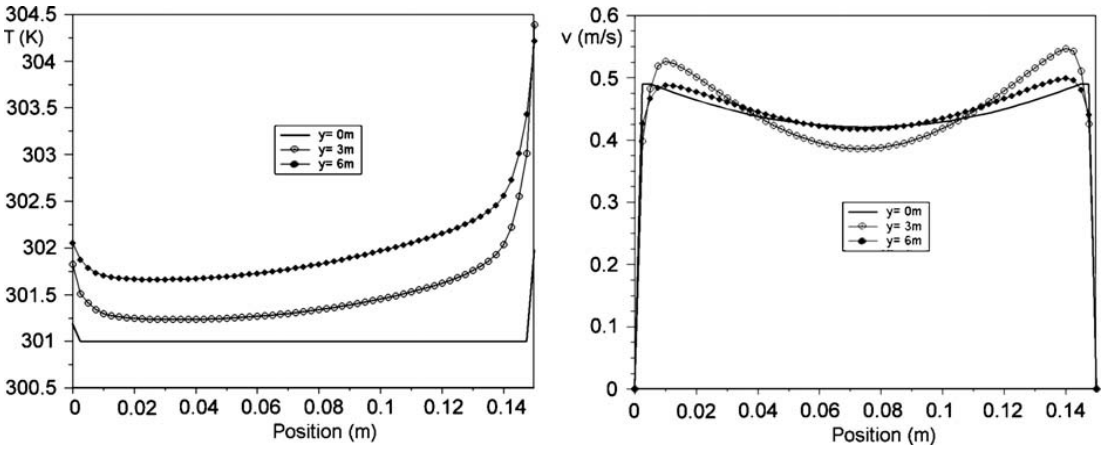


Рисунок 3. Залежність температури та швидкості від відстані до стін на різних висотах I = 400 Вт/м^2

(y = 0 м, y = 3 м; y = 6 м).

На рис.4 представлене наступне підтвердження, що збільшення сонячної радіації “I” викликає значне нагрівання повітря в каналі, а отже збільшення температури повітря на виході з каналу, та як наслідок збільшення теплового потоку, паралельного осі У . У випадку відсутності повітряного прошарку при I=400 Вт/м^2 тепловий потік, який доходить до приміщення дорівнює q=40 Вт, в той час як при тих самих умовах у вентильованому фасаді тепловий потік дорівнює q_{vf}=15 Вт.

Ефективність використання вентильованих фасадів:

$$\eta = \frac{q - q_{vf}}{q} = 62.5\%. \quad (6)$$

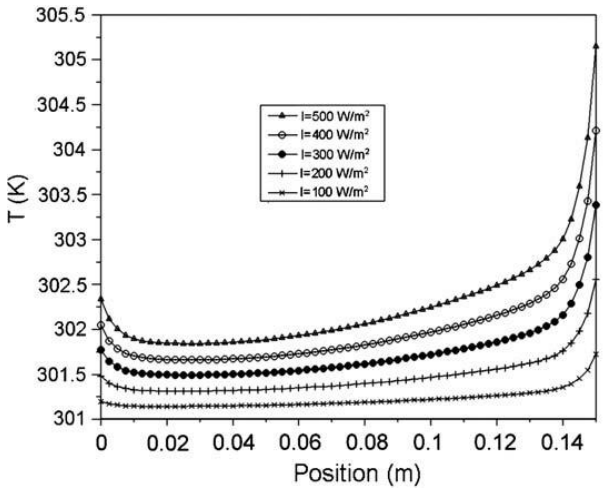


Рисунок 4. Залежність температури повітряного каналу від сонячної радіації

Подальші розрахунки (рис. 5) були проведені при збільшенні швидкості повітря на вході в вентильований канал v_0. Залежність швидкості має тенденцію розвиватися до параболічної форми з переходом від ламінарного до турбулентного потоку. Температурний профіль показує дуже плоску тенденцію в середині каналу з двома точками максимуму біля плит. Збільшення швидкості v_0 ,за допомогою вентилятора, викликає зниження різниці температур між двома сторонами каналу і зменшення різниці температур між вхідною і вихідною температурами. Але тепловий потік направлений від входу у вентильований канал до його виходу збільшується за рахунок збільшення масового потоку повітря. Значення температур у середині каналу менше ніж ті, які були розраховані для більш низьких швидкостей повітря, отже можна спостерігати зменшення потоку тепла направленого у будівлю.

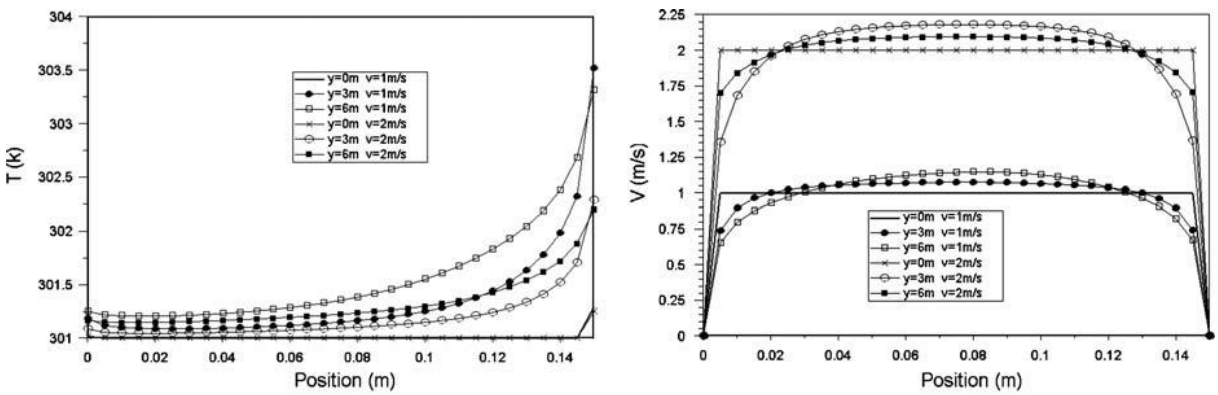


Рисунок 5. Залежність швидкості повітря у вентильованому каналі від позиції у каналі

Висновки. Можна стверджувати, що вентильовані фасади під час літнього періоду забезпечують високі темпи енергозбереження, як правило, вище 40%. Були порівняні температури та швидкості повітря у повітряному каналі, відповідно до різних інтенсивностей випромінювання та швидкостей повітря. Був помічений значний вплив випромінювання на температуру у повітряному каналі. Це спостереження має велике значення для архітекторів, які обирають зовнішнє облицювання вентильованих фасадів тільки по естетичним критеріям, ігноруючи важливість того, що покриття має бути енергоефективним. Потрібно використовувати матеріали та фарби для фасадів з низьким коефіцієнтом поглинання, задля застосування таких заходів рекомендовано провести економічний аналіз. Перспектива цього дослідження буде стосуватися аналізу енергоефективності вентильованого фасаду протягом зимового сезону та узгодження параметрів фасаду виходячи з інтеграції літніх та зимових умов

Перелік літератури

1. T. Hulda, R Muller, A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa (2012) 181-185.
2. C. Balocco, A simple model to study ventilated facades energy performance, Energy and Buildings 34 (2002) 469–475.
3. Fluent 6.3 User Guide.
4. M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, On the thermal behavior of ventilated facades and roof, La Termotecnica 1 (2002) 87–97.
5. M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, On the use of ventilated facades to reduce summer thermal loads, Costruire in Laterizio 89 (2002) 70–75.
6. M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings, Solar Energy 75 (2003) 491–502.

УДК : 536.242

ХРИСТЮК І.М. , ГАВРИШ А.С.

ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТУНЕЛЬНОЇ МІКРОСКОПІЇ

ХРИСТЮК И.Н. , ГАВРИШ А.С.

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

KHRUSTIYK I.M. , GAVRISH A.S.

ABOUT THE RESEARCH OF HEAT EXCHANGE SURFACES USING TUNNELING MICROSCOPY

Анотація. Використання нанотехнологій в енергетиці супроводжується розвитком експериментальних досліджень. На підставі проведеного аналізу були розглянуті особливості використання електронної мікроскопії для виявлення характеристик технологічних поверхонь різноманітного призначення. Такий підхід дозволяє значно розширити можливості отримання новітньої інформації.

Аннотация. Использование нанотехнологий в энергетике сопровождается развитием экспериментальных исследований. На основании проведенного анализа были рассмотрены особенности использования электронной микроскопии для выявления характеристик технологических поверхностей различного назначения. Такой подход позволяет значительно расширить возможности получения новой информации.

Annotation. The usage of nanotechnology in the energy sector accompanied by the development of experimental research. Based on the analysis were discussed features of using electron microscopy to identify the characteristics of technological surfaces for various purposes. This approach can significantly enhance the ability of getting the latest information.

Ключові слова. Тунельний мікроскоп, нанопокриття, технологічні поверхні, спатерна плівка.

Ключевые слова. Тунельный микроскоп, нанопокрытие, technological surface, спатерная плёнка.

Key words. Tunnel microscope, nanocoating, technological surface, sputter pellicle.

ВСТУП

Інтенсивні дослідження і розробки в області нанотехнологій, що почалися на рубежі XX-XXI століть, стали причиною кардинальних змін, які відбуваються у промисловому виробництві. Вони призвели до якісного стрибка в розвитку методів і засобів переробки та перетворення інформації, енергії, речовини. В даний час бурхливо розвивається науково-технічний напрям – нанотехнологія, що охоплює широке коло як фундаментальних, так і прикладних досліджень. Прогрес в нанотехнології стимулювався розвитком експериментальних методів досліджень, найбільш інформативними з яких є методи скануючої зондової мікроскопії (СЗМ). Скануючий тунельний мікроскоп (СТМ) – варіант скануючого електронного зондового мікроскопа, призначений для вимірювання рельєфу провідних поверхонь з високою просторовим роздільною здатністю.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ:

Проаналізувати спосіб дослідження покриття теплообмінних поверхонь за допомогою тунельного мікроскопу. А також розглянути можливість використання тунельного мікроскопу в теплоенергетиці.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ МІКРОСКОПІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Електронний мікроскоп є інструментом для зображення поверхні предмету на атомному рівні. Його розвиток розпочався в 1981 році завдяки винахідникам, Герду Біннігу (Gerd Karl Binnig) та Генріху Рореру (Heinrich Rohrer), лауреатів Нобелівської премії з фізики в 1986 році. Для електронних мікроскопів допустимою роздільною здатністю вважається 0,1 нм в ширину та 0,01 нм в глибину. При такій роздільній здатності, окремі атоми в матеріалах зазвичай можна розрізнити і спробувати ними маніпулювати. Такий мікроскоп може бути використаний не тільки в надвисокому вакуумі, а й у повітрі, воді чи в іншій рідині або газу за температури навколишнього середовища (в діапазоні температур від нуля градусів Кельвіна до декількох сотень градусів за Цельсієм).

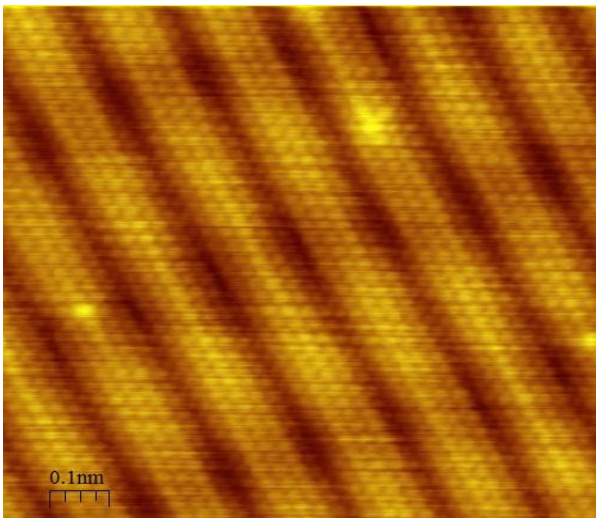


Рис. 1 – Зображення реконструкції поверхні чистого золота.

Електронний мікроскоп побудований на концепції квантового тунелювання. Коли кінчик голки проводиться дуже близько до досліджуваної поверхні струм зміщення (різниця напруг), поданий від голки до поверхні, дозволяє електронам тунелювати через вакуум між ними. Кінцевий тунельний струм залежить від положення кінчика голки, яка подає напругу та локальної щільності станів (ЛЩС) зразка. Інформація надходить завдяки спостереженню за струмом коли кінчик голки прочісує поверхню, і зазвичай відображається у вигляді картинок.

Якщо кінчик голки переміщується через зразок в площині XY, зміна висоти поверхні або щільності станів викликає зміни струму. Ці зміни відображаються в картинках та можуть бути виміряні безпосередньо. Або висота кінчика голки відповідного постійного струму може бути виміряна. Ці два режими називають режим постійний висоти і режим постійного струму відповідно.

У режимі постійного струму, електроніка зворотного зв'язку регулює висоту по напрузі завдяки п'єзоелектричному механізму регулювання висоти. Це призводить до

зміни висоти і відповідно зміни зображення рельєфу, що виходить з кінчика голки на зразку і дає постійну поверхневу щільність заряду. Це означає відмінність зображення через зміни в щільності заряду. У режимі постійної висоти, напруга і висота залишаються сталими у той час як струм змінюється, щоб зберегти напругу від зміни. Це призводить до зображень, які зроблені протягом поточних змін на поверхні, яка може бути пов'язана зі щільністю заряду. Перевага використання режиму постійної висоти в тому, що вона швидша.

Оскільки п'єзоелектричні рухи вимагають більше часу, щоб записати зміну висоти в режимі постійного струму, ніж зміну струму у режимі постійної висоти. Всі зображення, отримані за допомогою електронного мікроскопа виводяться у відтінках сірого. За бажанням, їх можуть зробити кольоровими в подальшій обробці для того, щоб візуально підкреслити важливі особливості.

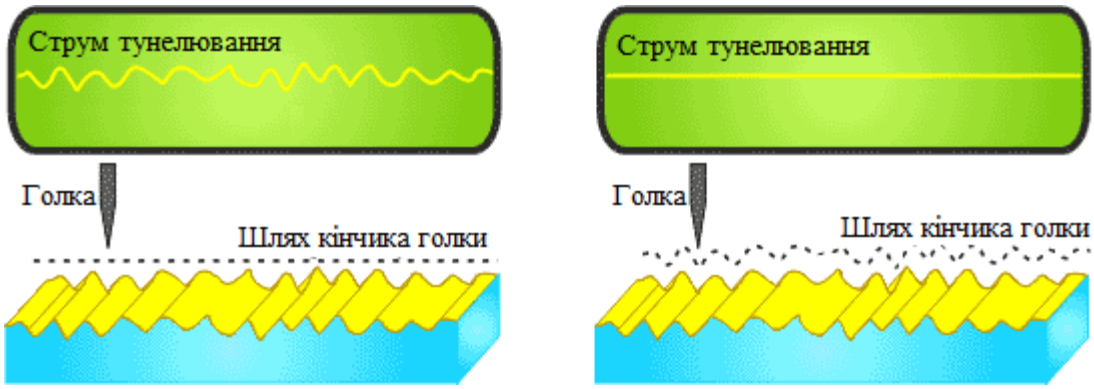


Рис. 2 – Схема роботи електронного мікроскопа: а) у режимі постійної висоти, б) в режимі постійного струму

Прикладом сучасних електронних мікроскопів є так звані скануючи компоненти СТМ, які включають скануючий кінчик голки з п'єзоелектричним управлінням висоти та XY сканер, регулятор наближення голки до зразка, система віброізоляції і комп'ютер.

Роздільна здатність зображення обмежена радіусом кривизни скануючого кінчика голки СТМ. Крім того, можуть статися дефекти зображення, якщо голка має два кінчика на відстані меншій одного атома. Це призводить до "подвійно кінцівковому зображенні", ситуацію, в якій обидва кінчика заважають тунелювати один одному. Тому, достатньо важливим є те щоб голки були завжди добре загострені. Останнім часом, у таких випадках почали використати вуглецеві нанотрубки.

Кінчик часто виробляється з вольфраму або платино-іридію, хоча золото іноді також використовується. Вольфрамові голки, як правило, зроблені електрохімічним гравіюванням, а платино-іридієві кінчики механічним зсувом.

У зв'язку з надзвичайною чутливістю тунельного струму до висоти, необхідні правильна віброізоляція або дуже жорстке тіло зразка для отримання прийнятного результату. У першому СТМ, розробленому Біннігом і Рорером, використовувалась магнітна левітація, щоб тримати СТМ без вібрацій, а тепер використовуються системи механічних пружин або газових грифонів. Крім того, іноді використовуються механізми для зниження вихрових струмів.

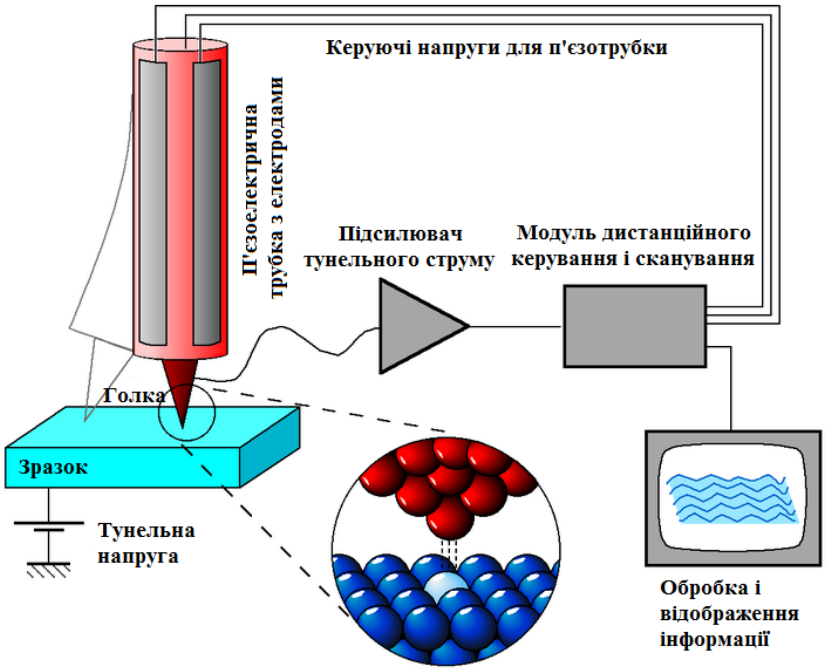


Рис. 3 – Схематичне зображення електронного мікроскопа

Підтримання позиції голки на відстані над зразком, сканування зразка та отримання даних виконується комп'ютером. Комп'ютер також може бути використаний для підвищення зображення за допомогою обробки зображень, а також виконувати кількісні виміри. Голки СТМ зазвичай виготовляються з вольфраму або сплаву платини та іридію, де в самому кінці кінчика (так званий вершиною), припадає один атом матеріалу.

2 НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ПЛІВКУ МЕТАЛА

Для додання плівці певних властивостей на неї наноситься шар металу довільної товщини, але значно більш тонкий, ніж шар плівки. Якщо товщина нанесеного металевого шару складає одну - дві молекули, плівка пропускає видиме світло практично без втрат. Якщо ж товщина шару металу - кілька десятків молекул, плівка набуває властивостей відбиття видимого світла.

Найчастіше на плівку наноситься алюміній, рідше - титан, бронза, цирконій, нікель, хром (або сплав нікелю з хромом), срібло, золото. Алюміній - самий легкоплавкий метал з усіх перерахованих. Для його нанесення використовується метод молекулярного випаровування. Технологічний процес досить простий, у вакуумній камері встановлюється тигель з алюмінієм і електронна гармата. Електронний промінь гармати направляється на тигель і розігріває алюміній до температури випаровування. У вакуумі створюється хмара молекул алюмінію. У цій хмарі по охолоджуючому барабану прокочується плівка. Молекули алюмінію «бомбардують» плівку і осідають на її поверхні. Завдяки охолодженню плівка не перегрівається, і її прозорість та інші корисні властивості не погіршуються. На відкритому повітрі поверхневий шар алюмінію відразу окислюється, що може призвести до погіршення оптичних характеристик плівки. Щоб уникнути цього плівка, металізована алюмінієм, негайно покривається шаром звичайної плівки.

Застосування даної технології дозволяє домогтися зниження кількості сонячної

енергії, що пропускається, до 80%. Причому, чим нижче коефіцієнт світлопропускання (чим темніше плівка), тим більше частина затриманої сонячної енергії. Показники світлопропускання плівки варіюються в основному від 15 % до 70 %. Наявність алюмінію в структурі сонцезахисної плівки (він володіє відмінними властивостями відбивання) зумовлює «дзеркальний» ефект її поверхні.

Для нанесення більш тугоплавких металів застосовується інший метод - метод іонного обміну в атмосфері інертного газу (англійський термін «sputtering»), а плівки, виготовлені за даною технологією, називають спатерними. Тонуючі спатерні плівки володіють надзвичайними здібностями щодо стримування сонячної енергії. У плівок металізованих методом молекулярного випаровування відбиваючі властивості засновані на використанні алюмінію в процесі виробництва та отриманні «дзеркального ефекту». На відміну від них, спатерні тонуючі плівки демонструють значно вищі показники зниження сонячної енергії без характерного «дзеркала». Це обумовлено технологією спатерування і використанням декількох шарів сплавів металу (таких як нержавіюча сталь, нікель, хром, бронза, титан) або оксидів металів. Для іонізації газу найчастіше використовують плазмовий розряд. У вакуумну камеру розміщають метал, який буде наноситися на плівку. Між металом і плівкою створюється електричне поле, причому метал під'єднується до негативного полюса джерела (катод), а плівка – до позитивного (анод). У камеру закачується інертний газ (зазвичай аргон) під тиском при якому створюються найбільш сприятливі умови для виникнення плазмового розряду. У результаті іонізації з'являється хмара позитивно заряджених іонів газу, яка під дією електричного поля «бомбардує» метал і вибиває з нього негативно заряджені іони. Ці іони металу в електричному полі переміщуються до плівки і осідають на ній. Такий, у загальних рисах, процес напилення металу на плівку називають методом іонного обміну. Основною перевагою методу є універсальність. Завдяки тому, що іони випаровуються з поверхні металу внаслідок механічного, а не хімічного або теплового впливу, фактично будь-який матеріал може бути джерелом іонів для покриття плівки. Низькотемпературні іони металу осідають на плівку, не перегріваючи її. Тому, по-перше, легше вирішується проблема охолодження плівки, а по-друге, покриття виходить виключно однорідним і оптично рівним.

Особливістю, притаманною тільки спатерним тонувальним плівкам, є мінімальна товщина металевого покриття. Завдяки цьому плівка практично не затримує видиме світло (оптичний діапазон), отже, не погіршується освітленість приміщення.

Недоліком плівок, що виготовляються методом молекулярного випаровування, є те, що вони затримують не тільки інфрачервоні промені, але і видиме світло. Освітленість приміщення, відповідно, погіршується. Спатерні тонувальні плівки практично не затримують проходження видимого світла, в той же час теплові промені (інфрачервоний діапазон) відбиваються від шарів металу плівки і не проникають в приміщення. Також цю властивість можна використати в зворотному напрямку. Вікна, покриті плівкою, зберігають тепло в зимній період, максимально перешкоджаючи його виходу на ззовні, в той же час в літній період навпаки затримують його надходження. При цьому плівка, через свою товщину, не знижує освітлюваність приміщення. Ця властивість є дуже енергоефективною [10].

Особливий інтерес в теплоенергетиці являє отримання, дослідження і експлуатація технологічних поверхонь різноманітного призначення. Прикладом можуть слугувати поверхні лопатей турбіни див. рис 4. Задача отримання жароміцних

термостійких поверхонь витривалих до корозійного та ерозійного зносу є актуальною, як для крупногабаритних об'єктів, так і для мікро- і мініобладнання. Широкі можливості в плані розширення інформації щодо таких об'єктів надають засоби електронної мікроскопії, в тому числі СТМ більш глибока інформація сприяє оптимізації підбору відповідних технологічних поверхонь. Прикладом такого підходу може слугувати застосування новітніх покриттів для теплообмінників типу РТА із фазовим перетворенням теплоносіїв.

Рис. 4 – Лопатки турбіни з корозійно-ерозійностійким покриттям

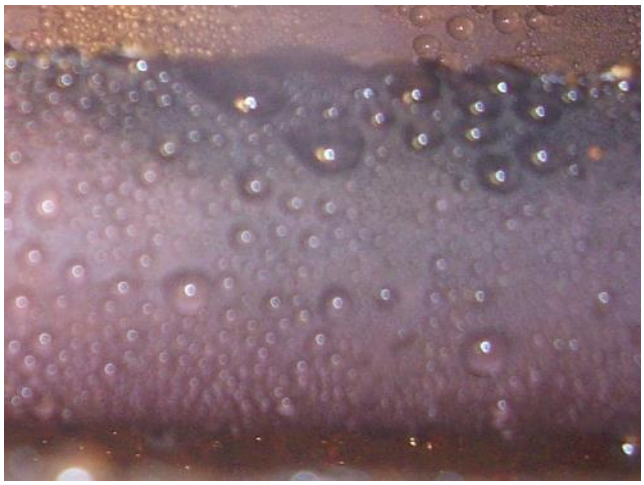


Рис. 5 – Краплинна конденсація на теплообмінній поверхні кожухотрубного ТОА

Наприклад, застосування гідроефекту і PTFE спрію дозволяє суттєво

інтенсифікувати теплообмін і подовжити термін експлуатації обладнання між плановимо-профілактичними роботами. Такий комплексний підхід може застосовуватись і для інших об'єктів теплоенергетики [12,13].

ВИСНОВОК:

На підставі проведеного аналізу були розглянуті особливості використання електронної мікроскопії для виявлення характеристик технологічних поверхонь різноманітного призначення. Можна констатувати що використання СТМ дозволяє значно розширити можливості отримання новітньої інформації. Електронний мікроскоп є ефективним інструментом для зображення поверхні предмету на атомному рівні. Він побудований на концепції квантового тунелювання. Тому інформація надходить завдяки спостереженню за струмом, коли кінчик голки прочісує поверхню. Існує декілька методів електронної мікроскопії, проте СТМ зарекомендував себе найбільш надійним та стабільним. Також скануюча мікроскопія необхідна при створенні наноплівок, розміром в декілька молекул. Або для нанесення на них молекул металів, щоб надати цим плівкам певних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bai C. – Scanning tunneling microscopy and its applications // New York: Springer Verlag. – 2000. – P. 100.
2. Julian Chen C. – Introduction to Scanning Tunneling Microscopy // Oxford University Press. –1993. – P. 147.
3. Verlag K., Lifshits V. G., Saranin A. A., Zotov A. V., Katayama M. –Surface science: an introduction // Berlin: Springer-Verlag. – 2003. – P. 237-238.
4. Bonnell D. A., Huey B. D. – Scanning probe microscopy and spectroscopy: Theory, techniques, and applications (2 ed.) // New York: Wiley-VCH. – 2001. – P. 151.
5. Анищик В.М., Борисенко В.Е., Жданок С.А., Толочко Н.К., Федосюк В.М. – Наноматериалы и нанотехнологии // Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – ст. 64-67.
6. Миронов В. Л. – Основы сканирующей зондовой микроскопии // Москва: Техносфера, 2004 – ст. 46-49;
7. Michael F. Crommie Infrared Spectroscopy of Molecular Submonolayers on Surfaces by Infrared Scanning Tunneling Microscopy: Tetramantane on Au(111) // Physical Review Letters. – 2013. – Volume 111. – Issue 12.
8. Shengyong Qin Superconductivity at the Two Dimension Limit // Science. –2009. – Volume 324. – pp. 1314-13177;
9. http://www.runnt.ru/glass.html;
10. http://plenkiplus.by/node/8.
11. Христюк І. М. Застосування інфрачервоних газових випромінювачів на стадіонах. XI Міжнародна науково-технічна конференція „Сучасні проблеми

наукового забезпечення енергетики". Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 16-19 квітня 2013 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня".–2013. – С.163.

12. Khrystyuk Ihor. Heat Exchangers. XI International Students Conference „Innovations in science and technology": Proceeding of XI International R&D Students Conference, (Kyiv, Nov. 28, 2013) / National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". – Part I. – Kyiv, 2013. – P. 66-67.
13. Афанасьєва Л.В., Урошлєв В.В. Робота на X Всеукраїнський конкурс "Молодь - енергетиці України - 2011: відкритий конкурс молодих енергетиків та вчених". – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 30с.

УДК 621.4

Ткаченко Н.В., Студенець В.П.

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРІШНЬОГО КОНТУРУ ДВИГУНА СТІРЛІНГА УДС-1

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА УДС-1

THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF INTERNAL CONTOUR STIRLING ENGINE UDS-1

Анотація

У роботі досліджується дійсний цикл двигуна Стірлінга, представлений у вигляді псевдоциклу (цикл Ралліса). Аналізуються його базові характеристики (робота циклу та ККД), як функції параметрів внутрішнього контуру двигуна: відношення температур гарячої та холодної порожнин, ступеня стиснення, відношення max і min тисків. Проведено експериментальні дослідження на макетному зразку двигуна Стірлінга УДС-1.

Аннотация

В работе исследуется действительный цикл двигателя Стирлинга, представленный в виде псевдоцикла (цикл Раллиса). Анализируются его базовые характеристики (работа цикла и КПД), как функции параметров внутреннего контура двигателя: отношения температур горячей и холодной полости, степени сжатия, отношения max и min давлений. Проведены экспериментальные исследования на макетном образце двигателя Стирлинга УДС-1.

Annotation

The work deals with the investigation of the real Stirling engine cycle in the form of pseudocycle (Rallis cycle). The cycle basic characteristics (work cycle and efficiency) are analyzed as a function of the parameters of the internal engine contour: the hot source and hot sink temperature ratio, the compression ratio, the max and min pressure ratio. The experimental researches on the Stirling engine model UDS-1 are conducted.

Ключові слова:

Двигун Стірлінга, псевдоцикл, ступінь стиснення, ефективність регенератора, індикаторна діаграма, параметр корисної роботи, термічний ККД.

Ключевые слова:

Двигатель Стирлинга, псевдоцикл, степень сжатия, эффективность регенератора, индикаторная диаграмма, параметр полезной работы, термический КПД.

Keywords:

Stirling engine, pseudocycle, compression ratio, regenerator effectiveness, indicator diagram, work parameter, the thermal efficiency.

Перелік позначень:

ε - ефективність регенератора; **ξ** - відношення температур; **rv** - ступінь стиснення; $\mathbf{T_x}$ – температура; $\mathbf{p_x}$ – тиск; $\mathbf{W_x}$ - корисна робота; **γ** - показник адіабати; **Qs** – теплопідведення; **m** – маса газу; **Cv** - питома теплоємність за постійного об'єму; $\boldsymbol{\eta_{пц}}$ – ККД псевдоциклу; **Wo** - параметр корисної робота; $\boldsymbol{\eta^0_{пц}}$ - максимальний ККД циклу; $\boldsymbol{\eta_{терм}}$ – термічний ККД; **V** – об"єм; **Г** – оптимальний фактор ступеня стиснення.

1. ВСТУП

Двигун Стірлінга, що відноситься до класу двигунів із зовнішнім підведенням теплоти, є унікальною теплової машиною як з точки зору термодинамічного циклу так і конструкції. Двигун Стірлінга конструктивно являє собою вдале поєднання в одному агрегаті компресора, детандера і теплообмінних пристроїв: нагрівача, регенератора і холодильника, що утворюють внутрішній контур. Він містить деякий постійний об"єм робочого газу, що переміщається між «холодною» частиною (що знаходиться в зоні температури холодильника) і «гарячою» частиною (зона температури нагрівача).

Як відомо, ідеальний цикл Стірлінга складається з процесу ізотермічного стиснення і розширення робочого тіла та з ізохорного поглинання і виділення енергії.

Проте, реальний двигун Стірлінга фактично не працює за ідеальним циклом, і питання відтворення дійсного циклу Стірлінга залишається відкритим.

В роботі досліджується один з варіантів представлення дійсного циклу двигуна Стірлінга (цикл Ралліса).

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз залежності корисної роботи та ККД циклу Стірлінга від параметрів внутрішнього контуру двигуна:

- ступеня стиснення rv;
- відношення температур гарячої та холодної порожнини (T1/T2);
- ефективності регенератора ε;
- відношення тисків внутрішнього контуру (Pmax/Pmin).

Серед поставлених завдань:

1) теоретичний аналіз залежностей для термічного ККД та роботи циклу двигуна Стірлінга від ступеня стиснення;

2) експериментальне дослідження основних характеристик роботи установки на базі двигуна Стірлінга УДС-1.

Наукова новизна проведених досліджень полягає у:

1) детальному аналізі залежності ККД циклу та корисної роботи від параметрів внутрішнього контуру та знаходженні екстремуму параметра роботи в певному діапазоні відношення температур;

2) проведення експериментальних досліджень на установці на базі двигуна Стірлінга УДС-1 та побудова індикаторних діаграм.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Псевдоцикл Стірлінга

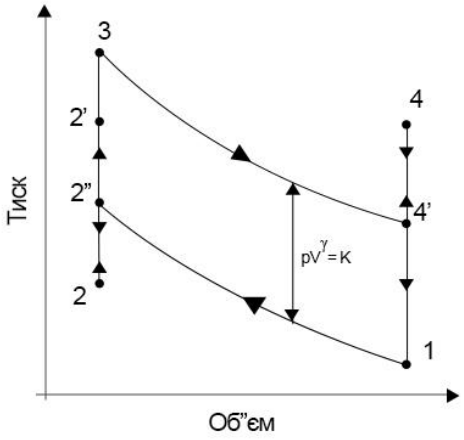


рис.1- Псевдоцикл Стірлінга

Ралліс и Уріеллі запропонували модель псевдоциклу Стірлінга, в якому ізотермічні процеси замінені політропними та частково адіабатними [1,2].

Це більш реалістичне припущення, оскільки внаслідок втрат тертя при русі робочого тіла між двома циліндрами та кінцевих значень теплових потоків ідеальні ізотермічні умови не досягаються.

Запропонована модель циклу зображена на рис.1. Ідеальний ізотермічний процес 1-2 заміняється адіабатним процесом 1-2'' та ізохорним процесом переохолодження 2''- 2 і аналогічний процес 3-4 заміняється процесом 3- 4' та 4'- 4. Нижче приведено відомі характеристики псевдоциклу (цикл Ралліса) [1].

Ефективність регенератора $\varepsilon = (T_{2'} - T_1)/(T_3 - T_1)$ (1)

Відношення температур $\zeta = T_1/T_3$ (2)

Ступінь стиснення $r_v = (T_2 \cdot p_3)/(T_3 \cdot p_1)$ (3)

Корисна робота

$$W_x = mRT_3 \left[(1 - r_v^{1-g}) - z (r_v^{g-1} - 1) \right] / (g - 1) \quad (4)$$

Теплопідвід Q_s до системи

$$Q_s = mC_v \left[(T_3 - T_{2'}) + (T_4 - T_{4'}) \right] \quad (5)$$

але
$$T_{2'} = T_3 \left[e + (1 - e) z \right]$$
$$T_4 = T_3 \quad (6)$$

Тому $$Q_s = mRT_3 \left[(1 - z)(1 - e) + (1 - r_v^{g-1}) \right] / (g - 1)$$

(7)

ККД псевдоциклу $$\eta_{пц} = \frac{(1 - r_v^{1-\gamma}) - \xi (r_v^{1-\gamma} - 1)}{(1 - r_v^{1-\gamma}) + (1 - \xi)(1 - \varepsilon)}$$

(8)

Параметр корисної робота $$Wo = \frac{r_v (1 - r_v^{1-\gamma}) - \xi (r_v^{1-\gamma} - 1)}{\xi (r_v - 1) + (1 - \xi)(\gamma - 1)}$$

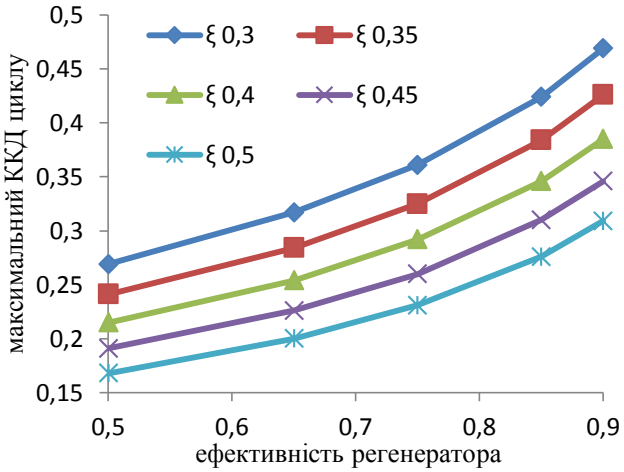
(9)

Вираз для максимального ККД циклу [1]

$$\eta^o_{пц} = \frac{(\varphi - \theta)((1 + \theta) - \xi (1 + \varphi))}{\varphi (1 + \theta)^2} \quad \text{де} \quad j = (1 - (1 + q)(1 - qx^{-1}))^{0,5}, \quad q = (1 - x)(1 - e) \quad (10)$$

3.2 Аналіз формули термічного ККД

рис.2



На рис. 2 зображена залежність параметрів корисної роботи Wo від rv при заданому відношенню температур ξ та залежність ККД циклу від rv та ε, при тому ж відношенні температур. пц

Можна бачити, що максимальне значення досягається при rv=2,5. В розрахункахприймається, що робочий газ, близький по властивостям до повітря.

Аналіз псевдоциклу Стірлінга показує, що для заданих значень відношення температур та ефективності регенератора максимально можливий індикаторний термічний ККД досягається при одній конкретній величині ступеня стиснення.

В роботі [1] приведено оптимізаційне дослідження виразу (10) для ККД циклу. При аналітичному дослідження цього співвідношення було встановлено, що диференціюючи відношення ККД по ступеню стиснення rv, прирівнявши отримані значення 0, щоб знайти максимум, та вирішуючи квадратне рівнянння відносно rv, можна знайти максимальний ККД циклу, який не залежить від показника адіабати газу і ступеня стиснення (10).

Співвідношення оптимального ККД зображено на рис.3 [1].

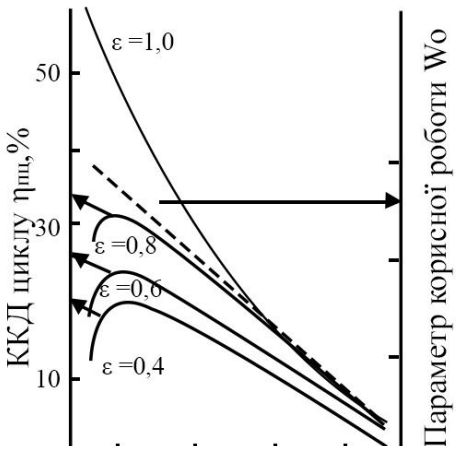


рис.3 - Максимальний ККД циклу в залежності від співвідношення температур та ефективності регенератора.

Отже, знаючи відношення температур та ефективності регенератора, можна знайти максимальний ККД, для проектованого чи існуючого двигуна. Якщо застосовувати початковий вираз для ККД, а також значення відношення температур та ефективності регенератора, як при попередніх розрахунках, результати яких наведено на рис.3, то отримаємо, що максимальна чи оптимальна величина ККД досягається тільки при деякій конкретній комбінації r_v та γ. Фактично можна знайти універсальне значення оптимального фактора ступеня стиснення Г, при якому досягається максимальний ККД:

$$G = r_v^{g-1} \qquad (11)$$

У свою чергу оптимальний фактор ступеня стиснення Г можна розписати як відношення:

$$G = r_v^{g-1} = \frac{1+j}{q+1} \qquad (12)$$

де φ та θ – є функціями від ε та ξ. Звідси слідує, що $\eta_{пц}^{o} = f(\Gamma)$.

Отже, максимальний ККД псевдоциклу залежить від відношення температур

ξ та ефективності регенератора ε :

$$\eta^{o}_{пц} = f(\xi, \varepsilon) \tag{13}$$

Побудуємо отримане співвідношення.

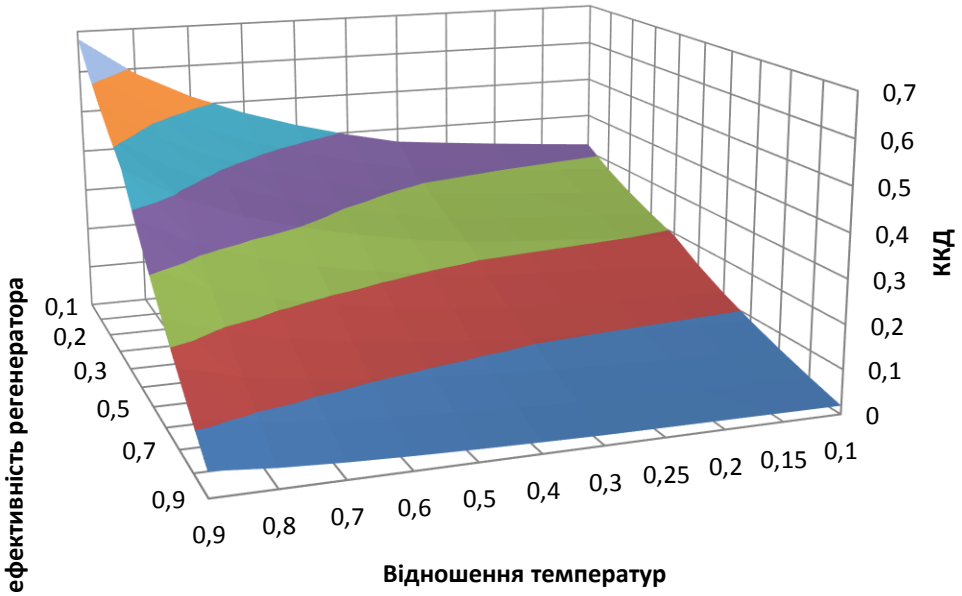


рис.4 - Максимальний ККД циклу в залежності від відношення температур та ефективності регенератора.

Графічний аналіз виразу параметру корисної роботи

Параметр корисної роботи є функцією від ступеня стиснення та співвідношення температур

$$W_o = \frac{r_v\left[(1-r_v^{1-\gamma}) - \xi(r_v^{\gamma-1}-1)\right]}{\xi(\gamma-1)(r_v-1)} \tag{14}$$

Досліджуючи графічно параметр корисної роботи Wo відносно ступеня стиснення та відношення температур можна побачити, що він має максимум для певного діапазону відношень температур, а саме 0,1 – 0,3. На рис. 5 та рис. 6 зображено отримані залежності.

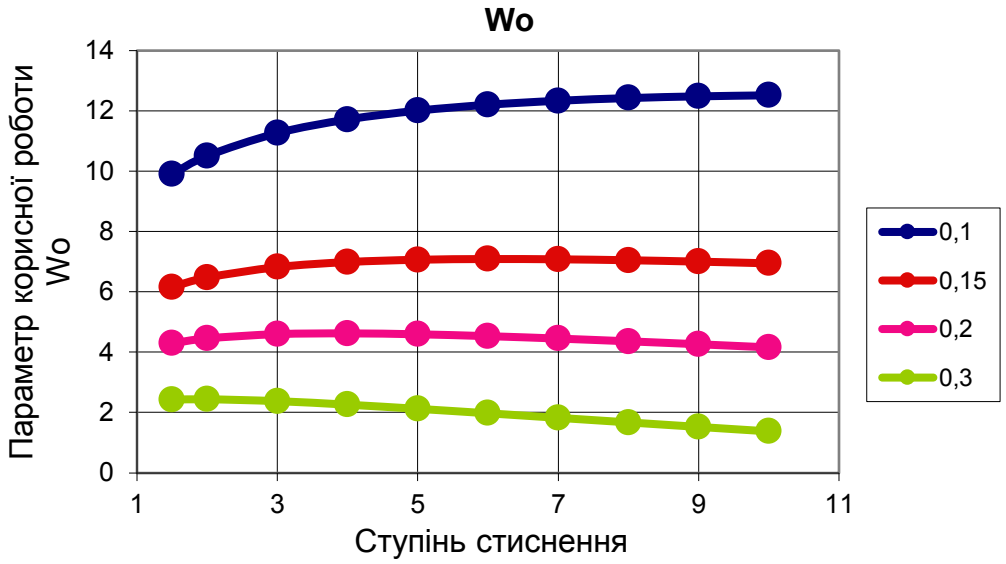


рис.5 – Параметр корисної роботи взалежності від ступеня стиснення та відношення температур

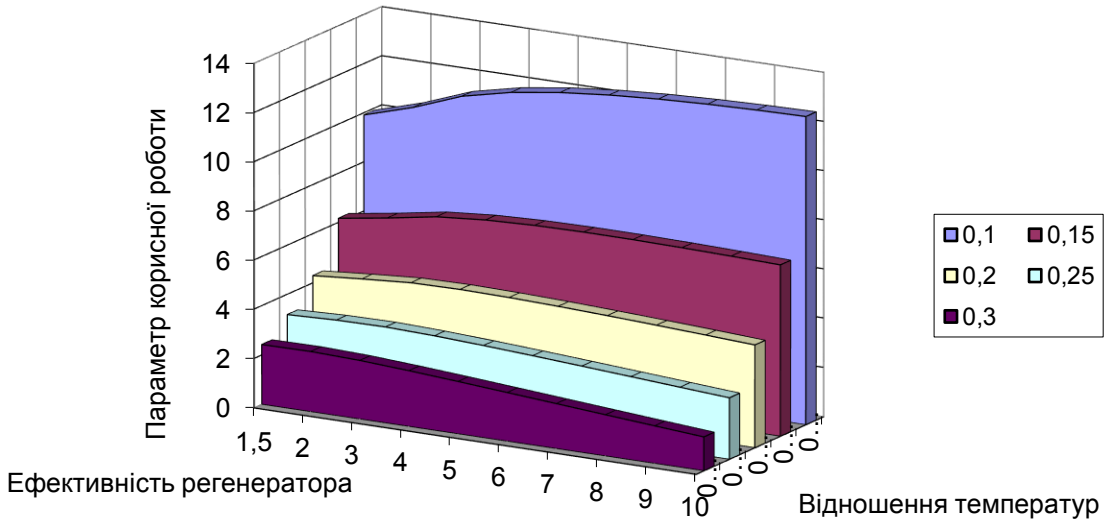
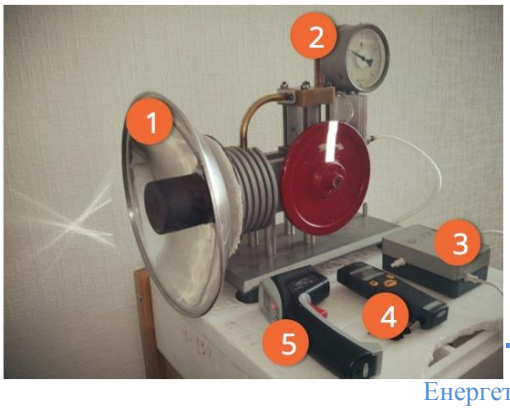


рис.6 – Параметр корисної роботи взалежності від ступеня стиснення та відношення температур у трьохвимірному вигляді

Експерементальна установка на базі УДС-1

Експерементальне дослідження дійсного циклу двигуна Стірлінга проводилося на експерементальній установці, зображеній на рис. 7. Основним елементом стенду є учбово-демонстраційний двигун Стірлінга УДС-1 [3].



1- УДС-1; 2- Мановакуумметр; 3 - Мікрокомпресор АЕН-4;

4 - Інфрачервоний тахометр ST 723; 5 - Інфрачерврний термомтр Hybrid.

Експерементальне дослідження проводилося в двох режимах: за атмосферного середнього тиску у внутрішньому контурі двигуна; за підвищеного середнього тиску внутрішнього контуру (для цього використано мікрокомпресор АЕН-4.

Рис.7 – Експерементальна установка на базі УДС – 1

3.3 Обробка експерементальних даних

На основі установки Стірлінга УДС-1 було знято необхідні параметри для побудови ідикаторних діаграм та розрахунку ККД і параметра корисної роботи Wo. Отримані результати зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 Експерементальні дані

	T_1, К	T_2, К	ω, об/хв	ω*, об/хв	P_{max}, кПа	P_{max}*, кПа	P_{min}, кПа	P_{min}*, кПа	$P_{сер}$, кПа	$P_{сер}$*, кПа	r_v	r_v*	ξ	Wo	Wo*	ККД	ККД*
1	720	329,6	294	268	130	147	90	95	109,3	112,5	0,661	0,71	0,46	1,17	1,18	0,61	0,60
2	739	330,8	381	345	135	149	85	90	112,9	108,33	0,711	0,74	0,45	1,22	1,23	0,61	0,60
3	743	333	426	387	140	151	80	85	112,9	112,92	0,784	0,80	0,45	1,23	1,23	0,59	0,59
4	758	335	440	432	145	153	70	72	104,6	108,75	0,915	0,94	0,44	1,26	1,26	0,57	0,57
5	770	338	501	490	147	155	60	68	106,3	108,33	1,075	1,00	0,44	1,28	1,28	0,55	0,56
6	785	340	533	510	150	156	50	60	105,4	106,67	1,299	1,13	0,43	1,29	1,31	0,52	0,55

** - параметри зняті та обраховані для досліду з компресором*

З таблиці видно, що при підвищенні температури параметр корисної роботи зростає. На рис. 7 наведено дану залежність. На рис. 8 – 9 наведено залежності параметра корисної роботи від відношення температур та відношення максимального та мінімального тиску.

Як видно графіки для досліду з компресором знаходяться вище ніж для досліду без компресора.

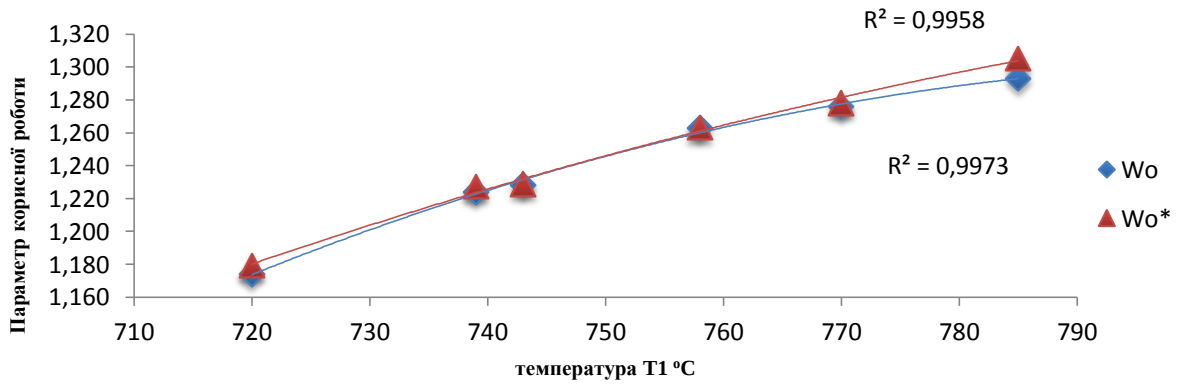


рис.8 – Параметр корисної роботи взалежності від температури T_1

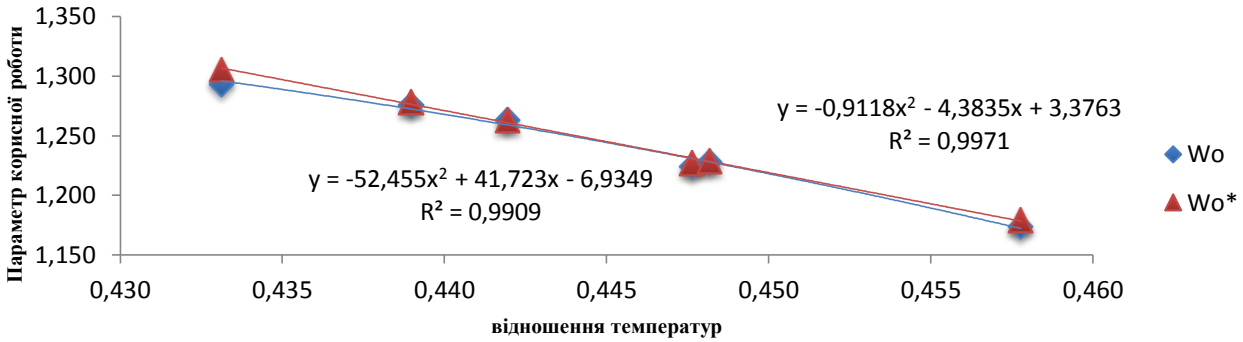


рис.9 – Параметр корисної роботи взалежності від відношення температур ξ

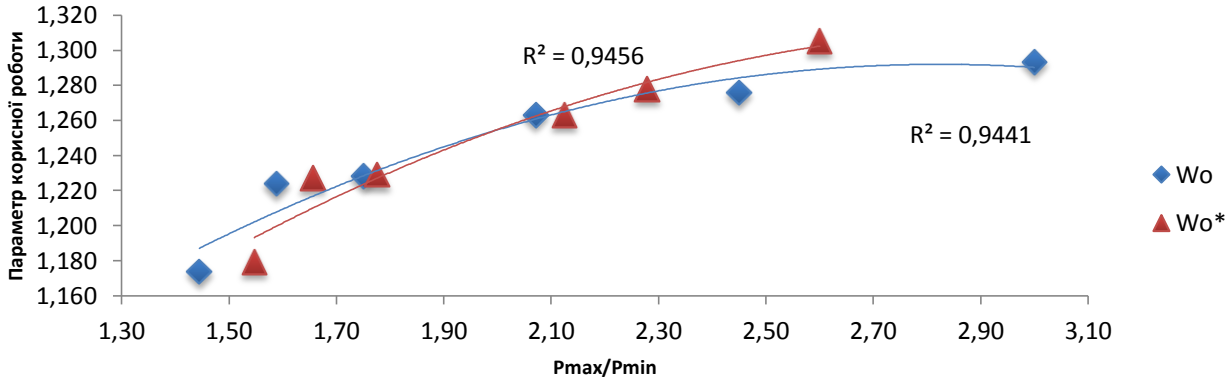


рис.10 – Параметр корисної роботи взалежності від відношення тисків Pmax/Pmin

Графік, зображений на рис. 9 для параметру корисної роботи відносно відношення температури, не має екстремумів в порівнянні з рис. 5. Це пояснюється тим, що маємо інший діапазон експериментальних значень ξ (0,43 ÷ 0,6). Якщо зробити екстраполяцію лінії тренду експерементальних графіків Wo (ξ) на діапазон 0,3 ÷ 0,46 то можна побачити наявність екстремуму, але в іншому діапазоні (ξ ≈ 0, 4), що пояснюється зовсім іншими експериментальними значеннями rv. Отримана залежність зображена на рис.11. На рис. 12 – 14 представлені індикаторні діаграми для трьох з 6 експерементів.

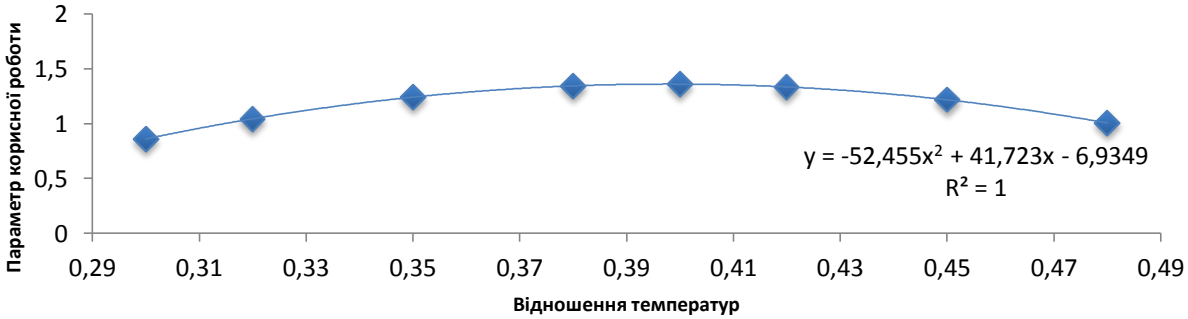
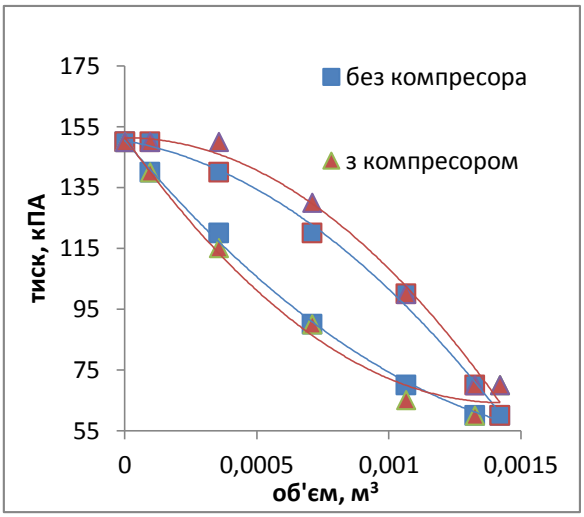
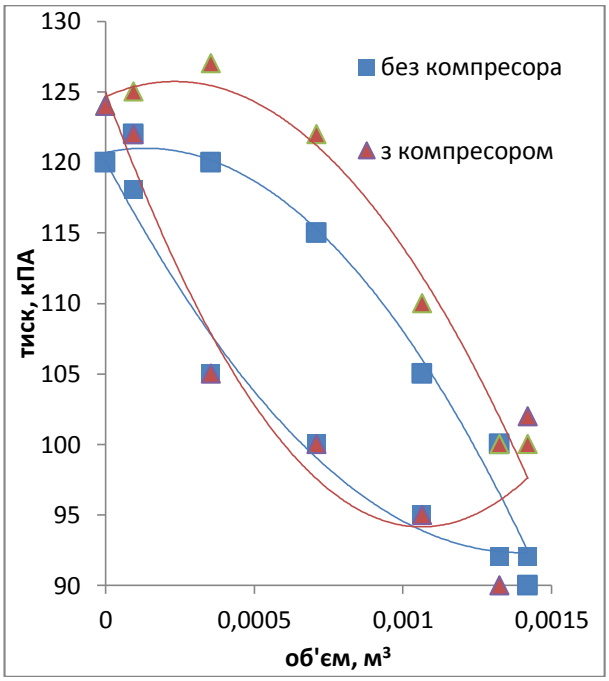


рис.11 – Параметр корисної роботи взалежності від відношення температур при екстраполяції лінії тренду експерементальних графіків





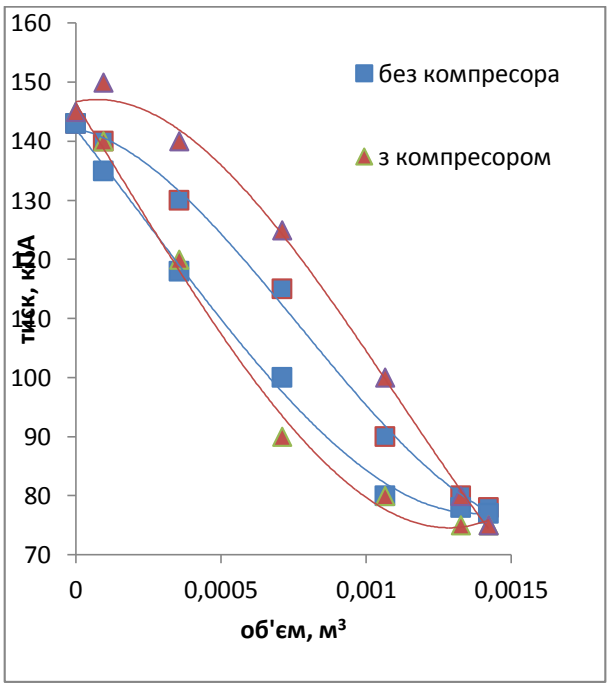


рис.12, 13, 14 – Індикаторні діаграми, отримані в результаті експерименту

Можна зробити висновок, що площа діаграм з компресором дещо більша за площу без

компресора, що свідчить про те, що у випадку з компресором робота циклу є більшою.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є порівняння теоретичних та експериментальних характеристик роботи установки з УДС-1 та експериментальне підтвердження коректності отриманих теоретичних результатів.

Для заданих значень відношення температур ξ та ефективності регенератора є максимально можливий ККД досягається при одній конкретній величині ступеня стиснення r_v.

Параметр роботи Wo залежить від відношення температур ξ і ступеня регенерації r_v та має максимум для певного діапазону відношень температур, а саме $\xi = 0{,}1 \div 0{,}3$.

Індикаторна робота ДС є функцією відношення тисків Pmax/Pmin внутрішнього контуру ДС і зростає з його підвищенням.

Література.

1. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга / Пер. с англ. - М.: Мир, 1986 - 464 с., ил.

2. Уокер Г. Двигатели Стирлинга / Сокр. пер. с англ. Б. В. Сутугина и Н.В. и Ситугина. - М.: Машиностроение, 1985. - 408 с., ил.

3. Долганов К.Е., Лисица В.П. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга УДС-1. // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 28, 33.

УДК 621.31

Базюк Т.М., асистент
Опришко В.П., магістрант
Національний технічний університет Укрвїни
«Київський політехнічний інститут»

ПЕРЕДУМОВИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА В УКРАЇНІ

ПРЕДПОСЫЛКИ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ АКТИВНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В УКРАИНЕ

PRECONDITIONS OF THE PROSUMER CONCEPT REALIZATION IN UKRAINE

Анотація. *В статті розглядається можливість розвитку української енергетики через активізацію поведінки кінцевих споживачів. Аналізуються заходи та основне обладнання яке може сприяти активній поведінці споживачів. Розглядається можливість системної інтеграції джерел розосередженої генерації через формування мікромереж. Аналізуються функції активного споживача, тайого переваги над звичайними споживачами електроенергії. Розглянуто основні перешкоди що стоять на шляху реалізації концепції активного споживача в Україні.*

Ключові слова: *активний споживач, «prosumer», інтелектуальна енергетична система.*

Аннотация. *В статье рассматривается возможность развития украинской энергетики через активизацию поведения конечных потребителей. Анализируются мероприятия и основное оборудование, которое может способствовать активном поведении потребителей. Рассматривается возможность системной интеграции источников рассредоточенной генерации через формирование микросети. Анализируются функции активного потребителя, тайого преимущества над обычными потребителями электроэнергии. Рассмотрены основные препятствия стоящие на пути реализации концепции активного потребителя в Украине.*

Ключевые слова: *активный потребитель, «prosumer», интеллектуальная энергетическая система.*

Abstract. *In article was considered the possibility of development of the Ukrainian power system by activization of end users behavior. Actions and the capital equipment which can promote active behavior of consumers are analyzed. Possibility of system integration of the dispersed generation sources through micronetworks formation is considered. Functions of the active consumer, and his advantages over ordinary consumers of the electric power system are analyzed. The main obstacles implementation of the active consumer concept in Ukraine are investigated.*

Keywords: *active consumer, "prosumer", Smart Grid.*

Вступ. Останнім часом в світі спостерігаються значні зміни, що впливають на систему енергопостачання: зношеність значної частини обладнання генеруючих та мережевих компаній, зниження рівня надійності електропостачання, розвиток нових

технологій (пристрої силової електроніки, джерела розосередженої генерації, накопичувачі електроенергії, інформаційні технології, «інтелектуальні» технології), та інші.

Однією з ключових тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення галузі на основі нової концепції Smart Grid [1,5]. За кордоном ця концепція розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювальна електроенергетична система, що має мережеву топологію і включає в себе як всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі, так і всі види споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу. У рамках концепції Smart Grid різноманітність вимог усіх зацікавлених сторін зводиться до групи ключових вимог електроенергетики XXI століття, сформульованих як: доступність, надійність, економічність, ефективність, екологічність і безпека [2].

Метою роботи є аналіз особливостей активного споживача та оцінка перспектив реалізації концепції активного споживача в Україні.

Основна частина. З метою інтеграції сучасних технологій в галузь, рядом провідних країн світу було прийняте рішення про подальший розвиток на основі концепції Smart Grid.

Основними принципами даної концепції є:

1) інтеграція джерел розосередженої генерації в систему енергопостачання;
2) розвиток та впровадження інтелектуальних систем керування;
3) впровадження новітніх інформаційних технологій;
4) мотивація активної поведінки споживачів.

В англомовній літературі з використовується поняття – «prosumer» – це такий споживач енергії, що є не тільки її пасивним покупцем, але й може деяким чином взаємодіяти з мережею енергопостачання, впливати на її стан та ціни на ринку, в основному – через можливість самостійно генерувати та зберігати енергію. Існує декілька варіантів походження терміну «просюмер». За однією з них цей термін походить від поєднання англійських слів «producer» – виробник та «consumer» – споживач [3], за іншою – поєднання слів «professional» – професіональний та «consumer» – споживач [4].

Одним із базових підходів концепції Smart Grid, необхідних для реалізації основних цінностей зазначеної концепції, є клієнтоорієнтованість, яка полягає в тому, що споживач набуває властивостей активного учасника ринку електроенергії, і самостійно формує вимоги до якості та характеру послуг.

Активізація поведінки споживачів здійснюється через залучення споживача в процес створення певного роду цінностей, як для самого себе, так і для інших учасників, з якими він взаємодіє. Така система створення цінностей для всіх учасників взаємодії трансформувалася в систему механізмів, наборів та заходів, спрямованих на зміну поведінки споживачів, орієнтованих на: 1) підвищення енергоефективності; 2) зниження рівня споживання; 3) керування попитом на енергію; 4) створення конкуренції на роздрібних ринках електроенергії; 5) створення локальних систем енергопостачання; 6) надання додаткових системних послуг. Дана система отримала назву - Demand Side Management (DSM).

На жаль особливість сучасного ринку електроенергії не дозволяє повністю реалізувати потенціал активного споживача. Причиною цього є технологічні особливості ОЕС України, система взаємовідносин на ринку електроенергії, а також

ряд інших причин.

Системна інтеграція активного споживача в систему енергопостачання так і на ринок електроенергії потребує розгляду ряду питань щодо забезпечення процесу переходу від «пасивних» до «активних» споживачів електроенергії.

В інтелектуальній енергетичній системі кінцевий споживач розглядається в якості партнера суб'єктів електроенергетики в частині забезпечення надійної роботи енергосистеми, набуває статусу «активного» і стає одним з основних елементів в енергосистемі.

Під «активністю» мається на увазі можливість виходячи зі своїх потреб оптимізовувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електроенергії та потужності.

Основними особливостями активного споживача є:

1) Наявність відповідних технологічних установок:
   - споживаюче обладнання, здатне до зміни графіку споживання електроенергії;
   - власні джерела розосередженої генерації;
   - накопичувачі електроенергії.
   - лінія зв’язку із іншими споживачами.
2) Здійснення діяльності з керуванням попитом, включає в себе:
   - маневрування енергоспоживанням (зниження навантаження або його перенесення в часі) з метою надання системної послуги, оплачуваної ринком електроенергії, або ґрунтуючись на необхідності мінімізації витрат на електроенергію;
   - керування власною генерацією (визначення ступеня її завантаження, а також обсягу власного споживання від власних джерел, і обсягу електроенергії, що постачається на ринок);
   - керування режимом накопичення електроенергії: накопичення електроенергії, що виробляється власним генеруючим джерелом або накопичення електроенергії, споживаної з енергосистеми;
   - споживання накопиченої електроенергії;
   - продаж накопиченої електроенергії на ринок.

Основними функціями «активного» споживача в електроенергетичній системі є:

- керування власним енергоспоживанням відповідно до необхідності виконання своїх виробничих планів з випуску продукції або забезпечення енергією домогосподарства, оптимізуючи свої витрати на покупку електроенергії із зовнішніх ринків;
- визначення ступеню своєї участі в наданні додаткових послуг, що полягають у наданні керованих активних і реактивних навантажень (потужностей) для управління з боку системного оператора;
- визначення умов завантаження власної потужності (за її наявності), для формування заявки на участь у купівлі/продажі електроенергії на оптовому і роздрібному ринках[7].

Реалізація перерахованих функцій створює можливість до вибору споживачем стратегії енергопостачання:

- самоенергозабезпечення;
- купівля електроенергії з енергосистеми;
- купівля електроенергії від інших споживачів;

– продаж електроенергії в мережу;
– продаж електроенергії іншим споживачам;
– надання додаткових послуг системному оператору.

Нажаль, можливість реалізації функцій «активного» споживача для різних споживачів є обмеженим через цілий ряд причин, що пов'язано, в першу чергу, з малою доступністю та високою вартістю обладнання активного споживача, структурою ринку електроенергії, відсутністю ринку системних послуг, що можуть надаватися споживачем, відсутністю можливості видачі в мережу електроенергії від власної генерації, що спричинено особливістю нашої системи енергопостачання.

Що стосується переваг активного споживання над звичайним, то до таких переваг можна віднести:

– можливості самостійно генерувати енергію, що дозволяє забезпечувати більший рівень самостійності;
– можливість отримувати прибуток від продажу надлишкової енергії;
– оптимізація використання енергії в залежності від миттєвих цін (тобто купівля електроенергії з мережі під час дії низьких цін, та продаж в мережу під час дії високих цін);
– підвищення рівня надійності енергопостачання та якості електроенергії в системі;
– пристосування до графіка добового споживання через використання систем керування навантаженням, що дозволяє без створення незручностей для споживачів та суттєвої зміни графіка споживання позитивно впливати на мережу;
– вирівнювання та оптимізація графіка споживання.

До основних перешкод реалізації стратегії активного споживача можна віднести:

- проблеми обліку та вимірювання;
- складність інтеграції власної генерації споживачів та іншого обладнання активного споживача в мережу;
- недостатня кількість економічних стимулів для активної поведінки споживачів;
- необхідність створення системи узгодження та координації дій активних споживачів.

Висновки. Створення нового ринку енергії, орієнтованого на активного споживача, може принести численні прибутки, як для кінцевих користувачів, так і для суспільства: зменшення споживачів в мережах, які знаходяться далеко від генеруючих потужностей, та, як наслідок, зменшення втрат в мережах; більш повне та прозоре інформування споживачів про стан споживання та плату за спожиту електроенергію; прибуткова участь на ринку електроенергії через компанії-агрегатори, (тобто компанії, що займаються керуванням потоками енергії, отриманої від джерел розосередженої генерації та комплексів активних споживачів); більш ефективне споживання енергії; заощадження електроенергії [8].

Для забезпечення більш ефективної інтеграції розосередженої генерації та активних споживачів у мережу переваги для споживачів та мережевої компанії повинні бути очевидними та відповідати їхнім очікуванням.

Передумови для реалізації стратегії активного споживача в Україні існують, для цього потрібно зробити хоча б перші кроки в цьому напрямку та прийняти концепцію, розробити стратегію, а також відповідні програми розвитку та популяризації даного питання серед споживачів. Також актуальними є розробка класифікації активних споживачів за галузями та відповідних методик оцінки

потенціалу активної поведінки у споживачів.

Список використаної літератури.

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України / Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. вип. Ч. 1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 5–20.
2. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009. 2011.
3. http://dictionary.cambridge.org/dictionary/business-english/prosumer
4. http://www.forbes.com/sites/work-in-progress/2010/07/03/the-shift-from-consumers-to-prosumers/
5. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / К.: Освіта України, 2007. – 464 с.
6. I. Shandurkova, B. A. Bremdal, R. Bacher, S. Ottesen Andreas Nilsen. A Prosumer Oriented Energy Market. Developments and future outlooks for Smart Grid oriented energy markets, NCE Smart Energy Markets, Halden, 2012.
7. И.О.Волкова. Активный потребитель в интеллектуальной энергетике / Волкова И.О., Сальникова Е.А., Шувалова Д.Г. // Академия энергетики. – 2011. – № 2 (40) – С. 50-57.
8. С.П. Денисюк. Активний споживач електроенергії. Проблеми та перспективи його функціонування в Україні / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №11.

УДК 621.31

Базюк Т.М., *асистент*
Огієвич О.М., магістант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОІНФРАСТРУКТУРИ ПІДПРИЄМСТВА

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

FEATURES EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF ENERGY INFRASTRUCTURE COMPANIES

Анотація. *У роботі розглянуто поняття енергоефективності та енергозбереження. Показано, що саме енергоємність є характеристикою енергоефективності для українських підприємств. Розглянуто специфічні особливості оцінки енергоефективності для енергоінфраструктури. Також наведено характеристику показників і критеріїв енергофективності, в тому числі критеріального та інтегрального. Зроблено висновки щодо недосконалості системи показників та наведено рекомендації.*

Ключові слова: *енергоефективність, енергозбереження, енергоінфраструктура, енергоресурси, енергоємність, інтегральний показник, критеріальний показник, енергоспоживання, енергоносій, планування, стимулювання, контроль.*

Аннотация. *В работе рассмотрено понятие энергоэффективности и энергосбережения. Показано, что именно энергоемкость является характеристикой энергоэффективности для украинских предприятий. Рассмотрены специфические особенности оценки энергоэффективности для энергоинфраструктуры. Также приведена характеристика показателей и критериев енергофективности, в том числе критериального и интегрального. Сделаны выводы о несовершенстве системы показателей и приведены рекомендации.*

Ключевые слова: *энергоэффективность, энергосбережение, энергоинфраструктура, энергоресурсы, энергоемкость, интегральный показатель, критериальных показатель, энергопотребления, энергоноситель, планирование, стимулирование, контроль.*

Abstract. *The paper describes the concept of energy efficiency and conservation. It is shown that it is a characteristic energy efficiency for Ukrainian companies. Consider specific features for efficiency evaluation enerhoinfrastruktury. Also, the characteristics and performance criteria enerhofektyvnosti, including criteria and integral. The conclusions about the inadequacies of the system performance and the recommendations.*

Keywords: *energy efficiency, energy conservation, enerhoinfrastruktura, energy, energy, integral indicator criterial index, energy consumption, energy resource planning, stimulus control.*

Вступ. Останнім часом збільшення енергоефективності все частіше згадується, як одна з необхідних умов модернізації економіки. Вважається, що енергоефективність виробничих компаній і сфери ЖКХ є вкрай низькою, і в підтвердження даного тезису періодично проводяться ті чи інші оцінки

енергоефективності інколи кардинально відрізняються один від одного. Причиною таких відмінностей саме в різних методиках оцінки енергоефективності, оскільки немає єдиного підходу до оцінки енерговитрат і до оцінки позитивного результату, що виник за рахунок цих витрат.

Метою роботи є визначення основних особливостей проведення оцінки енергоефективності підприємства.

Основна частина. Покращення ефективності використання енергії є найбільш швидким і найменш дорогим шляхом сприяння енергетичній безпеці держави, охороні довкілля та стимулювання якісних зрушень у національній економіці. Це вимагає системної роботи, сконцентрованих ринкових сигналів, якими б забезпечувалися стимули ефективних дій, прискореного впровадження нових технологій, забезпечення мінімальних стандартів енергоспоживання апаратів, освітлення, обладнання та будівельних "енергетичних" норм.

Під поняттям «енергоефективності» національної економіки розуміють якісний стан економіки, що забезпечує раціональність та ефективність використання ПЕР відповідно до існуючого рівня економічного та культурного розвитку суспільства, розвитку техніки та технології, панівного типу світогляду суспільства та пріоритетів розвитку країни [1].Одним з найбільш простих прикладів збільшення енергоефективності є енергозбереження, тобто зменшення кількості витраченої енергії при збереженні об’єму і якості зробленої роботи чи продукції, що випускається.

З огляду на відмінність понять «енергоефективності» та «енергозбереження» слід зазначити, що поняття «енергоефективність» відображає якісну характеристику національної економіки, а поняття «енергозбереження» — результативність дій зі зниження кількісних параметрів взаємодії (енергоспоживання) елементів системного представлення національної економіки.

Для більшості українських підприємств основним індикатором енергоефективності служить енергоємність - це відношення енергоресурсів, фактично витрачених на виробництво продукції (послуг) до кількості виробленої продукції в прийнятих одиницях виміру. Визначення даного показника як результуючого явно недостатньо для повної оцінки енергоефективності енергоінфраструктури підприємства. В області оцінки енергоефективності кожне підприємство має специфічні особливості. У даному контексті необхідно зупинити увагу на одній з них. Якщо розглядати функціонування енергоінфраструктури як фізичного об'єкта в динаміці і пов'язати цей процес з динамікою економічного функціонування підприємства, то можна провести цільову границю енергоефективності об'єкта в залежності від стадії життєвого циклу.

Набір показників енергоефективності включає узагальнюючий і окремі показники [2], які виражають ступінь ефективності застосування окремих видів ресурсів: продуктивності праці, фондовіддачі, матеріаломісткості і енергоємність виробництва. В якості узагальнюючого показника доцільно використовувати економічний критерійний показник, який в інтегрованому вигляді відображає стан управління енергоефективністю енергоінфраструктури.

$$E_E = \max {}^{CF}/_{ZE}$$

де E_E– узагальнюючий показник енергоефективності енергоінфраструктури;

CF – матеріальний потік;

ZE – сумарні витрати енергоресурсів і енергоносіїв.

Окремі або факторні показники визначені в розрізі:

- енергоінфраструктури підприємства в цілому;
- окремих енергоносіїв;
- енергоспоживаючих процесів різняться формою кінцевої енергії використовуваної в технологічних установках;
- окремих видів енергоспоживаючих установок.

Не існує реальної можливості строго сформулювати критерій економічної ефективності для оцінки енергоефективності енергоінфраструктури. Будь-яка версія формулювання критерію в стилі системи показників і, тим більше, інтегрального показника є лише приблизною характеристикою [3]. Тому, для оцінки ефективності енергоінфраструктури повинна застосовуватися, як система показників, так і інтегральний показник. Необхідно також виділити показники характеризують енергоінфраструктури в цілому, найбільш повно врахувати можливості їх зміни, а також результати аналізу ефективності використання окремих видів витрат і виробничих ресурсів. Необхідність такого підходу визначається вимогами до показників з боку системи управління енергоінфраструктури.

Інтегральний показник об'єднує різноспрямовані часткові показники і являє скомпенсований ефект. Ясно, що для цілей оцінки цього показника недостатньо, так як управління ефективністю енергоінфраструктури здійснюється через систему окремих критеріїв, вони виконують інформаційну оціночну та стимулюючу функції. Функції системи вимірювання - це і є в самому абстрактному вигляді вимоги до системи показників.

Введення вимірювання і оцінки енергоефективності підприємствана різних рівнях– це необхідна частина системи управління енергоінфраструктурою підприємства, вони виконують важливі функції і є базовим елементом аналізу її ефективності.

Висновки. Будь-яка система показників не досконала, про її недоліки можна судити тільки виходячи з практичного застосування, необхідно передбачати її розвиток і зміни. З урахуванням цього, МЕА [4] сформульовано вимоги до системи показників: забезпечення ефективного керування підвищенням енергоефективності; відображення реального співвідношення між кінцевими результатами і витратами на їх досягнення; єдність показників для аналізу планування, стимулювання, контролю; врахування особливостей галузі;зручність для розрахунків: вихідна інформація не повинна виходити за рамки статистичної звітності.

Набір показників, що включаються в систему оцінки енергоефективності, для кожного підприємства необхідно уточнювати, беручи до уваги енергоємність продукції, масштаби виробництва, а також особливості енергоінфраструктури і технологічних процесів, що допускають або жорстко регламентують застосування альтернативних джерел енергії.

Використані джерела.

1.Паливно-енргетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу.

2. НАЕР № 35 від 13.03.08 «Про запровадження системи показників ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів»

3. В. В. Тиматков, Проблемы оценки энергоэффективности корпораций и технологий№ 2 [46] апрель 2012 www.energoacademy.ru

4. Kanako Tanaka.Assessing Measures of Energy Efficiency Performance and their Applicationin Industry // http://www.iea.org/papers/2008/JPRG_Info_Paper.pdf

РОЗДІЛ Е

ГЕОТЕХНОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

В.В. Павловський

ПРИРОДА І ЛЮДИНА ЯК ЛІРИЧНА ДОМІНАНТА У ТВОРАХ Т.ШЕВЧЕНКА (з нагоди 200-річчя)

В статті розглядаються актуальні питання вивчення духовної спадщини Т.Г.Шевченка, його поетичної і художньої творчості. Обгрунтовуються особливості творчого світосприйняття поетом людини і природи, їх органічної єдності та поетичного відображення у змісті його віршів і художніх творів.

Ключові слова: творчість Т.Шевченка, поезія і образотворче мистецтво, природа і людина у творах Кобзаря, гуманістичні заповіді поета

ПРИРОДА И ЧЕЛОВЕК КАК ЛИРИЧЕСКАЯ ДОМИНАНТА В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ Т.ШЕВЧЕНКА (ПО СЛУЧАЮ 200-летия)

В статье рассматриваются актуальные вопроси изучения духовного наследия Т.Шевченка, его поетического и художественного творчества. Обьясняются особенности творческого восприятия поетом мира природы и человека, их органического единства и поетического отражения в содержании его стихов и художественных призведений.

Ключевые слова: творчество Т.Шевченко, поэзия и художественное творчество, природа и человек у произведениях Кобзаря, гуманистические завещания поета.

NATURE AND HUMAN BEING AS LYRICAL DOMINANT IN WORKS OF T. SHEVCHENCO (ON THE 200 th ANNIVERSARY)

This article deals with topical issues of studying the spiritual heritage of T. Shevchenko, and his poetical and artistic creative work. It explains the peculiarities of creative poet's perception of the natural world and human being, their organic unity and poetic reflection in his verses and works of art.

Key words: creative work of T. Shevchenko, poetry and painting, nature and human being in Kobzar's works of art, humanistic will of poet.

Вступ. Згідно з рекомендаціями ЮНЕСКО про внесення ювілею 200-річчя від дня народження Т.Г.Шевченка до Календаря пам'ятних дат світу, оголошено указ Президента України про святкування у 2014 році – ювілейної дати з дня народження великого Кобзаря. Український народ та світова громадськість мають нагоду вдумливо перечитати його твори, переглянути його художні роботи, дослідити історичне значення його творчості, докласти багато зусиль до популяризації спадщини Тараса Григоровича, не лише в Україні, а й за її межами.

Мета і завдання цієї статі – розкрити зміст духовної спадщини Кобзаря, особливості світосприйняття поетом природи і людини та їх відображення у віршах та художніх творах, їх єдності як ліричної домінанти його творчості; нагадати і вшанувати творчі пошуки поета і художника, які відображені в його творах, документах, матеріалах та у спогадах його сучасників; поінформувати студентську молодь про патріотичні

заповіді поета, який в серцях українців був і остається символом епохи і совістю нації; запропонувати студентській молоді прийняти участь у Всеукраїнському Шевченківському форумі «Свою Україну любіть» та запросити до участі в заходах по святкуванню ювілею Кобзаря студентську молодь нашого університету.

Для українців Тарас Григорович Шевченко – велична постать: Людина – Поет - Художник. Дуже поетично про Кобзаря висловився Іван Франко. «Він був сином мужика і став володарем у царстві духа. Він був кріпаком і став велетнем у царстві людської культури. Найкращий і найцінніший скарб доля дала йому лише по смерті – невмирущу славу і все розквітаючу радість, яку в мільйонів людських сердець все наново збуджуватимуть його твори».

Відомі патріотичні слова Кобзаря «Свою Україну любіть, Любіть її во время люте, В останню тяжкую минуту, За неї Господа моліть! - це пророчі слова поета, які звернені до усіх поколінь українців в усі дні й часи. Його слово закликало до боротьби й сповнювало серця українців шаною до рідної землі, формувало думки про історичну місію української мови і нації. Своєю багатогранною творчою працею, передусім поетичною, Т.Шевченко, і в наш час, продовжує відкривати глибини свого таланту для людей у їх прагненні продовжити формування сучасної української держави і суспільства.

Поетична і художня спадщина українського народного поета і художника викладена у ювілейному академічному виданні у 12 книгах (6 томів - про поетичні твори та додатки; 6 томів - про образотворче мистецтво та додатки). У них органічно поєднано багатоманітність його природного і духовного творчого світосприйняття, яке має глибинний життєвий і творчий підтекст в усіх його творах. В дитинстві і в зрілому віці він уважно спостерігав за мінливим світом природи, який з часом поставав у його творах у різноманітних, часто незвичних писемних і художніх ракурсах.

Світ природи у перших його творах виділяється у віршах уже у надрукованому при житті виданні «Кобзаря» (1840 р.), в якому було вміщено вісім поезій, в тому числі цей світ природи відображений у самих назвах: «Тополя», «Тарасова ніч». В кожній з цих поезій природне і духовне оживає в словах-думах : «Кругом поле, як те море широко синіє, чумак іде подивиться та й голову схилить» ; «Встає хмара з-за Лиману, А другая з поля; зажурилась Україна – така її доля». «Кобзар» належить до найулюбленіших книг народу усіх часів, він наскрізь напоєний прагненням волі, передчуттям її неминучості, вірою в те, що людина ніколи не змириться з неволею і безправ'ям.

Світ людини у поєднанні з природою рідного краю – головний літературний образ героїчних і ліричних поезій Тараса Шевченка. У «Щоденнику» від 17.06.1857 року Т.Шевченко записує: «Мила самота! Нічого не може бути в житті солодше, чарівніше за самоту, особливо перед лицем усміхненої, квітучої красуні – Матері-Природи. Під її солодкою чарівливою принадою людина мимохідь сама в себе заглиблюється й «видить бога на землі». В назвах віршованих творів, які внесені до «Кобзаря» (1980 р.), знаходимо поетизовані описи природного світу: «Барвінок цвів і зеленів …»; «Веселе сонечко ховалось»; «Вітер з гаєм розмовляє…»; «Вітре буйний, вітре буйний!»; «Гори мої високії»; «І небо невмите, і заспані хвилі»; «Не гріє сонце на чужині»; «Садок вишневий коло хати» та багато інших (приблизно п’ятдесят п’ять найменувань поетичних назв віршів про природу).

В поезіях, що входять до усіх видань «Кобзаря», і складались на тернистих дорогах поетового життя, писались вірші то в мандрах, то в казаметах, занотувались при світлі білих ночей Півночі, в пісках закаспійських пустель, під самотнім смутком вигнання. Його поезії написані поза межами рідного краю, відчувається у них світлий образ Дніпра і манить його до себе синя далечінь українських степів. В умовах цензури, на випадкових аркушиках

паперу, та в захалявних книжечках поетова рука покрадьки записувала рядки у віршах, що з часом стануть близькими для народу, донесуть до нього, крізь усі перепони, мудрі і вічні слова.

Звертає на себе увагу у творах яскраво висловлене почуття поета – ясність і прозорість поетичного вірша і малюнка, щирість в освідченні улюбленій природі і його землякам. Поетична мініатюра: «Поставлю хату і кімнату…» вражає яскраво вираженим почуттям єдності поета з рідною землею. «…садок-райочок насаджу, посиджу я і походжу в своїй маленькій благодаті…в садочку буду спочивати; присняться діточки мені, веселая присниться мати…». В цьому поетичному вірші емоційно і щиро висловлена мрія Тараса про особисте бажання і сподівання на людського щастя.

У поемі «Гайдамаки» поет висловлює радість весняного пробудження життя: «Встала й весна, Чорну землю сонну розбудила, Уквітчала її рястом, Барвінком укрила…». Велич весняного пробудження у всій величі і красі поет передав у вірші: «Садок вишневий коло хати. Хрущі над вишнями гудуть, Плугатарі з плугами йдуть, Ідуть, співаючи, дівчата, А матері вечерять ждуть». Поет також художньо оспівував перехід від весни до літа, коли квітне калина: «Зацвіла в долині, Червона калина, Ніби засміялась Дівчина-дитина..». Українська природа ніби намальована поетом в поемі «Слепая»: Осенний полдень, полдень ясный Родимой, милой той земли… И лист увядший, опадая, Уныло грустное шептал, О здешней жизни человеку…». У іншому вірші поет описує одвічну зміну пір року, вкладаючи у рядки зміст про швидкоплинність і мінливість життя: «Ой діброво – темний гаю! Тебе одягаю, Тричі на рік… Зеленим покровом… Аж сам собі дивуєшся, На свою діброву…».

У вірші «Заповіт» тема єдності людини і природи також виразно прозвучала: «Як умру, то поховайте…на Вкраїні милій, Щоб лани широкополі, І Дніпро, і кручі Було видно, було чути, Як реве ревучий». Як трагічний мотив завершення людського життя, нескореності людського духу у цьому вірші звучить: «І мене в сем'ї великій, В сем'ї вольній, новій, Не забудьте пом'янути Незлим тихим словом».

Важливо відмітити, що поет у своїх творах послідовно кожне явище природнього життя розглядає очима народу, людини, з погляду народної моралі. Звичайні людські думки про життя набирають у віршах урочистого і закличного звучання: « І вам слава, сині гори, Кригою окуті, І вам, лицарі великі, Богом не забуті. Борітися-поборете, Вам бог помогає!».

Тарас Шевченко любив малювати завжди і всюди, замальовував краєвиди, портрети, мав заслужену повагу талановитого портретиста, доброго ілюстратора і декоратора; займався скульптурою, різьбою по міді, отримав звання академіка-гравера, визнаний першим офортистом Росії. Природа рідного краю повно і яскраво висвітлена митцем у тисяча п'ятисот різнопланових художніх творах. Він любив і шанував природу, уважно вивчав її, допомагав закладати сад і висаджувати кущі і квіти. Світ природи яскраво відображений ним у назвах художніх картин, зарисовок, сепій які, наприклад, внесені до восьмого тому «Шевченкіани» (2013 р.): живопису і графіки (двадцять одна пейзажна зарисовка), у творах з гравюрами (чотири зарисовки), у творах в техніці сепій (шістнадцять зарисовок).

Наділений тонким глибоким сприйняттям краси навколишнього світу, Т.Шевченко талановито відтворив природу України на своїх полотнах. На офорті «Видубицький монастир» (1844 р.) зображена Михайлівська церква на високій дніпровській кручі в оточенні величних, злегка покритих осінньою позолотою, дерев. На передньому плані художник зобразив рибалок та човни, на яких перевозять людей на лівий берег Дніпра, підкресливши нерозривний зв'язок природи й людини. Поетичний образ української осені доповнює акварель Шевченка «Почаєвська лавра з півдня», на якій величний храм та стрункий ряд розкішних лип обабіч його мурів постають в оточенні сонячного світла.

Художник в метафоричній формі вміло зображує на полотнах величні дубрави і гаї на

офортах і малюнках: «Дерево» (1845 р.), «Дуб» (1859 р.), «Вечір в Альбано поблизу Рима (ліс)» (1859 р.). та багато інших. Поетизація природних реалій рідного краю та за його межами досягла у живописних творах естетичної довершеності. Художні пейзажі митця, просторові образи Дніпра, степу, поля, моря, нерозривно пов'язані з історичною долею народу, що споконвіку заселяє цю землю. Якщо переглянути художні твори митця, то можна побачити різні пори року та картини їх змін в природі, які прекрасні на цих офортах і малюнках. Тому кожен, хто відкриє для себе і художній дар великого Кобзаря, відчує для себе поетичний світ та єдність його природніх і людських образів.

Висновки. У поетичних і художніх творах Т. Шевченка накопичувався і збагачувався духовний набуток усіх поколінь українського народу, в якому поєднувався особистий, народний і вселюдський досвід та підтверджувалась історична правда про його здобутки і поразки народу. Культура його особистого світосприйняття та розуміння життя людей, їх єдності з природою, її поетичне і художнє оспівування, нагадує усім сьогоднішнім і майбутнім поколінням про здатність людини в усі часи відчувати себе частиною природи та берегти і захищати навколишній світ. Тому вивчаючи і сприймаючи духовну спадщину Кобзаря, важливо кожній людині зрозуміти і оцінити велич **світу природи ,** духовно поєднатись з ним, органічно пристосуватися до нього, зберігти довкілля для себе та для майбутніх поколінь.

Рудюк Н.А.

ВПЛИВ НАРКЕВИЦЬКОГО ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ НА РІЧКУ МШАНЕЦЬ

ВЛИЯНИЕ НАРКЕВИЦКОГО САХАРНОГО ЗАВОДА НА РЕКУ МШАНЕЦ

EFFECT NARKEVYTSKOHO SUGAR FACTORIES ON RIVER MSHANETS

Ключові слова : гранично допустимі скиди, зворотні води, стічні води, теплообмінні зворотні води.

Ключевые слова: предельно допустимые сбросы, обратные воды, сточные воды, теплообменные обратные воды.

Keywords: maximum allowable discharge, reverse water, waste water, exchanging backlinks water.

Анотація. Усі водні об’єкти на території України є національним надбанням народу України, однією із природних основ його економічного розвитку і соціального добробуту. Водні ресурси забезпечують існування людей, тваринного і рослинного світу і є обмеженими та уразливими природними об’єктами. В умовах нарощування антропогенних навантажень на природне середовище, розвитку суспільного виробництва і зростання матеріальних потреб виникає необхідність розробки і додержання особливих правил користування водними ресурсами, раціонального їх використання та екологічно спрямованого захисту.

Аннотация. Все водные объекты на территории Украины является национальным достоянием народа Украины , одной из природных основ его экономического развития и социального благосостояния. Водные ресурсы обеспечивают существование людей , животного и растительного мира и являются ограниченными и уязвимыми природными объектами . В условиях наращивания антропогенных нагрузок на природную среду , развития общественного производства и роста материальных потребностей возникает необходимость разработки и соблюдения особых правил пользования водными ресурсами, рационального их использования и экологически направленной защиты .

Abstract. All water bodies in the territory of Ukraine is the national property of the people of Ukraine, one of the natural foundations of its economic development and social welfare. Water

resources ensure that there are people, flora and fauna and is a limited and fragile natural objects. In terms of increasing anthropogenic pressures on the environment , development and growth of social production material requirements is necessary to the development and adherence to specific rules for use of water resources , rational use and protection of ecologically oriented .

Вступ. Надзвичайно актуальною проблемою нині є екологічна стан. Він торкається кожного мешканця планети. Від раціонального відношення людства до природи залежить його майбутнє. Вплив людини на навколишнє середовище стає все більш помітним. Дослідження характеру цього впливу, врахування кількісних та якісних змін у середовищі, аналіз відповідних реакцій природи у всій її різноманітності − головний напрям у вирішенні проблеми охорони природного середовища. Наприкінці XX ст. збереження середовища проживання людини стало однією з найважливіших проблем людства. Різке зростання екологічних проблем нині властиве більшості країн світу. Його обумовили нинішній рівень науково-технологічного прогресу та стрімке збільшення населення на земній кулі, особливо у другій половині XX ст.

Забруднення, порушення екологічної рівноваги безпосередньо загрожують життю на нашій планеті та ведуть до знищення навколишньої природи. Ми забруднюємо повітря і воду, живемо в умовах шуму і бруду, якого би не потерпіла жодна тварина.

Проблема охорони навколишнього середовища в тому числі водних ресурсів, останнім часом набула великомасштабного характеру. В даний час технічний рівень дозволяє забезпечити очистку зворотних вод любого рівня забрудненості до любого рівня чистоти. Питання лише в економічній доцільності такого рівня очистки, так як частіше буває більш економічно закрити чи перепрофілювати виробництво, ніж здійснити очистку його зворотних вод. В кінцевому результаті необхідно орієнтуватися на розвиток безвідходних та маловідходних технологій, як самий радикальний метод охорони навколишнього середовища. Але в даний час відмовлятися від розвитку та вдосконалення методів очистки недоцільно так як вони грають важливу роль в охороні водних ресурсів.

Найближчим часом скид зворотних вод у водні об’єкти буде продовжуватись. Важливим моментом являється регіональне регулювання правових відносин з метою забезпечення збереження, науково обґрунтованого, раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення, засмічення та вичерпання, запобігання шкідливим діям вод та ліквідації їх наслідків, поліпшення стану водних об’єктів а також охорони прав підприємств, установ,

організацій і громадян на водокористування.

Завдання :

1. Ознайомитись із фізико – географічними умови с.м.т. Наркевичі Хмельницької області , Волочиського району.
2. Вивчити чинники формування хімічного складу природних вод.
3. Проаналізувати вплив підприємства цукропереробної галузі на річку Мшанець.
4. Охарактеризувати вплив теплового забруднення на річку Мшанець.

Мети дослідження.Вивчиння вплив діяльності промислового підприємства (на прикладі Наркевицького цукрового заводу) на водний об'єкт, виявлення основних забруднюючих речовин та здійснення їх аналізу,а також розрахунок гранично допустимого скиду (ГДС) забруднюючих речовин теплообмінних надлишкових вод 1-ї категорій в р.Мшанець.

Результати дослідження. Перелік показників складу і властивостей вод, що контролюється,визначається водокористувачем згідно з дозволом на спеціальне водокористування і нормативами гранично - допустимого скидання забруднюючих речовин з урахуванням особливостей технології виробництва.

Водокористувачі подають дані про склад і властивості стічних вод та води водних об'єктів до місцевих органів Держводгоспу та Мінекоресурсів за формами (2ТП"водгосп") і в терміни визначені Мінстатистики України.

Згідно з чинним законодавством водокористувач несе відповідальність за повноту і достовірність інформації про склад і обсяг стічних вод, а також про вплив скидання вод на стан водного об'єкту, в який скидаються стічні води.

Контроль виконується по повній програмі та скороченій програмі.

Величина (ГДС) визначається як добуток максимальної годинної витрати зворотних вод в м.^{3}/год., на допустиму концентрацію забруднюючої речовини.

ТОВ «Волочиськ-Агро» ВП Наркевицький цукровий завод, скидає надлишкові теплообмінні води в р.Мшанець.

При визначенні ГДС речовин із теплообмінними зворотними водами вимоги до їх складу встановлюються у вигляді допустимих прирощень до концентрацій усіх речовин у воді, що забираються (використовуються).

$ГДС_{Зав.реч.}$= 3565,79 г/год./ 80,13 $м^3$/год. =44,50 мг/л

$ГДС_{БСКповне}$= 1506,44 г/год. / 80,13 $м^3$/год. =18,79 мг/л

$ГДС_{Мінер.}$= 80130 г/год. /80,13 $м^3$/год. =1000 мг/л

$ГДС_{Азот\ амонійний}$= 810,92 г/год. /80,13 $м^3$/год. =10,12 мг/л

$ГДС_{Нітрити}$= 17,23 г/год. /80,13 $м^3$/год. =0,215 мг/л

$ГДС_{Нітрати}$= 3205,2 г/год. /80,13 $м^3$/год. =40 мг/л

$ГДС_{Хлориди}$= 24039 г/год. /80,13 $м^3$/год. =300 мг/л

$ГДС_{Сульфати}$= 8013 г/год. /80,13 $м^3$/год. =1000 мг/л

$ГДС_{СПАР}$= 40,07 г/год. /80,13 $м^3$/год. =0,500 мг/л

$ГДС_{ХСК}$= 5448,8 г/год. /80,13 $м^3$/год. =67,99 мг/л

$ГДС_{Фосфати}$= 312,51 г/год. /80,13 $м^3$/год. =3,90 мг/л

$ГДС_{Залізо\ загальне}$= 24,04 г/год. /80,13 $м^3$/год. =0,30 мг/л

$ГДС_{Нафтопродукти}$= 9,62 г/год. /80,13 $м^3$/год. =0,12 мг/л

Аналіз лабораторних даних показує, що надлишок зворотних вод 1-ї категорії, які скидаються в р. Мшанець по таким інгредієнтам, як завислі речовини, БСКповне, азот амонійний не відповідають величинам для скиду у водний об'єкт рибогосподарського призначення, тому для досягнення нормативів ГДС необхідно виконати водоохоронні заходи.

Висновки. В результаті скиду стічних вод утворюються : інтенсивно забрудненні стічні води ІІІ – ї категорії, незначна частина помітно забруднених виробничих чи господарсько – побутових стічних вод підприємства і прилеглих до нього житлово – комунальних об’єкті селища. Зворотні води містять: завислі речовини, хлориди, сульфати, амонійні солі, нітрати, нітрити, фосфати, залізо.

Аналіз лабораторних даних показує, що надлишок зворотних вод 1-ї категорії, які скидаються в р. Мшанець по таким інгредієнтам, як завислі речовини, БСКповне, азот амонійний не відповідають величинам для скиду у водний об'єкт рибогосподарського призначення, тому для досягнення нормативів ГДС необхідно виконати водоохоронні заходи.

Література. Бойчук Ю.Д. Екологія і охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. / Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. – Суми, 2002. - 284 с.

Заставецька О.В. Географія Хмельницької області / Заставецька О.В., Заставецький Б.І., Дітчук І.Л. – Тернопіль, 1995

Сухарев С. М. Техноекологія та охорона навколишнього середовища. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. 2-ге видання./С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак, О. Ю. Сухарева. – Львів: “Новий світ-2000”, 2005. – 256 с. – ISBN 966-7827-34-8.

Наказ міністра екології та природних ресурсів України : № 116 від 15.12.1994 р. «Про затвердження Інструкції про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами».

УДК 662.994

М.О. Мельничук (студентка ІЕЕ НТУУ «КПІ»)
О.І. Висоцький (асистент кафедри інженерної екології НТУУ «КПІ»)

ДІЯЛЬНІСТЬ ТА ВПЛИВ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ЕКОЛОГІЧНУ СИТУАЦІЮ В МІСТІ (ВАТ «ЧЕРВОНИЙ МЕТАЛІСТ», М.КОНОТОП)

Розглянуто вплив на навколишнє середовище діяльності машинобудівного підприємства. Наведена характеристика порушень компонентів природи, спричинених машинобудівною промисловістю. Обґрунтовані можливі негативні впливи на здоров'я людей.

Ключові слова: *машинобудування, атмосфера, ґрунтовий покрив, водні об'єкти, забруднюючі речовини, екологічна проблема.*

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ВЛИЯНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ГОРОДЕ (ОАО «КРАСНЫЙ МЕТАЛЛИСТ», Г. КОНОТОП)

Рассмотрено влияние на окружающую среду деятельности машиностроительного предприятия. Приведенная характеристика нарушений компонентов природы, вызванных машиностроительной промышленностью. Обоснованы возможные негативные воздействия на здоровье людей.

Ключевые слова: *машиностроение, атмосфера, почвенный покров, водные объекты, загрязняющие вещества, экологическая проблема.*

ACTIVITIES AND IMPACT OF ENGINEERING ON THE ENVIRONMENTAL SITUATION IN THE CITY (JSC "RED METALIST", KONOTOP)

The influence of environmental activities building enterprise. The characteristic components of natural disturbances caused by the machine-building industry. Reasonably possible adverse effects on human health.

Keywords*: engineering, atmosphere, soil, water, contaminants, environmental problem.*

Вступ. На початку XXI століття до глобальних проблем людства додалася ще й екологічна проблема.

Основними антропогенними факторами розвитку екологічної кризи в Україні є перш за все великі промислові комплекси. Хоча з великого обсягу промислових викидів, які потрапляють в навколишнє середовище машинобудівельній промисловості належить лише незначна частка 1 – 2%, проте на цих підприємствах здійснюються основні виробництва, які забезпечують технологічні процеси. Ці виробництва з високим рівнем забруднення навколишнього середовища.

Мета роботи – екологічна оцінка впливу ВАТ «Червоний металіст» на навколишнє середовище та на здоров'я людей.

Аналіз літературних джерел. Проведений аналіз джерел показує, що будь-яка діяльність підприємств виводить із сільськогосподарського та лісового користування певну частину земель. З різким зростанням урбанізації великі площі сільськогосподарських угідь відводять під міське та промислове будівництво. Порушується рівновага між компонентами екосистеми при функціонуванні машинобудівних підприємств. зокрема спостерігається забруднення майже всіх компонентів природи, а саме – атмосфери, водних об'єктів та ґрунтового покриву.

ВАТ «Червоний Металіст» – приладобудівне підприємство, що розташоване в місті Конотоп Сумської області. Засноване 15 січня 1916 року, займалося відточенням артилерійських снарядів. Але роки йшли і в наслідок розвитку науки і техніки завод

розширював сферу свого виробництва. На сьогодні ВАТ «Червоний металіст» займається розробкою й виробництвом апаратури і приладів для вугільної, нафтової, газової й хімічної промисловості; розробкою й виробництво сільгосптехніки й товарів широкого вжитку.

Результати дослідження. При роботі даного підприємства спостерігається забруднення атмосферного повітря, поверхневих вод та ґрунту. Зі всієї кількості забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря, близько 90 % становлять газоподібні речовини і близько 10 % - тверді та рідкі частинки.

На даному підприємстві спостерігаються такі забруднюючі речовини, що викидають в атмосферне повітря, як залізо та його сполуки, тверді, діоксин азоту, оксид вуглецю, НМЛОС(не метанові летучі органічні сполуки), алюміній оксид, хром та його сполуки. Найбільший відсоток від загальної кількості викидів становить НМЛОС, а найменше – алюміній оксид, хром та його сполуки. Газоочисними спорудами оснащені джерела викиду твердих забруднюючих речовин, заліза та його сполук, НМЛОС, алюміній оксиду, хрому та його сполук. Найбільш ефективними ГОУ є для твердих забруднюючих речовин, а найменш – для НМЛОС. Проаналізувавши дані про основні забруднювачі атмосферного повітря для підприємства, можна зробити висновок, що кількість викидів заліза та його сполук, оксиду вуглецю та НМЛОС перевищує ГДК. Дані відомості представлені в таблиці 1.

Основні забруднювачі атмосферного повітря за 2012 рік

Таблиця 1

Назва підприємства	Забруднююча речовина	Потужність викидів, т/рік	Концентрація викидів, мг/м^3	ГДК, мг/м^3
ВАТ «Червоний Металіст	Залізо та його сполуки	12.046	5	4
	Тверді	90.489	2	4
	Оксид вуглецю	117.39	23	20
	НМЛОС	140.57	4	3
	Алюміній оксид	0.310	4	6
	Хром та його сполуки	0.289	0.5	1
	Діоксид азоту	103.72	1.5	2

На даному машинобудівному підприємстві зафіксовані хімічні та фізичні види забруднення поверхневих вод. Скиди відпрацьованих вод, які утворюються в результаті охолодження робочого обладнання та здійснення технологічних процесів, проводяться у річку Єзуч (належить до басейну р. Сейм). Також спостерігається забруднення підземних вод оксидами металів. Головна проблема полягає в тому, що скид вод проводиться без будь-якого попереднього очищення. Дані викиди несуть величезну шкоду навколишньому середовищу, оскільки спостерігається значне перевищення ГДК по амонію сольовому, марганцю та залізу загальному. На даний момент води річки не придатні для водоспоживання та рибогосподарської діяльності (табл. 2).

Скидання зворотних вод та забруднюючих речовин

Таблиця 2

Назва підприємства	Об`єм скидання зворотних вод, млн. $м^3$	Обсяг забруднюючих речовин, т	Забруднююча речовина	Концентрація викидів,мг/л	ГДК,мг/л
ВАТ «Червоний Металіст»	0.289	86,4	Марганець	0.9	0.1
			Залізо загальне	3.8	1.0
			Амоній сольовий	16.0	1.0
			Алюміній	0.3	0.5
			Свинець	0.06	0.1

На даному підприємстві присутні наступні відходи, що спричиняють забруднення ґрунтового покриву:

- висічка з штампувального цеху;
- тверді частки від лиття (шлак);
- тверді частки від лиття пластмаси;
- стружка, що утворюється при металообробці;
- викиди збірного цеху, а саме пил, тяжкі метали, флюси, що використовують для пайки.

Так, розглянувши викиди, які потрапляють у навколишнє середовище можна сказати, що:

- оксиди вуглецю та нітрогену, сполуки сірки, сірководень та важкі метали сприяють розвитку хвороб системи кровообігу;
- НМЛОС, хром та його сполуки призводять до розладів нервової системи;
- пил, окиси вуглецю та азоту також підвищують ризик виникнення хвороб дихальних шляхів;
- до розвитку хвороб травлення призводять окисли хрому, вуглецю, заліза та алюмінію, сірководень;
- хвороби крові та кровотворних органів – оксиди сірки, вуглецю, азоту, вуглеводню, сірководень;
- хвороби сечостатевих органів – двоокис вуглецю, вуглеводень, сірководень, окис вуглецю.

Висновки. Провівши аналіз отриманих даних, щодо масштабів викидів від машинобудівного підприємства, можна зробити висновок про те, що хоча масштаби викидів є не критичними в порівнянні з іншими можливими джерелами забруднення міста, але вони все ж погіршують екологічний стан довкілля. Досліджено, що в результаті відходів, які отримують від підприємства, спостерігається забруднення ґрунту твердими відходами виробництва, як наслідок утворення не придатних до сільськогосподарського використання земель. Також, в наслідок викидів токсичних речовин збільшується вміст вуглекислого газу,

окисів важких металів та інших сполук, що негативно впливає на здоров'я людей. В результаті скидання води, що використовується для охолодження робочих пристроїв, у місцеву річку зафіксовано збільшення вмісту окисів заліза, марганцю та солей амонію, що в свою чергу негативно впливає на флору і фауну річки, призводить до її замулення, води річки є не придатними до водоспоживання та рибогосподарського користування.

УДК 622.235

Т. В. Гребенюк, к. т. н., ас., Я. С. Коляда, студ. (НТУУ «КПІ»)

ЗАХИСТ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД ШКІДЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ ВИДОБУВАННІ ТА ОБРОБЦІ БЛОЧНОГО КАМЕНЮ

Зроблено аналіз існуючих методів та засобів з видобування блочного каменю та методи захисту працюючих на кар'єрі від шкідливих та небезпечних факторів, з якими вони стикаються при роботі. Обґрунтовані основні вимоги до засобів індивідуального захисту.

Ключові слова: *блочний камінь, буріння, комерційні блоки, вибухові речовини, невибухові руйнуючі суміші, пил, засоби індивідуального захисту.*

ЗАЩИТА РАБОТАЮЩИХ ОТ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ И ОБРАБОТКЕ БЛОЧНОГО КАМНЯ

Сделан анализ существующих методов и средств по добыче блочного камня и методы защиты работающих на карьере от вредных и опасных факторов, с которыми они сталкиваются при работе. Обоснованы основные требования к средствам индивидуальной защиты.

Ключевые слова: *блочный камень, бурение, коммерческие блоки, взрывчатые вещества, невзрывчатые разрушающие смеси, пыль, средства индивидуальной защиты.*

PROTECTION OF WORKERS FROM THE HURMFUL AND DANGEROUS FACTORS IN THE BLOCK STONE EXTRACTION AND PROCESSING

The analysis of existing methods and tools for the blockstone extracting and methods of protecting workers at the quarry from harmful and dangerous factors that they faced at the work was done. Reasonable basic requirements for personal protective equipment were proved.

Keywords: *stone block, drilling, commercial blocks, explosives, non-explosive destroying compounds, dust, personal protective equipment.*

Введення. При видобуванні блочного каменю одним із технологічних процесів є буріння шпурів у гірській породі. Для буріння шпурів і свердловин у гірських породах використовують бурові установки. Цей виробничий процес пов'язаний з дією промислового пилу на працівників. Під його впливом виникає таке тяжке професійне захворювання, як силікоз (при незначних концентраціях — через 6—10 років, а при великих дозах — через 2—3 роки). Це захворювання найбільше проявляється серед працівників гірничої промисловості таких професій, як бурильники та підривники.

Метою роботи є аналіз методів захисту робітників від впливу шкідливих та небезпечних факторів при видобуванні та обробці блочного каменю.

Аналіз літературних джерел. Існує багато методів та засобів для видобування блочного каменю. Основними з них є вибухові та невибухові методи видобування блочного каменю.

При видобутку блочного каменю широко застосовуються бурові верстати для поверхневого буріння. Головне завдання, яке доводиться вирішувати при видобутку блочного каменю - зберегти цілісність матеріалу, виключити можливість утворення мікротріщин та при цьому забезпечити захист працюючих від можливих негативних наслідків дя життя та здоров'я.

Основна мета виробничого процесу видобутку каменю – це добування комерційних блоків. Видобування блочного каменю на кар'єрах є відокремлення каменю від масиву та виїмка їх із масиву. При обробці монолітів на товарні блоки і пасировці останніх, утворюються відходи, які підлягають направленню у відвал [3].

Найбільш важким та дорогим процесами є підготовка каменю до виїмки та розділення його на товарні блоки. Застосовуються такі способи відокремлення блочного каменю:

1) розкол каменя гідромолотом;
2) вирізка блоків спеціальними машинами;
3) канатне пиляння спеціальними типами пил та ін.

При вирізці блоків застосовуються такі типи спеціальних машин як дискові каменерізні, барові та машини з кільцевими фрезами. При канатно-абразивному пилянні відбувається відділення моноліту від масиву, які проводять при трьох чи чотирьох поверхнях оголення. При канатно-алмазному пилянні спочатку виконують нарізи, які відокремлюють камінь з боків, підошви та поперечної грані виготовлення [1].

Сучасними технологіями підвищеної небезпеки є технології використання гідравлічних клинів та розпилювання граніту канатними пилами. У разі застосування електроприводу для такого обладнання має місце небезпека ураження людини електричним струмом, що обумовлено наявністю в умовах кар'єру таких чинників, як підвищена вологість та температура.

До особливо небезпечних віднесені, насамперед, технології, які передбачають використання вибухових речовин. Ці технології вимагають обов'язкову евакуацію робітників із забою під час проведення вибухових робіт. Значну небезпеку являють собою відмовні заряди вибухових речовин. Непередбачений вибух відмовного заряду може привести до тяжких наслідків.

Одним із методів є використання невибухової руйнуючої суміші, яка призначена для ощадного руйнування гірських порід, бетону, залізобетону, цегельної кладки від -5°С до +35°С. Використання суміші дозволить створити високий статичний тиск у шпурах, достатній для руйнування гірських порід.

Слід ще зазначити, що невибухові руйнуючі суміші (НРС) являють собою небезпечні сполуки для шкіри, дихальних шляхів та очей. Тому роботи з ними слід виконувати в респіраторах, захисних окулярах та рукавицях.

При роботі з каменерізними машинами не допускаються: застосування цих машин, які не обладнані запобіжними пристроями для захисту людей від можливого викиду осколків каменю різальним органом машини; робота з несправними пиловловлюючими або пилопригнічуючими пристроями; знаходитися людям попереду працюючої каменерізної машини по напрямку її руху на відстані менше 10 м.

Матеріали та результати досліджень. Проаналізувавши існуючі способи видобутку та обробки блочного каменю встановлено, що атмосфера кар'єрів забруднюється пилом.

Дисперсність пилу, що утворюється при роботі кар'єрного обладнання, висока:, більше 90% пилинок мають розміри менше 5 мкм і лише 2,5% - понад 10 мкм. Основна маса

виявленої в атмосфері кар'єрів пилу є "старою", тобто відокремленої від масиву або при вибухах. Повітря робочої зони повинно містити 20% кисню і не більше 0,5% вуглекислого газу; вміст інших шкідливих газів не повинен перевищувати встановлених санітарних норм. У табл. 1 наведені гранично допустимі концентрації газоподібних домішок в атмосфері кар'єрів.

Шкідливий вплив пилу на організм людини залежить від її властивостей. Істотний вплив на біологічну активність пилових частинок надають хімічний склад, розчинність пилу, дисперсність, форма частинок, її твердість, електрозарядженність, структура (кристалічна, аморфна), адсорбційні властивості .

Таблиця 1. Гранично допустимі концентрації газоподібних домішок в атмосфері кар'єрів

Гази	**Гранично допустима концентрація**	
	мг / м ^{3}	**% За об'ємом**
Акролеїн	0.7	0,000028
Формальдегід	0.5	0,000037
Оксиди азоту (в перерахунку на N_2O_5)	5	0,0001
Окис вуглецю	20	0,0016
Сірчистий ангідрид	10	0,00035
Сірководень	10	0,00066
Вуглекислий газ	-	0,5

Найбільшу небезпеку становить пил при вдиханні , менше значення має вона при попаданні в шлунок. Хімічний склад пилу визначає різноманіття дії її на організм.

Пил може чинити на організм різну дію: фіброгенну, токсичну, подразнюючу, тощо.

Основними заходами у профілактиці захворювань, обумовлених напругою опорно-рухового апарату, різних органів і систем, є механізація ручних операцій, скорочення робочого дня, обмеження допустимої маси при підйомі і перенесенні, удосконалення інструментів, раціональний режим праці та інші.

Одним із методів захисту та безпеки роботи працівників при видобуванні блочного каменю є ефективне застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), що залежить від їх правильного вибору і умов експлуатації. При їх виборі необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливого фактору, а також індивідуальні особливості людини. Тільки правильне застосування ЗІЗ може максимально захистити працюючого в кар'єрі. Для цього робітники повинні бути ознайомлені з асортиментом та призначенням ЗІЗ.

До засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) належать респіратори, промислові протигази та ізолюючі дихальні апарати, які застосовуються для захисту від шкідливих речовин, що знаходяться в оточуючому повітрі [4].

За принципом дії ЗІЗОД поділяються на фільтруючі та ізолюючі, але їх вибір залежить від наявності у повітрі вільного кисню і кількості шкідливих речовин.

Висновки. Проаналізовані існуючі методи для видобутку та обробці блочного каменю.

Досліджені можливі джерела небезпеки для людини при використанні тих чи інших методів для видобування блочного каменю.

Обґрунтовані основні вимоги до ЗІЗ. Їх необхідно обирати з урахуванням умов праці, зважаючи на можливі додаткові ризики під час застосування, які обумовлені впливом факторів виробничого середовища, що змінюються.

Допуск робітників на робочі місця після виробництва масових вибухів дозволяється після отримання відповідальним керівником вибуху повідомлення від спеціалізованого професійного аварійно-рятувального формування про зниження концентрації отруйних продуктів вибуху в повітрі до встановлених санітарних норм.

Встановлено, що найголовніші фактори шкідливого впливу на здоров'я робітників при видобуванні та обробці блочного каменю є пил.

Отже, основними заходами по збереженню здоров'я та життя працюючих повинні бути:

- правильний вибір ЗІЗ;
- врахування окремих умов виробництва;
- врахування виду та тривалість впливу шкідливого фактору;
- правильний вибір робочого місця;
- удосконалення інструментів;

Список використаної літератури

1. *Карасёв Ю. Г.* Природный камень. Добыча блочного и стенового камня/ Карасёв Ю.Г, Бакка Н.Т // Уч. пособник. - СПб, 1997, 428 с.

2. *Мислюк М. А.* Буріння свердловин. Том перший. Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання та інструмент / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчич, Р. С. Яреймічук. // К.: Інтерпрес ЛТД – 2002. 364 с.

3. *Добровольська М. В.*, Аналіз факторів, що впливають на ефективність технологічного процесу видобування облицювального каменю з використанням бурових робіт / Добровольська М. В., Котенко В. В. // Житомир: Ред.-видав. відділ Житомирського державного технічного університету. – 2011, 41 с.

4. Site «Buklib»: [Electron. resurs]. Rezhim dostupy: http://buklib.net/

УДК 662.994

І.В.Косяк (студентка ІЕЕ НТУУ «КПІ»)

О.І.Висоцький (асистент кафедри інженерної екології НТУУ «КПІ»)

ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВА «КАГМА»

ВЛИЯНИЕ НАОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИНА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ «КАГМА»

ENVIRONMENTAL IMPACT DAIRY INDUSTRY AT THE EXAMPLE OF "KAGMA"

Розглянуто та досліджено вплив на навколишнє середовище підприємства молочної галузі . Проаналізовано основні джерела забруднення середовища даними підприємствами.

Ключові слова : *молочна галузь, молокопереробне підприємство, джерела забруднення, забруднююча речовина.*

Рассмотрено и исследовано влияние на окружающую среду предприятия молочной отрасли. Проанализированы основные источники загрязнения среды данными предприятиями.

Ключевые слова: *молочная отрасль, молокоперерабатывающее предприятие, источники загрязнения, загрязняющее вещество.*

Considered and investigated the environmental impact of the dairy industry enterprises. The basic source of pollution to the enterprise.

Keywords: *dairy industry, milk processing plants, sources of pollution, pollutants.*

Вступ. На початку XXI століття як ніколи актуальним стає питання про екологічне навантаження на середовище проживання людини. Навіть враховуючи те, що значна кількість галузей народного господарства в даний момент знаходяться не на піку розвитку, антропогенне забруднення навколишнього середовища викликає серйозне занепокоєння.

Незважаючи на кризові явища, характерні для економіки останніх років, найбільш стрімкого розвитку на теренах України в наші дні набули підприємства харчової промисловості, в т.ч. м'ясо-молочної. Продукти молочної галузі мають обмежені терміни зберігання та реалізації, тому розміщення та концентрація підприємств даної галузі орієнтується на споживача. Тобто місце розташування таких підприємств знаходиться в близькості від населених пунктів, або ,навіть, в їх межах.

Отже, забруднення, що потрапляють у навколишнє природне середовище в результаті діяльності даних виробництв, несуть небезпеку як для мешканців міст, селищ міського типу і сіл, так і для всієї біосфери в цілому. Тому, на мою думку , дослідження екологічного впливу на навколишнє середовище підприємств молочної галузі є дуже актуальним на сьогоднішній день.

Метою даної роботи є екологічна оцінка впливу на навколишнє середовище підприємств молочної галузі на прикладі ПрАТ « КАГМА».

Результати дослідження. ПрАТ «Кагма» знаходиться в північній частині міста Кагарлик Київської області. Територія підприємства обмежена житловими забудовами та

адміністративним будинком.

Кагарлицький маслозавод розпочав свою діяльність у 1944 році. На той час асортимент налічував 11 видів продукції.

На сьогоднішній день ПрАТ «Кагма» – це модернізоване підприємство по переробці молочної сировини і виробництву молочної продукції та масла тваринного з повною автоматизацією виробничих процесів. Асортимент продукції на сьогоднішній день налічує понад 40 найменувань.

Щодоби підприємством переробляється до 60 тонн молока. Продукція підприємства реалізується як на регіональному так і національному ринках, але основним ринком збуту залишається м. Київ.

Територія молочного підприємства за своїм функціональним призначенням поділяється на такі зони: передзаводську, виробничу та підсобно-складську.

У передзаводській зоні розміщуються будинок управління і санітарно-побутові приміщення, контрольно-пропускний пункт, майданчик для стоянки власного транспорту.У виробничій зоні — виробничі приміщення, ремонтно-механічні майстерні.У підсобно-складській зоні — будинки та споруди підсобного призначення (котельня, градирні, насосні станції тощо).

Основне виробництво (переробка коров'ячого молока) є екологічно чистим . Для забезпечення основного виробництва парою в котельні заводу встановлено три котли типу Е-2, 5-09 ГМ, які працюють на природному газі з річною витратою 580 тис. м3 в рік. Обігрівання адміністративно побутових приміщень здійснюється побутовими котлами та конвекторами , які працюють на природному газі з річною витратою палива 37 тис. м3. При спалюванні природного газу в атмосферне повітря надходять оксиди азоту , оксид вуглецю, ртуть та її сполуки , три парникові гази(метан, азоту оксид, вуглецю діоксд).

Для забезпечення виробництва холодом на заводі працює компресорна , яка обладнана аміачними компресорними установками марки Ф-611 , які оснащені приладами автоматичного захисту та контролю. Дозаправка компресорів аміаком становить 2000 кг в рік.

ПрАТ «Кагма» має власний автопарк, який налічує більше 40 одиниць транспорту.

В склад паливно – мастильних матеріалів якого входять 6 ємкостей для бензину та дизпалива та 3 бензоколонки , одна з яких неробоча. При зберіганні палива , наповненні резервуарів та баків автомобілів нафтопродуктами в атмосферне повітря надходять пари вуглеводнів.

Для ремонтних робіт обладнаний пост зварювання. При обробці металів зварюванням в атмосферу надходить зварювальний аерозоль та мангану діоксид.

Для проведення аналізів в лабораторії використовуються кислоти. В атмосферне повітря виділяються пари сульфатної, нітратної та хлоридної кислот.

При виготовленні та при використанні розчину для миття автоцистерн і обладнання в атмосферне повітря виділяється натрій гідроксид.

Таким чином можна виділити наступні джерела утворення забруднюючих речовин на підприємстві :

- ✓ - дільниця мийки обладнання і тари для молочних продуктів;
- ✓ - аміачно-холодильна компресорна станція;
- ✓ - зварювальне виробництво;
- ✓ - ремонтно-механічне відділення;
- ✓ - котельні;
- ✓ - сушильна камера казеїну;

- ✓ - лабораторії для проведення аналізів;
- ✓ - автотранспорт та заправки .

Загальні дані щодо виду та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних джерел забруднення на підприємстві наведено в таблиці.

№	Забруднююча речовина	Фактичний обсяг викидів(т/рік)	Потенційний обсяг викидів (т/рік)	Порогові значення потенційних викидів для взяття на державний облік(т/рік)
1	Окис вуглецю	0,32	0,385	1,5
2	Вуглецю діоксид	1148,797	1408,465	500
3	метан	0,0214	0,254	10
	Метали та їх сполуки, в т.ч.	0,0009021	0,0009502534	
4	Залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	0,0008	0,0008	0,1
5	Ртуть та її сполуки (у перерахунку на ртуть)	2,13406	0,000002534	0,0003
6	Манган та його сполуки (у перерахунку на манган)	0,0001	0,0001	0,005
	Сполуки азоту , в т.ч.:	3,11414	3,55354	
7	Оксиди азоту (у перерахунку на діоксин азоту NO+NO2)	1,112	1,351	1
8	Азоту (1) оксид (N2O)	0,00214	0,00254	0,1
9	аміак	2	2,2	1,5
	Неметанові леткі органічні сполуки , в т.ч. :	0,717105	0,717105	1,5
10	Неметанові леткі органічні сполуки(НМЛОС)	0,6889	0,6889	1,5
11	Неметанові леткі органічні сполуки(НМЛОС)	0,028205	0,028205	1,5
Усього для підприємства		1152,9705	1413,146948	

Аналізуючи таблицю, видно, що найбільш поширеними забруднюючими речовинами є : окис вуглецю та оксиди азоту у перерахунку на діоксин азоту. Небезпечні забруднюючі речовини на підприємстві це : залізо та його сполуки, ртуть та її сполуки, манган та його сполуки.

Рівень забруднення атмосферного повітря джерелами підприємства на межі санітарно – захисної зони і в житловій забудові не перевищує нормативний. Максимальні приземні концентрації у вузлах розрахункової сітки для всіх речовин не перевищують нормативні значення і становлять для азоту діоксину 0.31 частку ГДК, з урахуванням фонових концентрацій – 0.318 частки ГДК ; для інших забруднюючих речовин розрахунок розсіювання не проводиться через недоцільність .

Окремим питанням постає проблема відходів на молокопереробному підприємстві. На території заводу створені спеціально обладнані місця для збереження побутових та промислових відходів, які регулярно вивозяться , згідно отриманого дозволу, на полігон . Також велику небезпеку серед відходів молокопереробного підприємства становлять і стічні води. Частину цих відходів , а саме нехарчові відходи після закваски та інші ,регулярно вивозять на поля фільтрації у м. Ржищів (19 км. від Кагарлика) . Частину стоків без попередньої обробки скидаються у міську каналізаційну систему, чим завдають значних збитків міським станціям очищення комунальних стічних вод, оскільки концентрація забруднюючих речовин перевищує допустимі норми в 2–4, а іноді і більше разів. Настільки значна різниця в концентрації забруднюючих речовин пояснюється асортиментом продукції заводу, тобто оскільки підприємство спеціалізується на виробництві вершкового масла, сметани, йогуртів тощо, то в його стічних водах міститься велика кількість жирів.

Висновки. Таким чином ,підводячи підсумки наших досліджень можна сказати, що, незважаючи на високий рівень розвитку технологій на молокопереробному заводі, ПрАТ «Кагма» забруднює навколишнє середовище діоксидом азоту та оксидом вуглецю, але їх концентрація не перевищує гранично допустимі норми. Найбільш поширені забруднюючі речовини, що викидаються підприємством є: діоксид азоту, оксид вуглецю, речовини у вигляді твердих суспендованих частинок, аміак, гідроокис натрію, оксид заліза, оксид марганцю, фреон – 22 .

УДК 620.92:662.767.2:628.336.098.4

А.О. ДИЧКО, І.О. ОПОЛІНСЬКИЙ

БІОЕНЕРГЕТИЧНА ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Представлена концепція двостадійного зброджения біомаси з частковою її обробкою. Визначено, що при застосуванні механічної та хімічної дезінтеграції збродженої біомаси вихід біогазу збільшується з одночасним підвищенням вмісту метану в ньому.

Ключові слова: біогаз, деструкція, біомаса

А.О. ДИЧКО, И.О. ОПОЛИНСКИЙ

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Представлена концепция двухстадийного сбраживания биомассы с частичной ее обработкой. Определено, что при использовании механической и химической дезинтеграции сброженной биомассы выход биогаза увеличивается с одновременным повышением содержания метана в нем.

Ключевые слова: биогаз, деструкция, биомасса

A.O. DYCHKO, I.O. OPOLINSKYI

BIOENERGETIC TECHNOLOGY OF WASTE UTILIZATION WITH HEAT AND ELECTRICITY OUTPUT

Concept of a two-stage digestion of biomass with its partial treatment is presented. It is determined, that using mechanical and chemical disintegration of digested biomass, biogas yield increases with simultaneous increase of the methane content in it.

Keywords: biogas, destruction, biomass

За умов підвищення цін на первинні енергоресурси та зростання дефіцитності викопних джерел енергії в світі спостерігається розвиток та підвищення рівня використання відновлювальних джерел енергії. Доцільним є дослідження та удосконалення існуючих технологій біоенергетичної утилізації відходів, в яких застосовуються методи руйнування біомаси із вивільненням з неї ферментів, вітамінів та інших речовин, що підвищують ефективність метаногенезу.

Дослідження присвячені утилізації органічних відходів з отриманням біогазу. Технологія базується на принципі анаеробної біологічної очистки з попередньою обробкою активного мулу з метою інтенсифікації процесів біотрансформації забруднюючих речовин у біогаз та підвищення вмісту метану в ньому, а також покращення якості очищених стоків. Ефективність очищення стоків становить: $БСК_5$ – 15 мг/л, ХСК – 80 мг/л, зважені речовини – 15 мг/л.

За пропонованою технологією активізаційний та доосаджувальний реактори забезпечують зброджування відходів в анаеробних умовах (рис. 1). Газгольдер призначений для збирання утвореного біогазу з наступним відведенням до когенераційної установки. Осадоприймач слугує для складування осаду з подальшою його утилізацією.

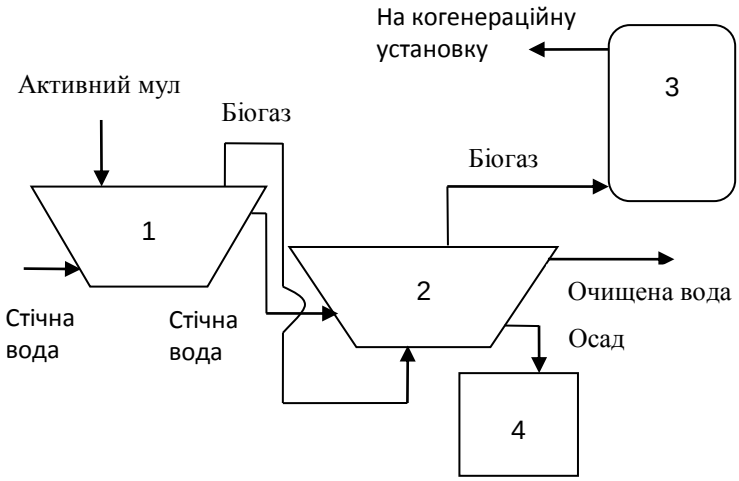


Рис. 1. Схема технології біологічної очистки стічних вод з отриманням теплової та електричної енергії: 1 - активізаційний реактор; 2 - доосаджувальний реактор; 3 - газгольдер; 4 - осадоприймач.

В ході експериментальних досліджень виявлено, що найбільше виділення біогазу утворювалось на 2 і 3 добу експерименту. Максимальну кількість було отримано при використанні хімічного та механічного дезінтегрованого зброджeного субстрату. При застосуванні хімічної дезінтеграції вихід біогазу становив 9,6 л/л, а при механічній – 6,6 л/л, перевищуючи значення контролю у 3,9 та 2,7 рази відповідно.

При використанні хімічного та механічного дезінтегрованого зброджeного субстрату відбулося максимальне вивільнення біологічно активних речовин з зруйнованих клітин, що пришвидшило процеси бродіння у біореакторах. При хімічній деструкції кількість біогазу становить до 0,01 м^3/кг біогазу. За перші чотири доби утворення біогазу відбулось у кількості майже 80% загального об’єму.

Також в ході експерименту відбувався контроль за складом біогазу, що виділявся. У порівнянні з контролем досліджувані зразки показували збільшення вмісту метану до 70–80%, що перевищує значення контролю на 15–20%. В результаті теплотворна здатність такого біогазу збільшується з 20 до 25 МДж/м^3.

Розроблена технологія призначена для біологічного очищення стічних вод та утилізації органічних відходів з отриманням біогазу. Забезпечує якість очищеної води, що відповідає вимогам до її скиду, а також одержання альтернативного джерела енергії – на виробництві, для технологічних та побутових потреб.

Продуктивність складає до 10 м^3 біогазу з 1 м^3 мулу, вміст метану в якому до 80%. Отриманий біогаз через систему когенераційних установок можна утилізувати у теплову та електричну енергію.

В результаті запровадження технологічних заходів зі стічних вод більш інтенсивно видаляються забруднення, зокрема, молекулярні органічні домішки, азотовмісні речовини, фосфати та ін.

Технологія може бути застосована на станціях очистки стічних вод міст, населених пунктів, а також для утилізації органічних побутових, сільськогосподарських та промислових відходів. Осад після компостування може бути використаний в якості добрива. Біогаз використовується для виробництва теплової чи електричної енергії, причому з 1 $м^3$ стоків можна отримати до 20 кВт електричної енергії.

Перевагами технології є екологічність, невелика площа під спорудження, відсутність складного устаткування, простота та надійність експлуатації, самозабезпечення процесу енергією.

УДК 502:622.33012.2

Т.В.Олевська, к.г.м.н., доц. (НТУУ «КПІ»), М.О. Канар, студент (НТУУ «КПІ»)

ОСНОВНІ ВИДИ ТА КОМПОНЕНТИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ШАХТНИХ ВОД ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

У статті виділені основні фактори забруднення шахтних вод;наведені характеристики забруднення шахтних вод; розглянуті умови формування кислих шахтних вод, які виникають у процесі взаємодії підземних вод із забруднювачами техногенного походження; приведена формула для розрахунку сили забруднення шахтних вод.

Ключові слова: *шахтні води, корозія, ставки-відстійники, стічні води, сульфати, концентрація забруднювачів, хлориди, залізо, завислі частки.*

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И КОМПОНЕНТЫ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ШАХТНЫХ ВОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В статье выделены основные факторы загрязнения шахтных вод; приведены характеристики загрязнения шахтных вод; рассмотрены условия формирования кислых шахтных вод, которые возникают в процессе взаимодействия подземных вод с загрязнителями техногенного происхождения; проведена формула для расчёта силы загрязнения шахтных вод.

Ключевые слова: *шахтные воды, коррозия, пруды-отстойники, сточные воды, сульфаты, концентрация загрязнителей, хлориды, железо, взвешенные частицы.*

MAJOR TYPES AND COMPONENTS OF TECHNOGENIC POLLUTION OF MINE WATERS AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT

In the article the main factors of mine water pollution are highlighted; the characteristics of mine water pollution are given; the conditions of formation of acid mine water that arise in the process of the interaction of groundwater with pollutants of technogenic origin are shown; formula for calculating the strength of mine water pollution is given.

Keywords: *mine water, corrosion, ponds, wastewater, sulfate, concentration of pollutants, chlorides, iron, suspended particles.*

Вступ. Виробнича діяльність шахти надає шкідливий вплив на компоненти навколишнього природного середовища, які в свою чергу впливають на здоров'я населення.

Техногенне забруднення шахтних вод розглянуто на прикладі ВАТ «шахти «Комсомолець Донбасу »». Згідно з СН245-71 «Санітарні норми проектування промислових підприємств", шахта відноситься до другого класу небезпечності, як підприємство з видобутку кам'яного вугілля з санітарно-захисною зоною 500м.

Ціль та завдання полягає в визначенні основних видів та компонентів техногенного забруднення шахтних вод та їх впливу на навколишнє середовище.

Результати дослідження. Основними факторами забруднення шахтних вод є :

1 . Поглинання шахти забруднених вод, які включають поверхневі стоки.

2 . Поглинання вод ліквідованих та законсервованих шахт.

Стічні води підприємства є крупно - масштабним джерелом забруднення водних об'єктів. Вміщені в їх складі зважені речовини, мінеральні солі, солі важких металів, нерозчинні частки органічного походження, нафтопродукти та інші компоненти, які здатні накопичуватися в ставках-відстійниках викликаючи незворотні процеси в гідросфері.

За результатами хімічних аналізів наданих підприємством шахти «Комсомолець Донбасу»» про склад шахтних вод присутнє механічне забруднення, а також фіксується перевищення ГДК сульфатів. У процесі освітлення вміст завислих часток зменшується на 43%. Залізо нормалізується за рахунок окислення атмосферним повітрям, його вміст зменшується на 30%. Одночасно відбувається накопичення сульфатів і хлоридів, які чинять негативний вплив на якість вод у ставках - відстійниках. Кількість сульфатів збільшується на 19%, що в 2,3 рази перевищує ГДК, а хлоридів на 10% , концентрація яких знаходиться в нормі.

Залежно від складу забруднювачів і характеру їх впливу на водні об'єкти стічні води умовно поділяються на 3 групи(табл.1)

Таблиця 1. Характеристика стічних вод

Група	Вид забруднень	Характер змін станів водойм	Джерело забруднених вод
1	Неорганічні домішки зі специфічними токсичними властивостями	Зміна органолептичних та фізико-хімічних властивостей води, у результаті перевищення вмісту сульфатів	Кислі і високо мінералізовані шахтні води
2	Неорганічні домішки без специфічних токсичних властивостей	Зміна органолептичних властивостей води	Шахтні води забруднені завислими речовинами
3	Органічні домішки зі специфічними токсичними властивостями	Зміна і погіршення якості води	Шахтні води та інші стічні води забруднені нафтопродуктами та фенолами

Необхідний ступінь очистки стічних вод, при їх скиданні у водні об'єкти, визначається станом ставка-відстійника залежно від ГДК різних забруднюючих компонентів. У загальному випадку характер і сила забруднення шахтних вод визначається за формулою:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \cdots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1 \qquad (1)$$

Що враховує концентрацію забруднювачів (C_1, C_2, ... C_n).

В окремому випадку перевищення спостерігається по одному компоненту, а саме по сульфатам, що становить 2,3 норми ГДК.

Існує тенденція накопичення кислотних залишків, що з часом може призвести до більш інтенсивного забруднення вод, які потрапляють у ставки-відстійники.

Максимально допустима концентрація забруднювачів з урахуванням розчинюючої здатності водних об'єктів може бути визначена таким рівнянням:

$$qK_{ст} + \alpha Q K_p = (q - \alpha Q) K_{ГДК} \qquad (2)$$

де Q і q - відповідно нормативні витрати води ставка-відстійника, м^3/рік;

$K_{ст}$ і K_p - концентрація забруднюючих речовин однакового виду у стоці і в місці їх випуску, г/м^3;

α - коефіцієнт змішування;

$К_{ГДК}$ - гранично допустима концентрація забруднюючої речовини у водоймі, г/м^3.

Якісно і кількісно склад шахтних вод забруднених зваженими вугільно-породними частками змінюються в широкому діапазоні залежно від умови експлуатації підприємства, рівня механізації та автоматизації гірничих робіт.

Технічна межа шахти «Комсомолець Донбасу», за своїм гіпсометричним розташуванням, знаходиться нижче раніше ліквідованих шахт: «Донецька», «Житомирська», «Московська», «Вінницька» і «№ 222», що призводить до формування потоку вод у напрямку шахтного поля. У процесі руху цих вод через вироблений простір вони збагачуються сірчаною кислотою, яка утворюється в результаті взаємодії колчеданна, що міститься в завалених породах і вугіллі, а також за рахунок корозії устаткування залишеного в ліквідованих шахтах.

Висновки

Мінералізовані шахтні води характеризуються як кислі, що обмежують можливість використання їх для господарської діяльності. Неочищені шахтні води викликають зміни сольового режиму, обумовлюючи небажані екологічні порушення в гідросфері, що призводить до погіршення здоров'я населення.

Список використаних джерел

1. Merkulov V.A. «Okhrana prirody na ugolnykh shakhtakh»// Moskva «Nedra» -1981 - s.181
2. Krasavin A.P. «Zashchita okruzhayushchey sredy v ugolnoy promyshlennosti» // Moskva «Nedra» - 1991 - s.221
3. Pevzner M.E., Kostovetskiy V.P. «Ekologiya gornogo proizvodstva» // Moska «Nedra» - 1990 – s. 235

УДК 631.4:502.7:577.4

Т. В. Олевська, канд. геол.-мінер. наук, А. О. Онищенко, студ. (НТУУ «КПІ»)

Вплив важких металів на якість та тривалість життя людини

Викладені результати впливу важких металів на здоров'я людини, результати моделювання переносу розчиненої ртуті підземними водам, перевищення ГДК ртуті у повітрі та підземних водах.

Ключові слова: важкі метали, здоров'я людини, гранично допустима концентрація, ртуть, електроліз, забруднення повітря та води.

Т. В. Олевская, канд. геол.-минер. наук, А. О. Онищенко, студ. (НТУУ «КПИ»)

Влияние тяжелых металлов на качество и продолжительность жизни человека

Изложены результаты влияния тяжелых металлов на здоровье человека, результаты моделирования переноса растворенной ртути подземными водам, превышение ПДК ртути в воздухе и подземных водах.

Ключевые слова: тяжелые металлы, здоровье человека, предельно допустимая концентрация, ртуть, электролиз, загрязнение воздуха и воды.

T. V. Olevska, A. O. Onishchenko, (NTUU «KPI»)

Influence of heavy metals on the quality and length of life

The results of the influence of heavy metals on human health, the results of the modeling of transport of dissolved mercury groundwater exceeding MAC of mercury in the air and groundwater.

Keywords: heavy metals, human health, the maximum allowable concentration, mercury, electrolysis, air and water pollution.

Вступ. В результаті людської недбалості, с кожним роком екологічна криза стає все глибшою, а шляхи її подолання довшими. Сьогодні постає найбільш актуальне питання вирішення проблем якості здоров'я людини, його збереження та тривалості. В результаті хімічного забруднення навколишнього середовища відбуваються порушення в організмі людини, це відбувається шляхом накопичення хімічних речовин в органах і тканинах, і призводить до незворотних перетворень. Починаючи з порушень структури та функції організму, розвиток порушення обміну речовин, формування різноманітних нозологічних форм, зниження та порушення імунітету, патологічні зміни взаємозв'язку процесів нервової системи, погіршення газообміну та функціонування через дисбаланс та генеративними процесами в альвеолах та бронхах, різні прояви порушень кровообігу. Закінчуючи маніфестацією проявів хвороби та прогресуванням патологічних процесів.

Одними з найнебезпечніших забруднювачів середовища є нітрати, пестициди та важкі метали, про них окремо. Різноманітними шляхами важкі метали можуть проникнути у організм людини. Радше за все важкі метали знаходяться у повітрі, воді та ґрунтах. Призводить до цього різна антропогенна діяльність, така як викиди металургійних заводів, гірнича робота, запровадження в роботу хімікатів, до складу яких входять важкі металів.

Окрема властивість важких металів – біоакумуляція, в наслідок цього процесу поступове накопичування та зріст концентрації токсикантів в організмі. Цей процес відбувається в зв'язку з недостатнім виведенням поступаючи в організм хімічних елементів. Найбільша концентрація токсинів відбувається в організмах які знаходяться на вершині харчової піраміди, через те, що кількість споживаної їжі значно більша маси організму який її споживає.

Основна частина.

До найбільш впроваджених у промисловість важких металів відносяться ртуть, кадмій, сурму, миш'як, свинець, нікель, хром, олово. На прикладі ОАО Заводу «Радикал» - київський завод з випуску хімреагентів (чинний з 1952 по 1996 роки), розглянемо вплив важкого металу ртуті на здоров'я та життєдіяльність людини. При отруєнні трує́нні ртуттю в організмі утворюються з білками преципітати, які мають пошкоджуючи властивості. Вони негативно впливають на кишковий тракт, визиваючи його розлади з втратою електролітів та рідини. Інтоксикація яка виникає при попаданні ртуті в організм найбільш схильні тканини, які мають швидким ростом, а також центральна та периферична частина нервової системи, може спровокувати випадіння зубів. Серед найбільш розповсюджених симптомів ртутної інтоксикації можна назвати наступні: емоційна нестійкість, швидка втома, головний біль, запаморочення, слабкість, послаблення пам'яті, тремор, порушення серцево-судинної системи, вегетативна дисфункція. Зустрічаються важкі форми інтоксикації, при яких розвивається ртутна енцефалопатія. Ртуть та її сполуки належать до числа найбільш повно вивчених у санітарно-токсикологічному відношенні речовин. Гігієнічні стандарти по вмісту ртуті та її сполук встановлені практично для всіх середовищ, з яких вони можуть потрапляти в організм людини. Всі сполуки ртуті належать до речовин I класу небезпеки. Завод «Радикал», який скидав стоки без очистки з виробництва хлору та каустичної соди ртутним методом, пестицидів, хлорокису міді та інших хімічних речовин. ОАО «Радикал» виробляв хлор і каустичну соду шляхом електролізу водного розчину хлориду натрію з ртутним катодом.

У способі із ртутним катодом процес одержання каустичної соди та хлору електролізом розділений на дві стадії. У власне електролізері йде отримання хлору і амальгами. Остання з електролізера надходить в інший апарат-розкладник, де розкладається водою. При цьому утворюється луг, водень і регенерується ртуть. Катодом у ванні є ртуть – на ній йде розряд іонів натрію, в якості анодів використовують окисно-рутенієво-титанові аноди (ОРТА) та графіт.

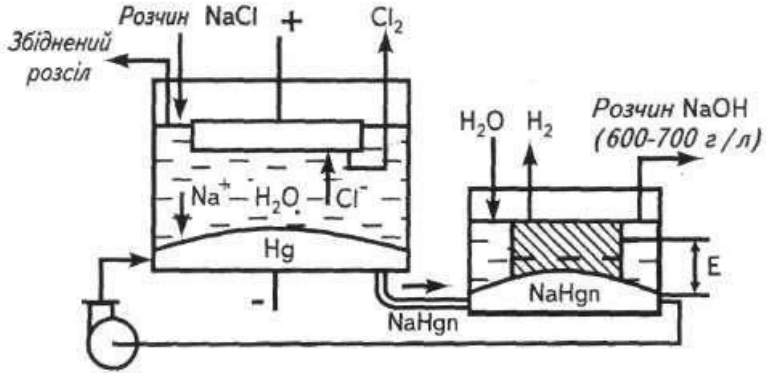


Рисунок 1 – Схема електролізу водного розчину хлориду натрію з ртутним катодом.

Взявши до уваги результати моделювання ртутного забруднення в районі промислового майданчика на 2015 рік, мг/л і застосувавши формулу визначення дози добутком концентрації речовини, швидкості його надходження в організм та повним часом надходження:

$$D = c \cdot v \cdot t,$$

де с — концентрація забруднила; v — швидкість його постачання в організм; t — середня тривалість життя людини.

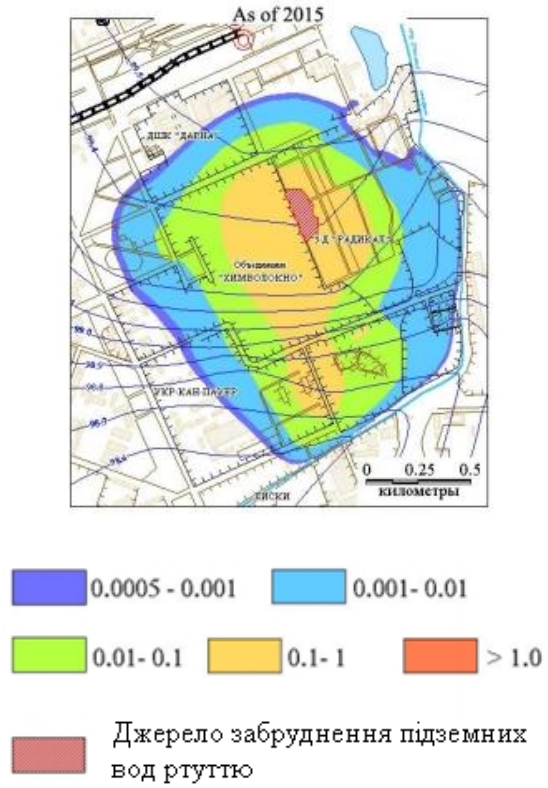
Концентрацію зазвичай висловлюють в мг/м3 (для повітря), в мг / л (для води) або в

мг / кг (для продуктів харчування). Швидкість (інтенсивність) надходження v вимірюється в л / хв або м3/день (повітря), л / день (вода), кг / день (продукти харчування). Коли мова йде про час надходження, що охоплює все життя людини, то в якості t зазвичай беруть 70 років.

Дані кількості потрапляючи в організм людини об'єму повітря та маси води .

Контингент	Повітря	Вода
Населення	$7{,}3 \cdot 10^6$ л/год = 20 м^3/день	800 л/год = 2,2 л/день
Персонал	$2{,}5 \cdot 10^6$ л/год = 10 м^3/день (если в году 250 рабочих дней)	0

Результати моделювання ртутного забруднення підземних вод в районі промислового майданчика на 2015 рік, мг/л



Маємо наступні розрахунки:

1. Для води
   0,0005 × 2,2 × 365 = 0,4 мг/л
   0,001 × 2,2 × 365 = 0,8
   0,01 × 2,2 × 365 = 8,03
   0,1 × 2,2 × 365 = 80,3
   1 × 2,2 × 364 = 803
2. Для повітря
   0,003 × 20 × 365 = 21,9 мг/м^3

У повітрі приміщень житлових будинків, дошкільних та шкільних закладів - 0,0003 мл/ м^3 (ГДК ртуті у повітрі населених пунктів дорівнює 0,0003 мл/ м^3); у повітрі виробничих об'єктів, навчальних лабораторій вищих навчальних закладів, науково-дослідних лабораторій інститутів - 0,0017 мл/куб. м^3 (що складає 30% ГДК ртуті у повітрі робочої зони,

яка дорівнює 0,005 мл/ м^3); у повітрі промислових підприємств - 0,005 мл/м^3.

Висновки:

1. Відбувається збільшення площі забруднення та зменшення концентрації.
2. Розповсюдження в часі забруднення підземних вод супроводжується зміною концентрації. Вплив забруднення дає перевищення ГДК ртуті, і як висновок, проживання людей на цій території може призвести до погіршення здоров'я та приводить до серйозної загрози життю людини.

Література

1. Якименко Л. М. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлорпродуктов / Л. М. Якименко, М. И. Пассманик. – М. : Химия, 2006. – 438 с.
2. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп. Справ. Изд./А.Л.Бандман, Н.В. Волкова и др., под ред. Филатова и др.. Л.: Химия,1989. с. 170.
3. 1. Трахтенберг И. М. Ртуть и ее содержание в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты) / И. М. Трахтенберг, М. Н. Коршун. – К. : «Вища школа», 1990. – 232 с.

УДК 621.311.003.13

Козьяков В.С., к. т. н., доцент;
Моцак Т.П., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вплив геопатогенних зон на здоров'я людини

Козьяков В.С., к. т. н., доцент;
Моцак Т.П., магістрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Влияние геопатогенных зон на здоровье человека

Koziakov S.V., PhD of sciense;
Motsak T.P., undergraduate
National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"

The impact of geopathic zones on human health

Запропоновано комплексний контроль гепатогенних зон, їх перелік та створення реєстру. Проаналізовано доцільність застосування для вирішення проблем комплексного контролю за гепатогенними зонами програмне забезпечення "Line", "ArcGis", що дасть можливість відслідковувати негативні зони на здоров'я людини.

Ключові слова: *гепатогенні зони, біолокаційні методи, магнітне поле землі, радіоактивний фон.*

Предложен комплексный контроль геопатогенных зон, их перечень и создание реестра. Проанализирована целесообразность применения для решения проблем комплексного контроля за геопатогенных зон программное обеспечение "Line", "ArcGis", что позволит отслеживать негативные зоны на здоровье человека. что позволит отслеживать негативные зоны на здоровье человека.

Ключевые слова: *геопатогенные зоны, биолокационные методы, магнитное поле земли, радиоактивный фон.*

An integrated control of geopathic zones*, their list and registry. Analyzed the feasibility of solving problems for integrated control of areas* geopathic *software "Line", "ArcGis", which will enable to track the negative zone for human health.*

Keywords: *geopathic zones, faults, biolokatsiyni methods,, the magnetic field of the earth, radoaktyvnyy background in residential areas.*

Вступ

За останні п'ять років в Україні рівень захворюваності на рак збільшився на 2,4%, щорічний приріст рівня захворюваності становив 0,6%.Про це свідчить аналіз динаміки ураження населення України злоякісними новоутвореннями на основі персоніфікованої бази даних Національного канцер-реєстру. У чоловіків найчастіше виявляють злоякісні пухлини легенів, шлунка, шкіри, передміхурової залози, прямої кишки – 52,2% від усіх злоякісних

пухлин.У жінок найчастіше виявляють рак молочної залози, тіла матки, ободової кишки, шийки матки – 53,5% від усіх злоякісних пухлин.

Найвищі показники захворюваності на рак у порівнянні із загальноукраїнським (331,5 на 100 тисяч населення) спостерігались у м. Севастополі, в Кіровоградській, Миколаївській та Запорізькій областях (374,7-475,8 на 100 тисяч населення). Найвищі показники смертності від раку зареєстровано в Запорізькій, Кіровоградській, Донецькій областях та м. Севастополь.

Зловісні хвороботворні зони виявлено якраз над геологічними розломами, які за статистикою займають 35-40 відсотків земної поверхні. Сталося так, що Київ розміщений саме там, де розломи земної кори перетинаються і утворюють таку собі павутину. Ширина кожної геологічної тріщини - від 40 до 100 метрів. Її енергетична дія може поширюватися ще на 30-150 метрів.

Перші результати досліджень були надруковані Густавом фон Полем, який виявив, що в Баварії у всіх 58 померлих від раку за певний рік ліжко знаходилося в геопатогенній зоні. Манфред Каррі підтвердив цю теорію, а також виявив особливу сітку на поверхні Землі, що отримала назву «сітка Каррі». Багаторічний досвід Е. Хартмана знайшов відображення у праці «Захворювання як проблема місцезнаходження», в якій було виявлено, що земне випромінювання є причиною не тільки ракових, але й великої кількості психічних та хронічних хвороб. Іменем дослідника була названа «сітка Хартмана». Кете Бахлер, обстеживши за 20 років більше 11 тис. чоловік, у тому числі дітей, зробила висновок, що земне випромінювання, насамперед, знижує захисні властивості організму, дослідила негативний вплив на кожну з систем організму окремо.

У друкованих дослідженнях присутня лише оцінка просторового розташування аномалій земного випромінювання та спроби класифікувати його за енергетичним рівнем. Однак ці оцінки є досить розрізненими та не охоплюють проблему достатньо широко. Таким чином, енергоінформаційний вплив приміщення на людину залишається не врахованим і його облік є актуальним питанням у наш час.

Все це дало підстави для дослідження вищезгаданих енергетичних потоків у масштабі приміщень.

Мета: створити засоби обліку електромагнітного та енергоінформаційного навантаження. Через програмне забезпечення створити моделюючі крати, які допомогали б прогнозувати стан здоров'я людей у майбутньому. Галузь застосування результатів роботи є дуже різноманітною: від будівельних та проектних організацій до побутового використання у офісних та житлових будинках.

Задачі, які поставлені перед дослідженням:

- створити реєстр гепатогенних зон;
- розробити прогнозну карту захворюваності населення, з урахуванням впливу гепатогенних зон на здоров'я людини;
- розглянути баланс енергетичних потоків на глобальному та локальному рівнях, визначити найбільш значущі потоки та доцільність їх обліку;
- розглянути електромагнітне поле Землі в цілому, електромагнітні поля промислові та побутові поля, а також методику оцінки їх впливу на людину;
- дослідити гепатогенне випромінювання Землі, можливі причини його виникнення та його вплив на організм людини, як на клітинному, так і на функціональному рівнях;
- розробити методику для застосування біолокаційного методу при вимірюваннях енергетики приміщень;

Результати дослідження. На даний час, станом на початок 2014 року, єдиною спробою обліку вищезгаданого явища є карти геопатогенних досліджень, але вони дають

односторонню оцінку і не описують цілий ряд факторів, які були включені в інтегральні показники оцінки, застосовані у даній роботі. Також не були внесені в єдиний реєстр. Геопатогенне випромінювання Землі є силовим каркасом планети. Без нього земна кора перетворилася б на текучу субстанцію, яка б носилася в просторі зі швидкістю, близькою до звукової. Німецький вчений Хартман установив, що місця виходу земної енергії на поверхню мають вигляд густої сітки, яка вкриває планету й чітко орієнтована з півночі на південь і зі сходу на захід. Вочевидь, вона пов'язана з тою умовною віссю, навколо якої обертається Земля. Протягом свого існування наша планета не раз змінювала вісь обертання. Мабуть, тому, окрім сітки Хартмана, є ще кілька діагональних. Названі вони іменами своїх відкривачів Каррі й Віттмана. Квадратики першої мають розміри сторін від 2, до 5 метрів, другої - відповідно 1-15 метрів. Існують ще й стометрові геопатогенні сіті. На місцях розломів земної кори усі вони звужуються, ущільнюються до мінімуму. Плануючи інтер'єр, можна не звертати уваги на самі лінії (особливо лінії сітки Хартмана) - їхня ширина близько десяти сантиметрів, інтенсивність випромінювання невелика. Небезпеку становлять лише лінії стометрової сітки. Справді пагубними для людського здоров'я є місця перетину ліній будь-якої сітки. На щастя, вони невеликі, розміром із футбольний м'яч у перерізі.Зазвичай ці "зуби" стирчать на відстані 2-2,5, іноді 3-4 метри один від одного. На місцях геологічних розломів безпечні проміжки між ними зменшуються до метра чи навіть 90 см. Таким чином, у людей збільшуються шанси постійно перебувати в цих хоч і маленьких, але дуже потужних енергетичних воронках. Австрійська вчена К. Бахлер, впродовж 14-ти років досліджувала й спостерігала 11000 чоловік, в тому числі 6500 дорослих, 3000 підлітків й 1500 немовлят та малюків. Отримані результати показали: рак, нервово-психічні й різні хронічні захворювання у дітей й дорослих обумовлені тим, що місця їх сну знаходились в геопатогенних зонах. Найбільш негативний вплив чинять ті зони, які діють на людину кожної доби та впродовж більш як 3-х годин.

Через три роки перебування в такій зоні виникають захворювання: онкологічні, серцево-судинні, нервово-психічні, опорно-рухового апарату. Індуковані перехресним із ліво-сторонньою поляризацією викликають рак, а із правостороньою - розсіяний склероз і лімфогранулометоз. Подвійні зони дії сітки Хартмана, спрямовані на південь-північ, найчастіше ведуть до розвитку серцево-судинних захворювань, а ті, що йдуть із сходу на захід, викликають ревматизм і артрити. У місцях розміщення вузлів Хартмана у людей виникають ішемічні захворювання серця і мозку, астма і ревматизм.

Згідно з дослідженнями М. Матеіна (1992) перехрестя сітки Хартмана створює інтенсивність випромінювання 10 %, вузли сітки Карті - 20 %, а подвійне перехрестя вузлів Хартмана і Карті - 60 % від максимально можливої величини геопатогенного випромінювання.

Встановлено, що для виникнення злоякісних новоутворень важливу роль відіграють довжини хвиль реактивних зон при їх лівосторонній поляризації: 7,3; 7,75; 8,7; 10,0; 10,7; 12,7; 13,9 см.

Шкідливі випромінювання руйнують не тільки біополе людей, тварин і рослин, але і будівлі, дороги, тротуари, сприяють розмноженню шкідників рослин і тварин, птахів і дерев. Зокрема, на вузлах сітки Хартмана молочно-кислі бактерії гинуть протягом 7-10 хв.Польський вчений Єржі Аворман наводить такі дані: у середньому через 10 років постійного перебування в патогенній зоні у 57 % людей з'являються серйозні відхилення у здоров'ї - запаморочення, бронхіальна астма тощо; 33 % уражують важкі недуги: розсіяний склероз, рак, інфаркт, інсульт, а в десяти випадках із ста - смерть.В геопатогенних зонах хворіють також тварини. Латиський вчений М. Лігерс через багато років виявив, що із 35 тисяч корів стійла 800 хворих перебували в геопатогенній зоні. Ці зони провокували у корів

мастити, лейкоз, туберкульоз, зменшували надої. В такій зоні перемагнічується корм і погано засвоюється організмом, тому є низькою продуктивність худоби.На автошляхах наявність геопатогенних зон створює підвищену аварійність, оскільки навіть короткочасне перебування водія в цій зоні спричиняє своєрідний стрес.

Методика виявлення геопатогенних зон. Для виявлення геопатогенних зон використовують методи біолокації. Біолокація - здатність людини визначити наявність яких-небудь об'єктів, предметів у просторі за допомогою індикатора - рамки чи вагаделка. Західноєвропейська назва - радіестезія, американська - доузінг. Люди, які здатні до такого, мають особливе біологічне поле і виражені більшою чи меншою мірою екстрасенсорні здібності. Завдяки цьому вони можуть отримувати інформацію з навколишнього простору. Біолокація - це один із різновидів використання екстрасенсорних здібностей. Встановлено, що такими здібностями володіють близько 80 % усіх людей, а 10-20 % настільки обдаровані ними від природи, що відразу можуть досконало володіти маятником.В ході проведення різних вимірювань я виявила, що 90-95% усіх пухлин у людини виникають у результаті впливу на організм різних зовнішніх факторів. Наукові дослідження показують, що 30% - пухлин є результатом паління, 35% - пухлин - це наслідок неправильного харчування, 10% - пухлин виникають під впливом мікроорганізмів і вірусів, 4-5% - у результаті впливу виробничих факторів, 4-5% - у результаті іонізуючого випромінювання, 2-3% - через уживання алкоголю, 1-2% внаслідок забруднення атмосфери, 4-5% - як наслідок низької фізичної активності.

Таким чином, більша частина пухлин у людини (90-95%) є результатом впливу різних канцерогенів, отже, виявлення й усунення канцерогенів може привести до значного зниження захворюваності раком.

Висновки: Тому, ми рекомендуємо всім провести біолокацію тих місць, де вони сплять, працюють, вчаться й відпочивають більше трьох годин на добу. Ознаки тривалого знаходження в геопатогенній зоні це:1) дратівливість, яку не можна пояснити; 2) слабкість;3) головні болі;4) відчуття страху;5) печія чи поколювання тіла;6) ерцева аритмія;7) зміна кров'яного тиску й температури тіла.

Література:

1. Горшков В. Г. Социально-экономические основы управления природопользованием / В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев, К. С. Лосев // Экология. – 1998. - №3. – С. 163-170.

2. Малышев Ю. Н. Оценка воздействия объектов энергетики на природный комплекс / Ю. Н. Малышев // Энергия. – 1997. - №12. – С. 5-11.

3. Чечкин С. А. Основы геофизики / С. А. Чечкин– Л.: Гидрометеоиздат,1990. – 288 с.

4. Павлов А. Н. Геофизика. Общий курс о природе Земли : учебник / А. Н. Павлов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 454 с.

5. Орлюк М. І. Геомагнітне поле України: екологічний аспект / М. І. Орлюк, А. А. Роменець // Геолог України. – 2003. - №1. – С. 64-70

6. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. – Введ. 1996-08-01.- К.:1996. – 24 с.

УДК 53.082.4

Козьяков В. С., к.т. н, доц., Коваль М. В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Експрес-діагностика стану роботи котельного обладнання

Козьяков В. С., к.т. н, доц., Коваль М. В., магистрант
Национальный технический университет Украіны «Киевский политехнический институт»

Экспресс-диагностика состояния работы котельного оборудования

Kozyakov V. S., PhD of science, Koval M. V., postgraduate
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute »

Rapid diagnosis of the state of the boiler equipment

Запропоновано експрес-методику контролю режимів роботи котельних установок за допомогою віброакустичної діагностики механізмів, наведено алгоритм діагностування робочої установки. Показано суть методу сигнатурного аналізу.
Ключові слова: віброакустична діагностика, режим роботи установки, сигнатурний аналіз.

Предложено экспресс-методику контроля режимов работы котельных установок с помощью виброакустической диагностики механизмов, приведен алгоритм диагностики рабочей установки. Показана суть метода сигнатурного анализа.
Ключевые слова: виброакустическая диагностика, режим работы установки, сигнатурный анализ.

It is proposed a rapid method of control modes of boiler equipment using vibroacoustic diagnostics mechanisms, an algorithm for diagnostic work setting. Shows the essence of the method of signature analysis.
Keywords: vibroacoustic diagnostics, setup mode, signature analysis.

Вступ. Так як нинішнє теплоенергетичне обладнання застаріло, є нагальна потреба проводити постійний контроль його робочого стану, а не один раз в 3 роки чи один раз в 5 років, як цього вимагає порядок. Процес режимно-налагоджувальних випробовувань агрегатів показує, що будь-яка наладка потребує зупинки всього обладнання, що спричинює збої в роботі, або некоректно відображає дійсний стан [1, 2]. Тому тут важливо звертатися до питання безперебійної роботи і проведення одночасного контролю стану котлів і пальників, що не потребує великих матеріальних затрат.

Постановка проблеми.

Наразі є необхідність дослідження можливостей моніторингу роботи теплоенергетичних установок для забезпечення рівня економії в порівнянні із альтернативним обладнанням без використання постійного нагляду і контролю. В даному разі віброакустична діагностика має можливість забезпечити ефективний контроль режимів роботи обладнання.

Можна загалом сказати, що в будь-якій сфері, не влізаючи в деталі виробництва конкретних агрегатів, виділяють підходи до рішення даного класу діагностичних задач.

Адже, виходячи з того, що призначення машин і механізмів – перетворення одного виду енергії в інший, чи одного руху в інший, умовою оптимальності їх функціонування є забезпечення максимально можливого для даної установки ККД. Ця умова означає забезпечення мінімуму втрат потужності на тепло і звукоутворення. Тому відхилення рівня віброактивності механізму в сторону його збільшення є ознакою відхилення технічного стану в гіршу сторону, і отже, основою для пошуку причини підвищеної віброактивності [1].

Проектний агрегат повинен мати досить чітку теоретичну розрахункову модель для забезпечення можливості оцінки частот його збудження і власних коливань і оцінки ймовірності виходу на резонансні режими. Для фізичного моделювання корисно скористатися даними систематичних віброакустичних замірів в процесі ресурсних випробовувань механізму.

Основні результати дослідження.

Алгоритм віброакустичного діагностування (рис. 1) задає склад, чергування і спосіб діагностування і в залежності від мети може бути простим, якщо потрібно встановити лише робочий стан механізму, і складним, якщо треба встановити глибший діагноз, який допоможе локалізувати несправності.

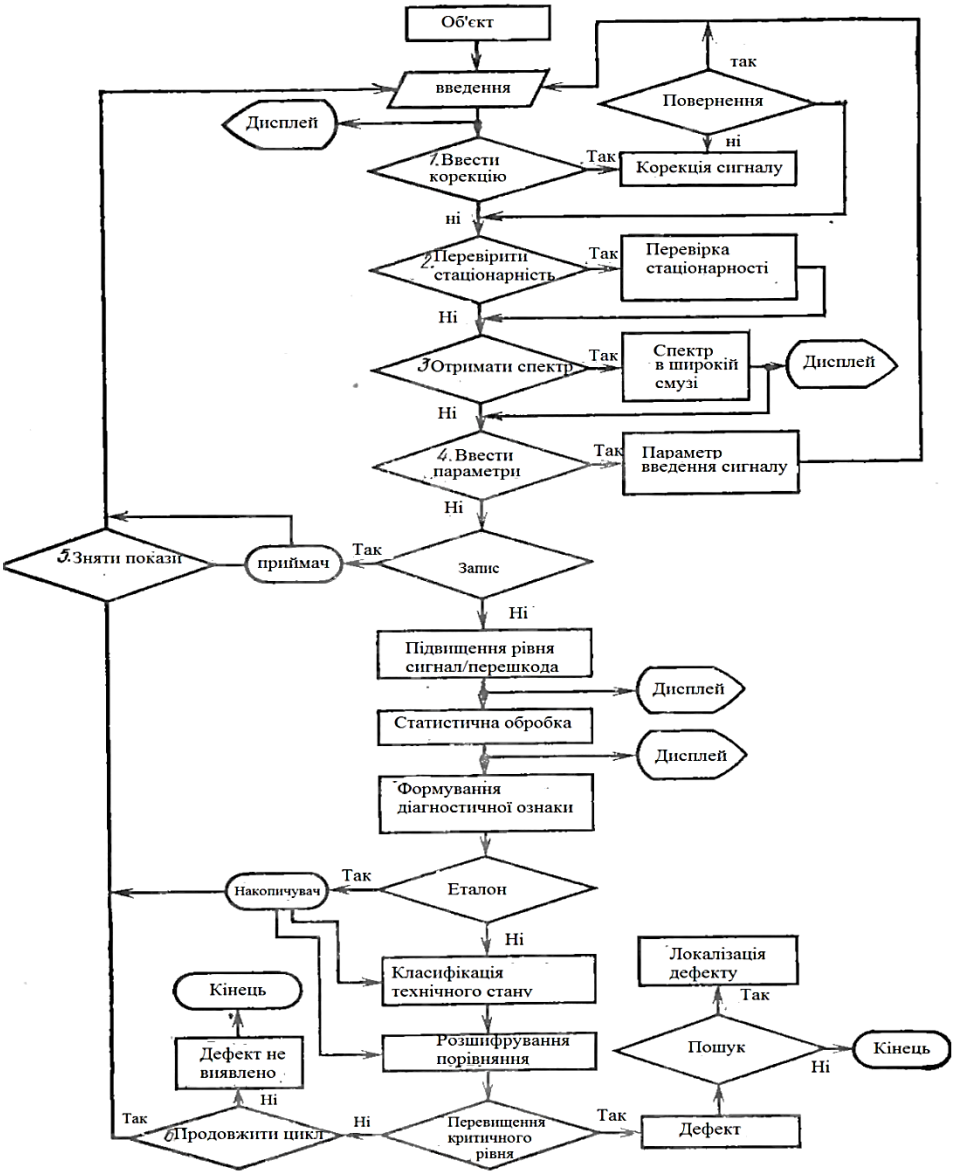


Рисунок 1 – Алгоритм акустичного діагностування механізму

Розпізнання технічного стану обладнання проводиться порівнянням наявного спектру з пороговими значеннями, сформованими по еталонному спектру. Якщо сигнатури досліджуваного спектру перевищують сигнатури маски еталонного спектру більше, ніж на допустиме значення, яке передбачене програмою (4-12 дБ), то включається підпрограма реєстрації значень різниці досліджуваного і еталонного спектру, яка свідчить про наявність дефектів.

Перевищення порогових значень реєструється при роздруківці вказівкою рівня перевищення (в децибелах) на відповідній частоті (в герцах), на основі чого проводиться ідентифікація частот. Виходячи із властивостей динамічної моделі механізму і у відповідності з його діагностичною моделлю встановлюється фактичний стан об’єкта. Графічне зображення результатів використання програми сигнатурного аналізу для ідентифікації дефектів збірки редуктора зображено на рис. 2

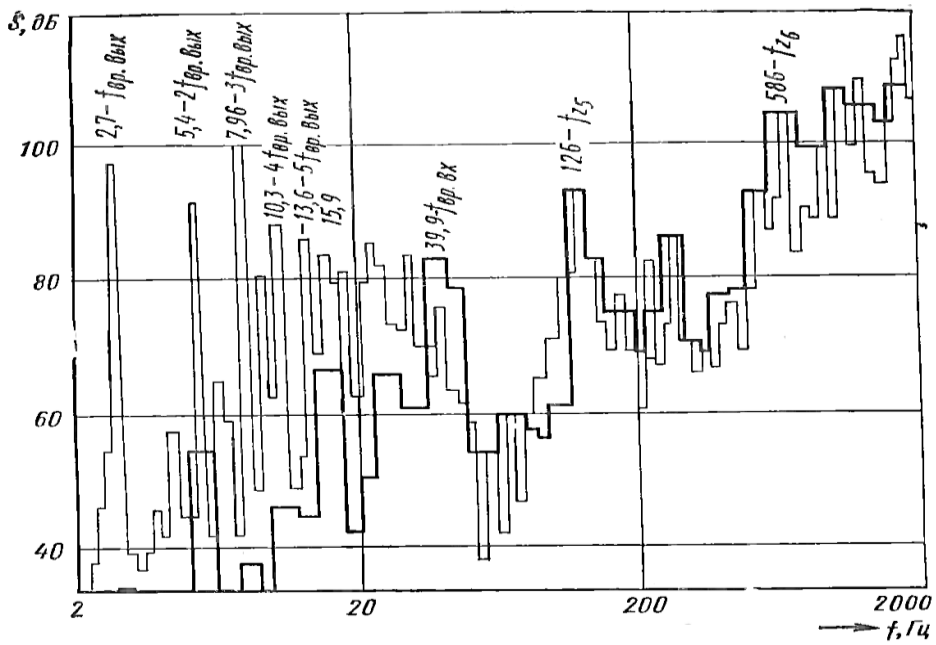


Рисунок 2 – Метод сигнатурного аналізу: - досліджуваний спектр; ▬ -еталонний спектр-маска

В цьому процесі перекошення підшипника вихідного валу викликало збільшення вібрацій корпусу редуктора на складових, кратних частоті обертання вихідного валу [3].

В даному випадку, розглядаючи розподіл спектру шуму по котельній, аналогічно можна, використовуючи покази, зафіксовані під час еталонних вимірів, проводити швидку діагностику, експрес-оцінку стану всього котельного апарату. Це не потребує великих матеріальних затрат, і додатково може спрогнозувати можливі ризики виникнення несправностей в майбутньому. Проведення вимірів шумових характеристик в широкосмуговому спектрі дасть можливість локалізувати усі можливі неполадки обладнання, що призводять до перевитрат паливної суміші і викидів шкідливих речовин.

ВИСНОВКИ

Використання віброакустичної діагностики проводять на різних етапах «життя» теплоенергетичного обладнання: від створення до монтажу і пошуку неполадок в процесі роботи. Основний працюючий метод, що є спрощеним варіантом в даному випадку, є порівняння досліджуваного спектру шуму від робочого обладнання із його еталонним спектром. Наявні перебільшення значення звукових тисків на окремих частотах на 4-12 дБ, свідчитимуть про збої в роботі і потребі в детальнішому аналізі роботи всієї установки.

Література

1. Адольф Мировски. Материалы для проектирования котельных и современных систем отопления / Издание I. - Виссманн Польша, 2005 г. – 243-253 с.
2. Режимно-наладочные испытания котлов. [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: http://www.otopimdom.ru. Последнее обращение: 22.04.14.
3. Генкін М. Д. Віброакустична діагностика машин і механізмів. /М. Д. Генкін. – М.: Машинобудування, 1987. – 141-190 с.

УДК 53.082.4

Козьяков В. С., к.т. н, доц., Коваль М. В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вплив режимів роботи котельного обладнання на його акустичний характер

Козьяков В. С., к.т. н, доц., Коваль М. В., магистрант
Национальный технический университет Украіны «Киевский политехнический институт»

Influence of modes of boiler equipment at its acoustic character

Kozyakov V. S., PhD of science, Koval M. V., postgraduate
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute »

Проведено вимірювання акустичного випромінювання від котельного обладнання при зміні режимів роботи. Показано частоти максимальної величини рівнів звукового тиску.
Ключові слова: акустичне випромінювання, котельне обладнання, рівень звукового тиску, параметри впливу.

Проведены измерения акустического излучения от котельного оборудования при изменении режимов работы. Показано частоты максимальной величины уровней звукового давления.
Ключевые слова: акустическое излучение, котельное оборудование, уровень звукового давления, параметры воздействия.

It was realized a measurement of acoustic radiation from the boiler equipment with changing modes. It was displayed a maximum value of frequency sound pressure levels.
Keywords: acoustic radiation, boiler equipment, value of frequency sound pressure levels, parameters of influence.

Вступ. Сьогодні важливим питанням є діагностика стану застарілого теплоенергетичного, зокрема, котельного обладнання і пошук шляхів покращення його стану без закупки додаткового обладнання, тому актуальною темою є визначення ролі акустичного випромінювання під час роботи котлів. Для цього потрібно точно визначити основні режимні впливи.

Постановка проблеми. Робота котельного обладнання регулюється за допомогою режимної карти, що видається на кожен котел. Дана карта відображає певну кількість режимів, при якій установка може забезпечувати утворення відповідної кількості теплоти. При цьому спостерігається і зміна акустичного характеру роботи установки. Необхідно виділити 5 основних режимів роботи, щоб показати, наскільки впливовим на рівень шумового випромінювання є їхнє регулювання.

Основні результати дослідження.

Вимірювання шуму котельного обладнання проводилось на одній із тепломереж м. Житомир шумоміром 00017 фірми RFT. Всі умови дотримано згідно ГОСТ 12.1.028-80 [1]. Шумомір встановлювався перед пальниковим пристроєм, який вбудований в водотрубний водогрійний котел КВГМ-20 [2].

Водогрійні котли водотрубні серії КВ-ГМ [3] призначені для опалення і гарячого водопостачання житлово-комунальних та промислових об'єктів. Котел представляє собою

теплоагрегат, що підігріває воду теплової мережі напряму або через теплообмінники. Діапазон регулювання навантаження - 30-100 %. Котли працюють на природному газі, дизельному паливі, мазуті, твердому паливі.

Котел КВ-ГМ - газощільний, з горизонтальним чи вертикальним розташуванням поверхонь нагріву. Котли з руху димових газів є одноходовими (прогоновими), двоходовими, триходовими. Конструкція котла включає в себе топкову камеру і конвективну поверхню нагрівання, розташовану за топковою камерою. Камера згоряння котла і конвективна частина екрановані мембранними панелями.

На рис. 1, 2 приведені результати вимірювання рівнів звукових тисків, дБ, і рівнів звуку, дБА. Підмічено, підтвердженням є те, що шумоутворення посилюється при збільшенні потужності роботи пальників.

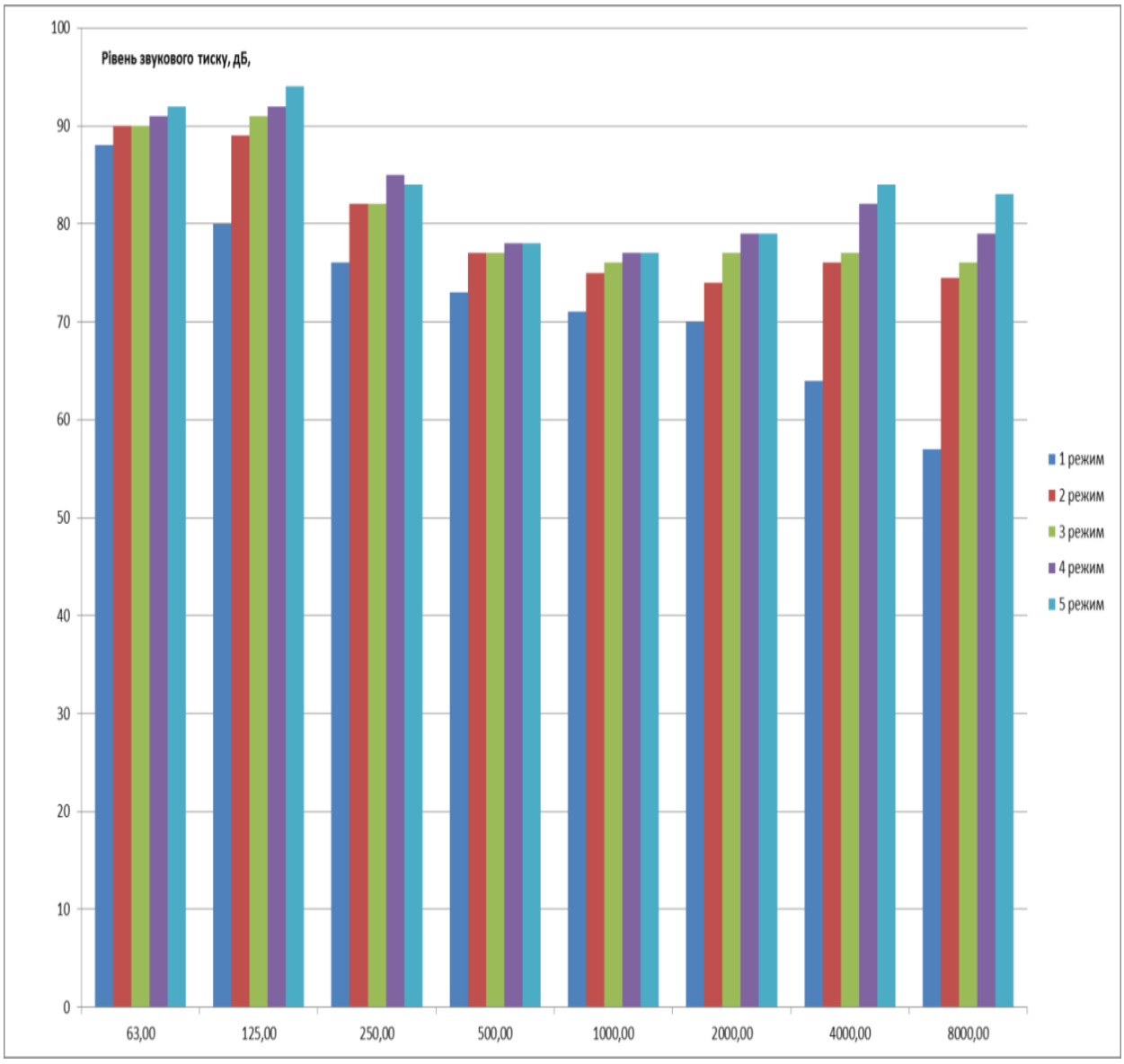


Рисунок 1 – Гістограма зміни рівнів звукових тисків при п’яти режимах роботи пальника

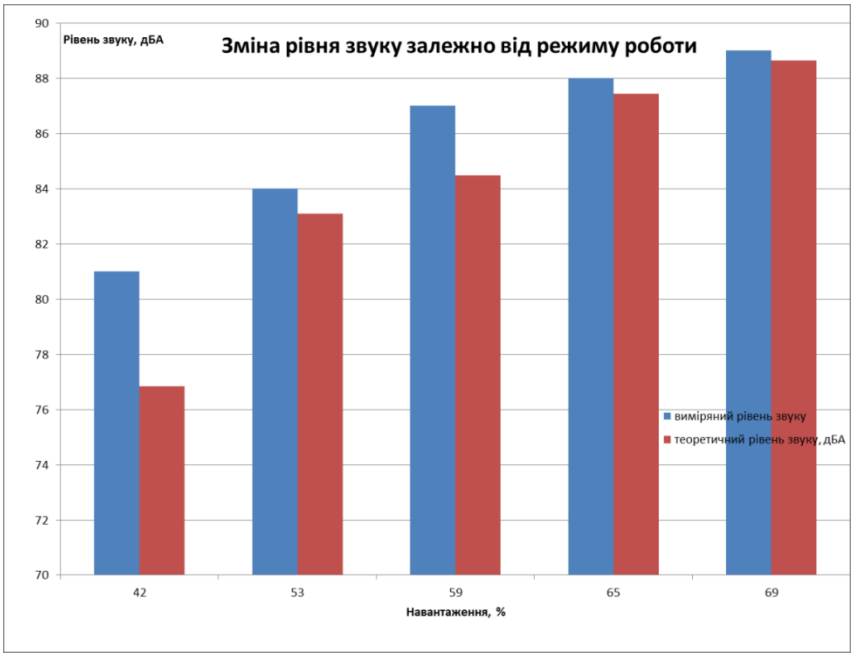


Рисунок 2– Зміна рівня звуку при збільшенні навантаження робочої установки

З рис. 3 бачимо, що величина шуму найбільша на низьких частотах, із збільшенням потужності величина шуму помітно зростає на середньогеометричній частоті 125 Гц.

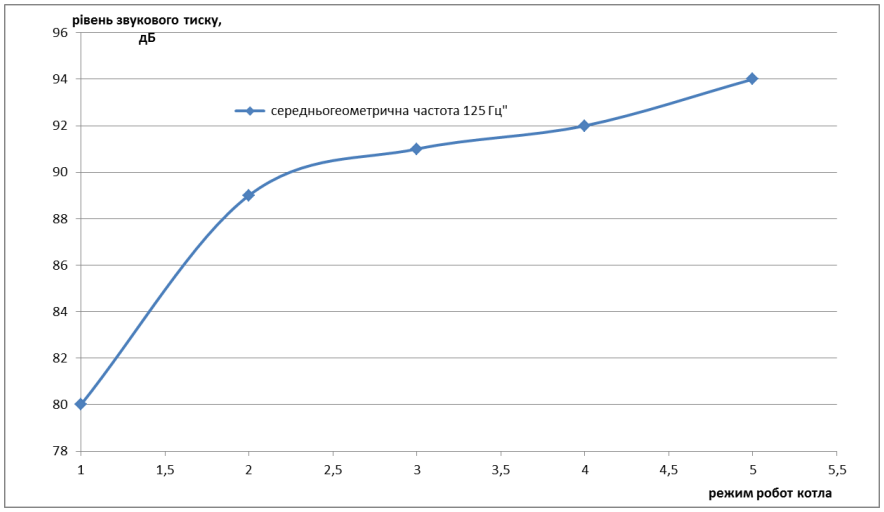


Рисунок 3 – Зміна звукового тиску на середньогеометричній частоті 125 Гц

Висновки.

Отримані результати свідчать про зростання величини шумового випромінювання від котельної установки, таке зростання спостерігається насамперед на низьких частотах. Проведення додаткових акустичних вимірювань допоможе створити методику акустичного

діагностування роботи котла.

Література.

1. Методичские указания к комплексным лабораторным работам «Защита от вибрации и шума» / И. А. Фоменко, В. С. Козьяков, А. И. Полукаров. – К. КПИ, 1988. – 32 С.
2. ГОСТ 12.1.028-80. Определение шумовых характеристик источников шума. Ориентировочный метод. Оф. Узд. – М. 1980. – 7 с.
3. Водогрейный котел КВ-ГМ-20-150(КВ-ГМ-23,26-150). [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: tepenerg.ru. Последнее обращение: 22.04.14.

УДК 502/504:621.4

КОЗЬЯКОВ В. С., к.т.н., доцент; КОФАНОВ О. Є., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ

КОЗЬЯКОВ В. С., к.т.н., доцент; КОФАНОВ А. Е., магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

KOZYAKOV V., PhD, KOFANOV O., graduate student
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

THE METHODS OF DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL RISKS

У статті розглянуто ключові поняття у сфері екологічних ризиків, зокрема власне екологічний ризик, як саме його можна оцінити, які є методи визначення екологічних ризиків. Проаналізовано доцільність, переваги й недоліки застосування різних методів оцінювання екологічного ризику у певних ситуаціях.

Ключові слова: *екологічний ризик, оцінка екологічних ризиків, екологічна небезпека, екотоксикологічна крива, прогнозування, математичне моделювання.*

В статье рассмотрены ключевые понятия в сфере экологических рисков, а именно собственно экологический риск, каким образом его можно оценить, какие методы используются для определения экологических рисков. Проанализирована целесообразность, преимущества и недостатки использования различных методов оценки риска в определенных ситуациях.

Ключевые слова: *экологический риск, оценка экологических рисков, экологическая опасность, экотоксикологическая кривая, прогнозирование, математическое моделирование.*

In the article the key concepts in the field of environmental risks are describe, such as the environmental risk, how it can be assessed and available methods for ecological risks estimation. The reasonability, some advantages and disadvantages of using these methods in appropriate situations are analyzed too.

Keywords: *environmental risk, environmental risk assessment, environmental hazard, ecotoxicological curve, forecasting, mathematical modeling.*

Вступление. Мы живем во времена невиданного технического прогресса, когда открыты и внедрены в производство новые технологии, освоена энергия атомного ядра, широкое развитие получили биотехнологии, химические производства, человечество использует компьютеры и мобильную связь. Современный мир это мир передовых технологий, появление которых обусловило создание огромного количества разнообразных отраслей промышленности, начиная от добывающей и заканчивая высокоинтеллектуальной сферой информационных технологий. Все это стало причиной стремительного роста количества и видов рисков, в том числе и экологических.

Постановка проблемы. При любом виде деятельности человека существует

определенная степень риска получения травмы, профессионального заболевания или смерти. Неблагоприятные ситуации подстерегают человека не только на производстве, но и в быту, в любом другом месте. Полная безопасность не может быть гарантирована никому, независимо от образа жизни, особенно если речь идет о явлениях, связанных с неблагополучным экологическим состоянием окружающей среды. Почти любая техническая система, созданная для удовлетворения потребностей человека, создаёт опасности. Возможность пострадать от какой-либо опасности создает риск для здоровья или жизни отдельного человека, определённой группы людей или даже всего населения. То есть деятельность человека порождает экологические риски.

Для оценки экологического риска, связанного с тем или иным производством, устройствами, технологическими процессами или техническими системами, необходимо оценить их надёжность. Зная надёжность любого устройства или системы, можно вычислить риск аварии и оценить её последствия. Стоит отметить, что при оценке надёжности сложных технических систем или технологических процессов, в управлении которыми участвует человек, всегда оценивают еще и его надёжность или, как принято говорить, учитывают человеческий фактор. Следовательно, для осмысления проблем экологической безопасности большое значение имеет знание и понимание основных понятий и терминов, относящихся к данной области науки [1].

Целью работы является анализ ключевых понятий в сфере экологических рисков, а также целесообразности, преимуществ и недостатков использования различных методов их определения и оценки.

Согласно поставленной цели определены следующие *задачи исследования*:

1. Выяснить содержание ключевых понятий в сфере экологических рисков.
2. Изучить особенности разнообразных методов оценки экологических рисков.
3. Проанализировать целесообразность использования тех или иных методов.
4. Выявить основные преимущества, недостатки и сферы применения различных методов оценки экологических рисков.

Основная часть. Понятие риска сочетает в себе как минимум две вероятности: вероятность реализации неблагоприятного воздействия и вероятность поражения, потерь, нанесенных этим воздействием объектам окружающей среды и населению. Риск означает вероятность возникновения конкретного эффекта в течение определенного времени или при определенных обстоятельствах. Иными словами, риск – это количественная или качественная оценка опасности. Экологический риск – это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Рассмотрим основные методы оценки экологических рисков. Оценка экологического риска – это процедура анализа экологического риска, включающая в себя оценки вероятности возникновения неблагоприятного воздействия, вероятности поражения объектов окружающей среды, величины и цены экологического риска [1].

Методы оценки экологических рисков *первого рода* основаны на общих методах оценки рисков. Наибольшее распространение получили методы статистического направления. Оцениваются некие средние по времени и пространству характеристики ущербов от различных экологических опасностей первого рода, являющихся источниками экологических рисков первого рода. Оценивается также доля территории, подверженной воздействию той или иной экологической опасности первого рода (саранча, вредители и т.п.), частота или вероятность таких опасностей. Оценке подлежит и средний годовой ущерб для каждого источника экологической опасности первого рода. Как можно увидеть,

количество статистических характеристик по рискам первого рода может быть достаточно большим.

Преимуществом статистического направления оценки экологических рисков первого рода является простота вводимых оценок таких рисков, возможность их использования в прямом сравнении с другими видами риска, доступность для широкого круга пользователей и субъектов риска. Недостатком этого направления является достаточно высокие затраты на сбор первичной информации, ее статистическую обработку, последующее распространение информации о рисках заинтересованным лицам, в том числе и субъектам риска, органам контроля и надзора. Отсутствие необходимой первичной информации или ее недостаточный для статистической обработки объем делает невозможным применимость данного направления для оценки экологических рисков первого рода [2; 3].

При оценках экологических рисков первого рода могут использоваться также методы интуитивного прогнозирования рисков с использованием субъективных вероятностей и метода эксперных оценок. Находят применение и методы математического моделирования, в том числе методы статистического моделирования.

Рассмотрим методы оценки прямых и косвенных экологических рисков *второго рода*, связанных с негативными воздействиями на экосистемы в процессе нормальной экономической деятельности в штатном режиме. Прямые экологические риски второго рода, обусловленные нанесением потенциальных ущербов собственнику живых ресурсов из-за неадекватного воздействия, оценить весьма сложно. Для использования для этих целей статистических методов требуются специальные наблюдения в значительных объемах. Поэтому широкое применение получили различные интуитивные методы оценок таких рисков, в частности метод экспертных оценок. Однако количество экспертов в данной области весьма ограничено, а их рекомендации могут игнорироваться органами власти [3].

Для оценки косвенных экологических рисков второго рода, связанных с химическими веществами, как правило, используются экотоксикологические кривые. Химические вещества воздействуют на людей и вызывают повышенный уровень заболеваний и смертности. Этот повышенный уровень характеризуется риском здоровью и риском для жизни. В частности, для определения риска здоровью сравнивают показатели двух групп людей: группы риска и контрольной группы. Люди из группы риска подвергаются воздействию химического вещества заданной концентрации. Под риском здоровью понимается отношение разности между количеством заболевших людей в группе риска, подвергшихся воздействию определенного химического вещества в течение определенного времени экспозиции, и количеством заболевших людей в контрольной группе, не подвергавшихся такому воздействию, к количеству людей в группе.

Экотоксикологическая кривая представляет собой график роста риска заболевания в зависимости от концентрации химического вещества, времени экспозиции и способа воздействия. В качестве параметра, характеризующего экотосикологическую кривую, иногда используют так называемый наклон, отражающий линейную составляющую этой кривой. Риск для жизни рассчитывается аналогичным образом, однако возможности определения соответствующей экотоксикологической кривой существенно ограничены из-за невозможности постановки активных экспериментов над людьми [3].

Косвенные экологические риски второго рода, связанные с химическими веществами, рассчитывают и для различных видов животных, составляющих живые ресурсы в практике природопользования. Здесь также используются экотоксикологические кривые риска здоровью и риска для жизни, но для каждого биологического вида или класса отдельно.

В последнее время специалисты стали оценивать последствия штатного воздействия различных предприятий на окружающие экосистемы не только для полезных живых ресурсов, но и для всех живых организмов на данной территории. Это воздействие также формулируется в терминах риска жизни и здоровью отдельным живым организмам, но при этом резко возрастает количество таких организмов. На определенной территории охраняемыми становятся уже не отдельные полезные виды живых ресурсов, а сами экосистемы. При этом резко увеличивается количество живых организмов, для которых используются экотоксикологические кривые; также расширяется спектр принимаемых во внимание химических веществ. Такой подход постепенно формируется, например, в США и Европейском Союзе [3; 4].

Для сокращения объема наблюдений за состоянием экосистем и влиянием на них различных химических веществ, был предложен метод скрининга. Его суть сводится к тому, что на основании предварительных исследований концентраций различных химических веществ и сопоставления их с набором экотоксикологических шкал риска для жизни местной биоты для мониторинга отбираются только те химические вещества, концентрации которых уже в данный момент представляют угрозу для биоты. Применение метода скрининга позволяет резко сократить объем наблюдений при мониторинге состояния загрязнения окружающей среды за счет игнорирования тех химических веществ, которые не оказывают существенного экотоксического воздействия для данной территории.

Задачам уменьшения объема наблюдений служат и экотоксикологические шкалы, которые, в отличие от экотоксикологических кривых, отражают экологический риск второго рода не для отдельного биологического вида, а для сообществ в определенной среде. Такие экотоксикологические шкалы разрабатываются для территорий (акваторий) и служат для них обобщающими кривыми экологических рисков второго рода.

Для оценки косвенных экологических рисков второго рода, связанных с определенными физическими полями (радиация, электромагнитные поля, шум и т. п.), для каждого из полей определяются кривые рисков здоровью и жизни в зависимости от физических параметров этих полей. Риски здоровью и жизни определяются так же, как и для экотоксикологических кривых, используя контрольную и рисковую группы людей или различных живых организмов. Кроме прямого влияния на жизнь и здоровье людей и живых организмов физические поля могут влиять на их поведение, вызывая миграции, агрессию, панику и т. п. Эти факторы косвенных экологических рисков второго рода в настоящее время практически не исследованы, не оцениваются и не учитываются при ведении экономической деятельности.

Методы оценки косвенных экологических рисков, связанных с неправильным размещением технических объектов в окружающих экосистемах, основаны в основном на применении экспертных оценок. Такая оценка проводится, в первую очередь, на стадии проектирования технических объектов в рамках процедуры ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду) и проведения Государственной экологической экспертизы [3; 5].

Методы оценки экологических рисков *третьего рода*, связанных с аварийными инцидентами на технических объектах, основываются на проведении специальных исследований и интуитивных методах, включая экспертные оценки и статистическое моделирование. Заранее невозможно определить, какие живые организмы и их популяции окажутся пораженными в результате той или иной аварии, а также предсказать масштабы поражений. Обычно только после аварии или катастрофы можно оценить ущерб живым организмам и экосистемам. Причем на эту оценку может понадобиться значительное время,

усилия большого количества исследователей и специалистов с использованием специального оборудования, а также весомые материальные затраты. Полученные закономерности по гибели живых организмов в ходе аварий и катастроф могут быть использованы для оценки аналогичных ущербов при подобных авариях [3; 6].

Для оценки и прогноза экологических рисков третьего рода широко применяются интуитивные методы, включая субъективные вероятности и экспертные оценки. Наиболее распространенным методом оценки и прогноза экологических рисков третьего рода, связанных с запроектными и гипотетическими авариями на опасных технических объектах, является статистическое моделирование.

Переносы опасных химических субстанций в различных природных средах (атмосфера, гидросфера, литосфера) рассчитываются с помощью сложных математических моделей, реализованных в специальных программных средах. Затем вычисленные траектории накладываются на карты расположения мест обитания тех или иных живых организмов, определяется время экспозиции. По экотоксикологическим кривым оцениваются потенциальный ущерб в виде погибших и заболевших организмов, сокращения числа популяций и т. п. Такие методы моделирования, как правило, построены на базе геоинформационных систем. То есть результаты моделирования представлены в виде карт с определенными зонами риска.

При построении модельных сценариев обязательно учитывается опыт реальных катастроф технических объектов в определенных природных условиях. Очень важно, что метод статистического моделирования позволяет воспроизвести синергетические эффекты, характерные для определенного вида рисков. В рамках статистического моделирования необходимо учитывать также специфические формы поражения живых организмов, не связанные с отравлениями [3; 7].

Оценка экологических рисков четвертого рода, как правило, происходит в рамках статистического направления, а также методом экспертных оценок (в рамках интуитивного направления) [3]. Кроме перечисленных методов для описания проблем промышленной безопасности часто используют также метод дерева событий (дерева отказов) для комплексного анализа устойчивости функционирования промышленной безопасности предприятий [8].

Выводы. На основании анализа методов определения и оценки экологических рисков можно сделать выводы: 1) методы оценки экологических рисков первого рода основаны на общих методах оценки рисков, среди которых наибольшее распространение получили методы статистического направления; 2) для оценки экологических рисков второго рода применяются интуитивные методы оценки рисков, в частности, метод экспертных оценок. В некоторых случаях применяют экотоксикологические кривые и шкалы, метод скрининга и др.; 3) методы оценки экологических рисков третьего рода основываются на проведении специальных исследований и на интуитивных методах (экспертные оценки, статистическое моделирование); 4) оценка экологических рисков четвертого рода обычно выполняется в рамках статистического направления, а также методом экспертных оценок в рамках интуитивного направления; 5) для описания проблем промышленной безопасности используют метод дерева событий (дерева отказов) для комплексного анализа устойчивости функционирования и промышленной безопасности предприятий.

Литература

1. Касьяненко А. А. Современные методы оценки рисков в экологии: учеб. пособ. /

А. А. Касьяненко – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 271 с.

2. Багров А. В. Техногенные системы и теория риска / А. В. Багров, А. К. Муртазов; Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина. – Рязань , 2010. – 207 с.

3. Карлин Л. Н. Управление энвиронментальными и экологическими рисками / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 332 с.

4. Техногенные системы и экологический риск: учеб.-метод. пособ. / Сост. Н. В. Чибисова. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта. – 2007. – 51 с.

5. Яковлев В. В. Экологическая безопасность, оценка риска / В. В. Яковлев – СПб.: СПбГПУ, 2007. – 476 с.

6. Идентификация и оценка рисков предприятия / Павел Иванов [Руководитель направления Департамента управленческого консалтинга] – БЕЙКЕР ТИЛЛ РУСАУДИТ [Електронный ресурс]. – Режим доступа: www.russaudit.ru. − Название с экрана. − Язык русский.

7. Ветошкин А. Г. Техногенный риск и безопасность / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 171 с.

8. Зеркалов Д. В. Экологическая безопасность [Электронный ресурс]: монография / Д. В. Зеркалов. – Электрон. дан. – К. Основа, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. требования: Pentium; 512 Mb RAM; Windows 98/2000/XP; Acrobat Reader 7.0 – Название с тит. экрана.

УДК 514.18
Ю.Р. ХОЛКОВСЬКИЙ, к.т.н., О.Є. КОФАНОВ, студ.

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРОВИХ ПРОЦЕСІВ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ ДЛЯ ОЦІНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

УДК 514.18
Ю.Р.ХОЛКОВСКИЙ, к.т.н., А.Е. КОФАНОВ, студ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ

UDC 514.18
Yu.R. KHOLKOVSKY, phd, A.E. KOFANOV, stud.

MODELING MULTIPARAMETER PROCESSES IN ENVIRONMENT FOR ESTIMATION OF ANTHROPOGENIC INFLUENCE

Анотація: У роботі розглядаються оптимальні методи моделювання складних багатопараметричних процесів та екологічних систем у зв'язку з підвищенням вимог щодо якості кінцевих результатів задач прогнозування екологічної безпеки певного середовища та процесів і необхідністю оцінки антропогенного впливу.
Ключові слова: екологія, екологічні системи, інтерполяція, однопараметрична множина, дискретні функції, дискретні моделі.

Аннотация: В работе рассматриваются оптимальные методы моделирования сложных многопараметрических процессов и экологических систем в связи с повышением требований к конечным результатам задач прогнозирования экологической безопасности сред и процессов и необходимостью оценки антропогенного влияния.
Ключевые слова: экология, экологические системы, интерполяция, однопараметрическое множество, дискретные функции, дискретные модели.

Annotation: This paper considers the optimal methods of modeling complex multivariable processes and ecological systems due to increasing demands for the end results of forecasting problems of ecological safety of media and processes and the need to assess the anthropogenic impact.
Keywords: ecology, ecological systems, interpolation, one-parameter the set, discrete functions, discrete models.

Проблеми екології, оцінка антропогенного впливу багатьох екологічних процесів та середовищ є вельми актуальними у наше сьогодення. Суттєво підвищуються сучасні вимоги щодо якості кінцевих результатів задач прогнозування екологічної безпеки тощо. В той же час екологічні системи та процеси, що у них відбуваються, є багато параметричними, що значно ускладнює роботу з такими системами у вигляді створення їх математичних моделей та подальшої їх оптимізації. Розробка оптимальних методів та алгоритмів моделювання складних багатопараметричних екологічних систем та процесів є актуальною задачею.

Задачею екологічного моніторингу, як інформаційної системи спостережень, оцінювання й прогнозування змін у стані компонентів довкілля, є виділення антропогенної складової на фоні природних біосферних процесів. В умовах сучасної глобальної екологічної кризи, неконтрольованого впливу людини на навколишнє середовище робота з організації екологічного моніторингу набуває особливої значущості.

Природні екосистеми тісно взаємопов'язані одна з одною, тому моделювання, прогнозування й контроль стану компонентів довкілля є складним, багатопараметровим і стохастичним процесом.

У зв’язку з цим актуальність даної роботи полягає у створенні оптимальних математичних моделей екологічних середовищ та процесів, що дасть можливість розрахунків, подальшого прогнозування їх стану, оцінки антропогенного впливу.

Розробку вказаних математичних моделей пропонується здійснити на основі використання дискретно-інтерполяційного підходу щодо моделювання складних багатопараметричних екологічних процесів та систем, та створенні відповідної дискретно-інтерполяційної екологічної матриці, надалі екоматриці.

Як відомо, екологічні процеси, системи та середовища, як правило, відносяться до структур, що мають неоднорідну структуру і велику кількість параметрів, тому побудувати континуальну, тобто неперервну, математичну модель таких систем практично неможливо. Цілком зрозуміло, що такі моделі можуть мати дискретний характер. В той же час, створення математичної, а саме, геометричної моделі таких систем чи середовищ можливо на основі дискретно-інтерполяційного підходу.

Зазначимо, що у багатьох задачах геометричного моделювання систем та процесів виникає необхідність побудови однопараметричної множини різних об’єктів чи навіть процесів. Таким об’єктом може бути деяка поверхня, або гіперповерхня, як **n**-вимірна модель певного середовища, що задана аналітично чи дискретно. Необхідно підкреслити, що дискретний спосіб представлення інформації про об’єкт, чи систему, що моделюється, є одним з раціональних і найбільш універсальним. Наприклад, від континуальної моделі завжди можна перейти до дискретної.

Отже, виникає задача побудови однопараметричних множин певних математичних об’єктів, наприклад, у вигляді деяких дискретних масивів параметрів, що характеризують екологічне середовище, що вивчається й моделюється. Саме такі задачі виникають при прогнозуванні екологічної безпеки такого середовища, оцінці антропогенного впливу забруднення тощо.

Моделювання складних екологічних систем чи процесів, що не піддаються аналітичному опису, може бути здійснено на основі дискретно-інтерполяційного підходу з використанням дискретних чисельних масивів різних екологічних параметрів, що, і це особливо підкреслимо, мають різноякісну природу. Вказані дискретні масиви та побудовані на їх основі однопараметричні множини й є геометричними моделями екологічних систем та процесів. Зазначимо, що такі моделі оптимально підходять для подальшого проектування. Це пов’язано з подальшим розвитком та ускладненням систем та процесів із великим рівнем параметричності.

У роботі пропонуються певні інтерполяційні схеми створення однопараметричних множин вищеназваних дискретних масивів за допомогою інтерполяційних поліномів Лагранжа. На нашу думку, вибір таких поліномів, серед інших інтерполяційних поліномів є оптимальним і пов'язаний з тим, що рівномірність у розташуванні вузлів інтерполяції є необов’язковою, а це дуже актуально й важливо та існує можливість представлення по кожній змінній своєї кількості вузлів інтерполяції тощо.

До оригінальності даної роботи віднесемо той факт, що під вузлами інтерполяції розуміються не точки, як у випадку класичної інтерполяції, а більш складні математичні об’єкти (масиви, матриці, тензори), або ж навіть певні процеси та системи, що представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей та параметрів, що мають неоднорідну та різноякісну структуру. Саме у цьому, власне, й полягає нетрадиційність та підходу. Відповідно, надалі під схемою інтерполяції будемо розуміти схему розташування саме таких вузлів інтерполяції. Також треба відзначити, що запропонований підхід щодо моделювання екологічних систем, процесів та середовищ практично відсутній у літературі.

Такий підхід надає змогу включати в однопараметрову множину системи та процеси,

що мають різну структуру і навіть різні властивості, що просто неможливо функціонально-аналітично поєднати у звичайній математичній моделі.. Тому застосування такого підходу до моделювання складних екологічних систем, а також середовищ, що характеризуються великою кількістю різноякісних параметрів є перспективним.

Інтерполювання функцій, які можуть бути задані неявно або параметрично, зводиться до розміщення у вузлах інтерполяції рівнянь або дискретних масивів і отримання деякого функціонала з вектором параметрів, що включає в себе інтерполяційний параметр, координатні змінні, параметри, що характеризують форму й положення об'єктів, параметричні характеристики процесів тощо.

Однопараметричні множини, отримані на основі даного підходу, є дискретними математичними моделями екологічних процесів, систем, та середовищ. Елементом таких множин є деяка дискретна функція, що у загальному випадку може бути представлена, як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись. Це дає можливість отримати певний функціонал $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$ з вектором параметрів, що, окрім координатних змінних та інтерполяційного параметру, включає в себе параметри, що характеризують стан, структуру, положення екологічних об'єктів та систем.

Нехай $\mathbf{F}(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)$ – багатопараметрична неявно задана функція. Сформуємо її у вигляді деякого функціонала $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$, що заданий матрицею $\mathbf{M[i, j]}$:

$$\mathbf{F}(p_1, p2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m) = \mathbf{M[i, j]},$$

де $p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m$ – екологічні різноструктурові та різноякісні параметри (показники забруднення, рівень концентрації певних речовин, врахування природних особливостей середовищ тощо).

Отже $\mathbf{M[i, j]}$ і є вузловою дискретно-інтерполяційною екологічною матрицею. Розглядаючи її у якості певного вузла інтерполяції, використаємо інтерполяційний поліном Лагранжа і в випадку одновимірної інтерполяції отримаємо $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$ як

$$\Phi(p_{i,j}) = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j},$$

де u – параметр інтерполяції, наприклад, певний вектор спрямованості; n – кількість вузлів інтерполяції.

Вираз $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$, що являє собою узагальнену дискретно-інтерполяційну екоматрицю, є дискретною геометричною моделлю екологічної системи чи середовища.

При запропонованому підході важливим фактором є введення певного критерію інтерполяції, що пов'язано з таким фактом, що інтерполяційний поліном фактично є зрізаним рядом (як відомо, аналогом ряду Тейлора) у наслідок того, що він обмежений степенем **n**. Тому для збіжності відповідного аналога ряду Тейлора необхідно спадання абсолютної величини коефіцієнта при **u** з ростом степеня **u.**

Критерієм гарної апроксимації, особливо у випадку багатовимірної інтерполяції, є спадання абсолютних величин похідних по всім змінним із зростанням їх порядку.

У зв'язку з вищевикладеним виникають такі перспективні задачі щодо моделювання екологічної ситуації певного середовища:

1. Визначення рівня шкідливості: у часі й за напрямком.
2. Оптимальність розташування систем вимірювання екологічних параметрів та оцінки забруднення й антропогенного впливу.
3. Динамічне та довгострокове прогнозування забруднення навколишньої території.

Отже, запропонований підхід може бути найбільш ефективним при моделюванні

екологічних об’єктів та середовищ з великою кількістю різноякісних параметрів, якщо йдеться про якісну та кількісну оцінку впливу екологічного забруднення на довкілля, а також оцінку антропогенного впливу.

Висновки: Таким чином, на основі запропонованого дискретно-інтерполяційного підходу ми отримуємо можливість будувати дискретні математичні моделі досить складних екологічних систем, процесів та середовищ, що характеризуються великою кількістю параметрів та властивостей. Ці параметри можуть мати не тільки різноманітну структуру, але й певну анізотропність властивостей у часі й просторі.

УДК 504.064.38

Козьяков В.С., к. т. н., доцент; Ополінський І. О., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Вимірювання параметрів довкілля за допомогою сучасної вимірювальної техніки

Козьяков В.С., к. т. н. доцент; Ополинский И. О., магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Измерение параметров окружающей среды с помощью современной измерительной техники

Koziakov V. S., PhD of science; Opolinskyi I. O., undergraduate
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»

Measurement of parameters of the environment using modern measuring equipment

Розглянуто сучасний стан використання пристроїв для контролю якості навколишнього середовища. Визначені напрями використання сучасної вимірювальної техніки, що застосовуються для вирішення екологічних завдань.
Ключові слова: *вимірювальний пристрій, стан довкілля, контроль якості.*

Рассмотрено современное состояние использования устройств для контроля качества окружающей среды. Определены направления использования современной измерительной техники, которые применяются для решения экологических задач.
Ключевые слова: *измерительное устройство, состояние окружающей среды, контроль качества.*

The current status of the problem of the use of devices for monitoring environmental quality. Identified areas of modern measuring instruments that are used to solve environmental problems.
Keywords: *measuring device, environment, quality assurance.*

Вступ

В наші дні однією з найбільш важливих глобальних проблем є питання охорони навколишнього природного середовища. Враховуючи сучасні темпи розвитку промисловості, спостерігається збільшення викидів забруднюючих речовин. Отже, виникає необхідність підвищення контролю за кількісними показниками продуктів діяльності підприємств, що потрапляють до атмосфери.

Постановки проблеми. В розвинутих країнах світу вже довгий час використовують ІТ-технології у різних галузях. У тому числі і в екології. В Україні, в звезу з економічними та політичними проблемами, використання програмних продуктів в галузі охорони навколишнього природного середовища не набуло подібного розповсюдження [1].

Завдання та мета дослідження. Метою роботи є обгрунтування можливості використання сучасних вимірювальних приладів для вимірювання параметрів довкілля. Поставлена мета реалізується вирішенням наступних завдань: аналіз сучасних методів

контролю стану атмосферного повітря; розробка унітарного пристрою комплексного вимірювання параметрів пило-газоповітряної суміші.

Викладення основного матеріалу. Для попередження наслідків забруднення атмосферного повітря необхідно проводити постійний моніторинг його стану.

Під час моніторингу атмосфери ведуться спостереження за такими речовинами: завислі речовини, діоксид вуглецю, оксид вуглецю, оксиди сірки, аміак, оксиди азоту, озон, вуглеводні. Визначається вологість і температура повітря.

Окрім державного моніторингу також здійснюється вимірювання параметрів джерела викиду забруднюючих речовин на підприємствах для отримання дозволу на викид. Де вимірюються: концентрація забруднюючих речовин, температура, вологість, тиск, швидкість пило-газоповітряної суміші на джерелі викиду в атмосферне повітря.

Для оцінювання забруднення повітря використовують лабораторні (характеризуються високою точністю і є незамінними для поглиблених досліджень); експресні (передбачають використання універсальних газоаналізаторів); автоматичні (забезпечують безперервний контроль забруднення атмосферного повітря) методи.

Використовуються наступні прилади для вимірювання параметрів пило-газоповітряної суміші на джерелі викиду в атмосферне повітря: АГМ-505, АВП-02Т, АКПМ-1-02П, АНКАТ-7645, testo 327, testo 340, "Аквілон" та ін. Основним недоліком всіх існуючих аналітичних приладів контролю стану атмосферного повітря є неможливість вимірювання декількох параметрів одним приладом [2].

В основу кожного приладу входить чутливий датчик та пристрій обробки сигналів від нього. Враховуючи це, ми пропонуємо використовувати набір датчиків, що дають можливість вимірювати всі параметри пило-газоповітряної суміші та найбільш розповсюджених забруднюючих речовин, сигнали від яких оброблювалися на планшетних комп’ютерах з операційною системою Android, з’єднаних між собою на основі інтерфейсу USB 2.0.

На планшетному комп’ютері попередньо встановлюється програмне забезпечення, що виконує автоматичне оброблення даних, що практично нівелює людський фактор та необхідності оброблення виміряних даних. Та дає можливість після заміру, без обробки, одразу отримувати та роздруковувати готові протоколи вимірювання.

Всі отримані результати вимірювання миттєво та автоматично передаватимуться до лабораторії за допомогою вбудованого в планшет 3G інтернет модулю.

Висновки

Розглянуто основні аналітичні прилади вимірювання пило-газоповітряної суміші та запропоновано унітарний прилад, що дозволить суттєво зекономити на дорогих приладах та підвищити зручність та простоту вимірювання. Запропоновану методику можливо використовувати при пусконаладочних роботах котлів та установок спалювання палива.

Література

1. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник. - 3-є вид. - К.: Т-во "Знання", КОО, 2004. – С. 142-143. – ISBN 966-620-197-6.
2. Екологія та автомобільний транспорт: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов [та ін.], - Вид. 2-ге, переробл. та допов.. - К.: Арістей, 2008. -142-147с. - ISBN 966-8458-86-9.

УДК 502:358.4:331.45

к.т. н. доцент В. С. Козьяков, Студент магістр, Ю. С. Нередько,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

НЕОБХІДНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ВПЛИВІВ УЛЬТРАВИСОКИХ ТА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ НА ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИНАХ З РАДІОЛОКАЦІЙНИМ УСТАТКУВАННЯМ.

У статті розглянуто основні аспекти значущості використання спеціального екрануючого захисного оснащення від впливів електромагнітних полів ультрависоких та надвисоких частот радіолокаційного устаткування для попередження виникнення негативної дії на організм людини. Подано перелік біологічних та професійних захворювань внаслідок нехтування правилами безпеки та шляхи вирішення проблеми зі зменшенням кількості професійних захворювань військових частин з протиповітряної оборони.

Ключові слова: ультрависокі частоти, надвисокі частоти, електромагнітне поле, радіолокація.

к.т. н. доцент В. С. Козьяков, студент магистр, Ю.С. Нередько,
Институт энергосбережения и энергоменеджмента
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ УЛЬТРАВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ НА ВОИНСКИХ ЧАСТЯХ С РАДИОЛОКАЦИОННІМ ОБОРУДОВАНИЕМ.

В статье рассмотрены основные аспекты значимости использования специального экранирующего защитного оборудования от воздействий электромагнитных полей ультравысоких и сверхвысоких частот радиолокационного оборудования для предупреждения возникновения негативного воздействия на организм человека. Перечислены биологические и профессиональные заболевания в результате пренебрежения правилами безопасности и пути решения проблемы с уменьшением количества профессиональных заболеваний работников военных частей противовоздушной обороны.

Ключевые слова: ультравысокие частоты , сверхвысокие частоты , электромагнитное поле , радиолокация.

Kozyakov V. S. PhD of science, undergraduate, Iuliia Neredko,
Institute for Energy Saving and Energy Management
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

NECESSITY TO USE PROTECTION FROM EXPOSURE TO ULTRA-HIGH AND EXTREMELY HIGH FREQUENCIES ON UNITS WITH RADAR EQUIPMENT.

The article considers the main aspects significance in using special protective screening equipment from influences of electromagnetic fields in ultra and ultra-high frequency of the

radar equipment to prevent negative effects on the human body. Posted is the list of biological and professional diseases as a result of neglecting safety rules and ways of solving problems with the decreased number of professional diseases in air defence military units.

Keywords: ultra frequency, ultrahigh frequency electromagnetic field, radiolocation.

Вступ. Оточуючий простір пронизаний електромагнітним випромінюванням. Сонце, оточуючі нас тіла, антени радіостанцій і телевізійних передавачів випромінюють електромагнітні хвилі, які в залежності від частоти коливань мають різні назви: радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме світло, рентгенівські промені. Цей нескінченний потік енергії створює коливання зарядів атомів та молекул. Процес захоплює одну точку простору за іншою та утворене електромагнітне поле називається електромагнітною хвилею. На нинішньому етапі розвитку науково-технічного прогресу людина вносить істотні зміни в природне магнітне поле, надаючи геофізичним факторам нові напрямки і різко підвищуючи інтенсивність свого впливу. Основні джерела цього впливу - електромагнітні поля від ліній електропередачі (ЛЕП) і електромагнітні поля від радіотелевізійних і радіолокаційних станцій.

Постановка завдання. На основі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає в необхідності використання спеціального екрануючого захисного оснащення від впливів електромагнітних полів ультрависоких та надвисоких частот радіолокаційного устаткування для попередження виникнення негативної дії на організм військовослужбовців військ протиповітряної оборони.

Виклад основного матеріалу. Радіолокація – область науки та техніки, яка займається спостереженням за об’єктами у повітрі, на воді, на землі, визначає їх місцезнаходження і відстань до них[1]. Радіолокатор посилає імпульс радіохвиль в бік об’єкту і приймає його після відображення. Найбільш потужні радіолокаційні системи використовуються у радіотехнічних військах - рід військ у складі Повітряних сил, військ ППО країни, сухопутних військ і ВМС. [2].

Небо над Києвом і Київською областю захищає 96-а зенітно-ракетна «Київська» бригада, її підрозділи розташовані в шести районах області: Києво-Святошинському, Вишгородському, Васильківському, Обухівському, Бориспільському і Броварському. Могутніший комплекс розташований у Васильківському районі. Межі зони відповідальності військової частини А1880: Вільча — Житомир — Вінниця — Могилів-Подільський — по державному кордону — Слободка — Гайворон — Казанка — Світловодськ — Миргород — Білопілля[3]. На Рисунку 1 зображено місцезнаходження військової частини та межі зони її відповідальності на карті України.

Рис. 1 - Місцезнаходження військової частини та межі зони її радіолокації на карті України.

Радари посилають імпульси під певним кутом до горизонту – азимутом. Тому найбільшому ураженню підлягають прилеглі території а саме, власне, працюючі військової частини та жителі дев'ятиповерхових будівель, які знаходяться у жилому кварталі «Військове містечко» на відстані менш ніж 1 км від бази. На Рисунку 2 показано зона захоплення військової радіолокації у просторі, та як саме вона захоплює високі будинки, що розташовані поблизу.

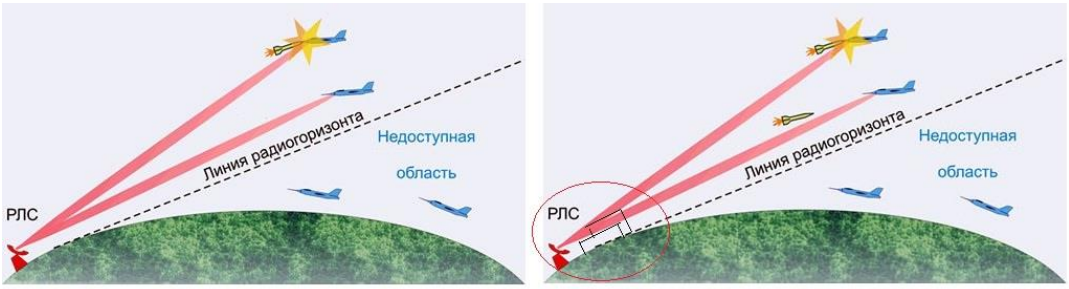
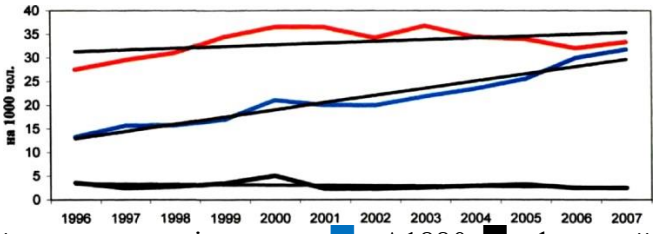


Рис. 2 - Радіолокація у просторі та будівлі, що знаходяться вище лінії радіо горизонту.

Дослідження впливу електромагнітних полів НВЧ на здоров'я людини проводилося на військовій частині А1880 та прилеглій до нього жилої зони, на якій було обрано 10 житлових будинків, найближче розташованих до джерела випромінювання. В якості району порівняння (фоновий) обраний спальний район міста, який максимально віддалений від в/ч та інших промислових об'єктів, що є джерелами ЕМП НВЧ (Рис.3).

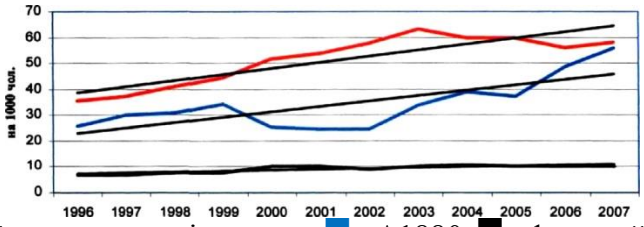
Рис. 3 - Місцезнаходження в/ч і прилеглого району (ділянки 16,17), фонового району (ділянка 42).

У роботі проведено аналіз захворюваності військовослужбовців в порівнянні з жителями фонового району. Найбільш уразливими системами, що вражає ЕМП, є: імунна, ендокринна, статева, нервова. Захворюваність працівників простежено з 1996 по 2007 р. Динаміка захворюваності працівників в/ч А1880, жителів прилеглого мікрорайону, а також жителів району порівняння в перерахунку на 1000 чол. за видами захворювань показана на графіках 4-8. Як можна бачити, найвищий рівень захворюваності по вразливих системам організму виявлений у жителів району, прилеглого до бази ППО (постійно опромінюваний район).



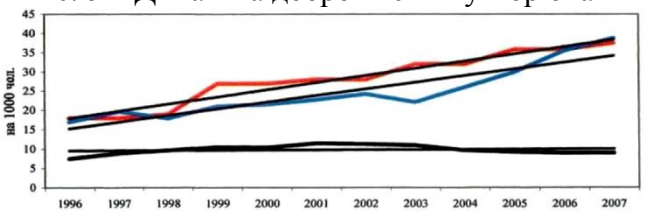
■ - район, що опромінюється, ■ - А1880, ■ - фоновий район

Рис. 4 – Динаміка онкологічних захворювань



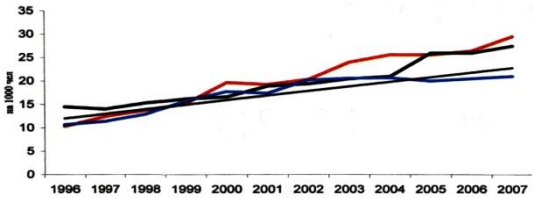
■ - район, що опромінюється, ■ - А1880, ■ - фоновий район

Рис. 5 – Динаміка доброякісних утворювань



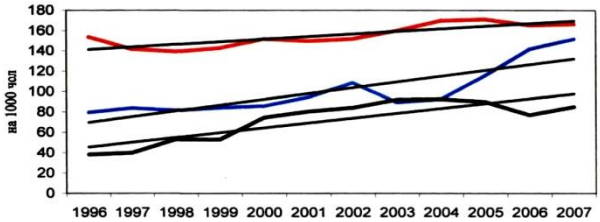
■ - район, що опромінюється, ■ - А1880, ■ - фоновий район

Рис. 6 – Динаміка захворювань ендокринної системи



■ - район, що опромінюється, ■ - А1880, ■ - фоновий район

Рис. 7 – Динаміка захворювань нервової системи



■ - район, що опромінюється, ■ - А1880, ■ - фоновий район

Рис. 8 – Динаміка захворювань серцево-судинної системи

Аналіз даних графіків динаміки захворюваності показав, що найбільша різниця в рівнях захворюваності між працівниками в/ч, жителями опромінюючого району та жителями фонового району простежується по онкології. По лінії тренда видно, що зростання захворюваності найбільш інтенсивно йшло на в/ч, але в опромінюваному районі кількість хворих людей набагато більше.

Найбільша складність у зменшенні впливу ЕМП на працюючих військовослужбовців є неможливість запровадження організаційних заходів та, власне,

нехтування правилами безпеки поводження з електромагнітними навантаженнями. До організаційних заходів щодо захисту від дії ЕМП відносяться: вибір режимів роботи випромінювання устаткування, що забезпечує рівень випромінювання, що не перевищує гранично допустимий, обмеження місця і часу перебування в зоні дії ЕМП (захист відстанню і часом), позначення і огородження зон з підвищеним рівнем ЕМП. Зрозуміло, що неможливо контролювати режими роботи радарних установок, оскільки вони працюють щоденно та цілодобово при певних значеннях частот та дожин хвиль для забезпечення контролю у повітряному просторі.

Отже, найбільш дієвим методом є вплив на свідомість працюючих шляхом проведення спеціалізованих інструктажів за участі медиків та спеціалістів з біологічного впливу радіохвиль на організм людини. Комплекс умов праці військовослужбовців має свої особливості. Він створюється також під впливом чинників довкілля, які визначають стан людини та його функціональну діяльність у процесі військової праці чи в екстремальних умовах. У зв'язку з тим що у військах застосовують дедалі більш складніші бойові машини, у довкіллі військового фахівця з'являються нові чинники, дія яких часто носить екстремальний характер. Це у свою чергу потребує розроблення нових гігієнічних рекомендацій з організації режиму праці і відпочинку військовослужбовців на основі вивчення стану здоров'я при обслуговуванні нової техніки. Раціонально розподіляти нові контингенти для підготовки до різних військових фахів можливо лише за допомогою відповідних методів професійного добору і тренування особового складу.

Усі умови праці удосконалюються завдяки правилам гігієни, серед яких велике значення мають індивідуальні засоби захисту. Тому доцільним буде необхідність застосування персоналом, обслуговуючим радіолокаційні установки, засобів індивідуального захисту від електромагнітного випромінювання, наприклад: захисний костюм ЕІ - 2 , вироблений ЗАТ «Енергоформ». Комплект створює замкнутий простір навколо тіла людини , який унеможливлює проникнення електромагнітного поля (випромінювання) всередину екранованого простору.

Захисні індивідуальні комплекти являють собою повністю замкнуту просторову конструкцію (капсулу) , що перешкоджає проникненню випромінювання. Це досягається за рахунок застосування новітніх металізованих тканин, з яких виконаний комплект. Високі захисні властивості комплектів поєднанні із зручністю в експлуатації, також комфорт і зносостійкість, досягаються завдяки тришарової конструкції: зовнішній шар одягу з тканини загального призначення (масло- і - бензо- відразливою), середній шар - з високоефективної металізованої тканини, а внутрішній (гігієнічний) шар - з бавовняного матеріалу.

Висновки. В даний час технологічні розробки приносять як соціальну, так і економічну вигоду, проте наслідки для здоров'я від цих досягнень можуть бути непередбачуваними. Вплив електромагнітного випромінювання займає одне з перших місць серед найнебезпечніших видів впливу на здоров’я людини, вражаючи все тіло комплексно, а не окремі системи. Оскільки, сучасне виробництво та розвиток техніки і нових технологій буде і далі погіршувати середовище проживання людини, тому треба вчитися жити в цьому середовищі - не нехтувати правилами безпеки праці, вибирати максимально безпечна поведінку, використовувати можливі засоби захисту та вести здоровий спосіб життя.

Література:

1. Кудряшов Ю. Б., Перов Ю. Ф. Рубин А. Физика. Большой энциклопедический словарь/Гл. ред. А. М. Прохоров. — 4-е изд. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. — С. 874—876. ISBN 5-85270-306-0

2. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения. Учебник для ВУЗов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 184 с — ISBN 978-5-9221-0848-5
3. Сайт МО України [http://www.mil.gov.ua/index.php?part=armament&lang=ua]

УДК 678.065.004.82

Л. О. Дядюша, студ., М. І. Сергієнко інж.(ІЕЕ НТУУ "КПІ")

Утилізація шахтних вод з використанням теплової енергії гірського масиву
Утилизация шахтных вод с использованием тепловой энергии горного массива
The utilization of mine water using the heat of mountain range

Анотація. В статті розглянута актуальна проблема утилізації шахтних вод. Для вирішення цього питання запропонована технологічна схема очищення шахтних вод методом дистиляції,за допомогою геотермальної енергії з метою їх подальшого використання.

Ключові слова : водні ресурси, кругообіг води, шахтні води, мінералізація, водопритоки, гірничі виробки, методи очищення, відкачка шахтних вод, теплова енергія гірського масиву, використання шахтних вод.

В статье рассмотрена актуальная проблема утилизации шахтних вод Для решения этого вопроса предложена технологическая схема очистки шахтних вод методом дистиляции , с помощью геотермальной энергии с целью их дальнейшего использования .

Ключевые слова : виробки, методи очищення, відкачка шахтних вод, теплова енергія гірського масиву, використання шахтних вод.

The article describes the current problem of utilization of mine water to solve this problem is proposed flowsheet mine water purification by distillation, using geothermal energy for their further use.

Keywords: virobki, purification methods, vidkachka mine water, thermal energiya girskogo masivi, vikoristannya mine water.

Вступ. Вода відіграє виняткову роль у процесах обміну речовин. Запаси прісної води потенційно великі. Проте їх обсяги знижуються в будь-якому районі світу через нераціональне водокористування та забруднення,але потреби у воді величезні і щорічно зростають. Нераціональне водоспоживання гідроресурсів і виникнення багатьох з цим пов'язаних екологічних проблем викликає дефіцит прісних вод в тих чи інших регіонах України, зокрема в Донбасі, і їх якісне виснаження.

В Україні існує проблема нестачі прісної води. Тому розробляються способи раціонального використання водних ресурсів, пропонується введення в водообіг раніше не використовуваних вододжерел, наприклад, шахтних вод..

Актуальність проблеми. Видобуток вугілля супроводжується водопритоком в шахти, сумарна величина якого досягає 25 м3 / с (777,6 млн. м3 на рік). В Україні при відпрацюванні пластів на 1 т вугілля, припадає близько 3 м3 води. Підприємства вугільної промисловості відкачують великий обсяг шахтних вод (більше 2,5 млрд. м3 рік, з них, наприклад, у Донбасі близько 800 млн. м3/год), з яких близько 50% нейтральні. У басейн Чорного моря від вуглевидобувних підприємств України надходить 129,4 млн. м3 шахтних і кар'єрних вод. Введення всього обсягу відкачених шахтних вод у системи водопостачання підприємств і населених пунктів підвищить водообіг і забезпечить посушливі райони країни необхідною кількістю води.

Викладення основного матеріалу досліджень. Гірниче виробництво впливає на зміну водного режиму, забруднення і засмічення вод басену. При проникненні поверхневих і підземних вод у вироблений простір і гірничі виробки через пори в породах, через рух в водовідливних канавах і трубопроводах, насоси водовідливного господарства шахт вони метаморфізуються, перетворюються на шахтні води. Вода активно взаємодіє з речовинами гірських порід, атмосферою копальні, іншими частинами, що становлять гірську систему. Відбувається розчинення у воді різних мінералів і винос нею часток різного походження. Вода збагачується сторонніми домішками та змінює свій хімічний склад (мінералізацію),

забруднюється твердими зваженими частками органічного та неорганічного походження, а також бактеріологічно, у деяких випадках набуває кислої реакції (pH <6).

Шахтні води викликають корозію матеріалу труб і арматури, а ступінь їх впливу визначається значенням pH, вмістом іонів H +, OH, SO4-2, HCO3-, CO3-2, CL-, Mg +2, Ca +2, Na +, Zn + 2, Fe 2, AL 3, Cu 2, NH4 + і розчиненого кисню. Особливо небезпечні для споруд кислі і високомінералізовані води [1]

Загальний водоприток в шахти і кар'єри складається: з припливу підземних вод (водоносних горизонтів, дренуючих гірничих виробок); шахтних або кар'єрних вод, що надходять із затоплених виробок і сусідніх шахт або кар'єрів; технічних вод, що подаються в шахту або кар'єри для закладення, зрошування, буріння свердловин; поверхневих вод і атмосферних опадів. Режим надходження води у виробки (рис.1) залежить від сукупності взаємодіючих природних (кліматичних, геоморфологічних,
гідрологічних, геологічних та гідрогеологічних) і технологічних (форма та розміри ділянки гірничих робіт, глибина інтенсивність).

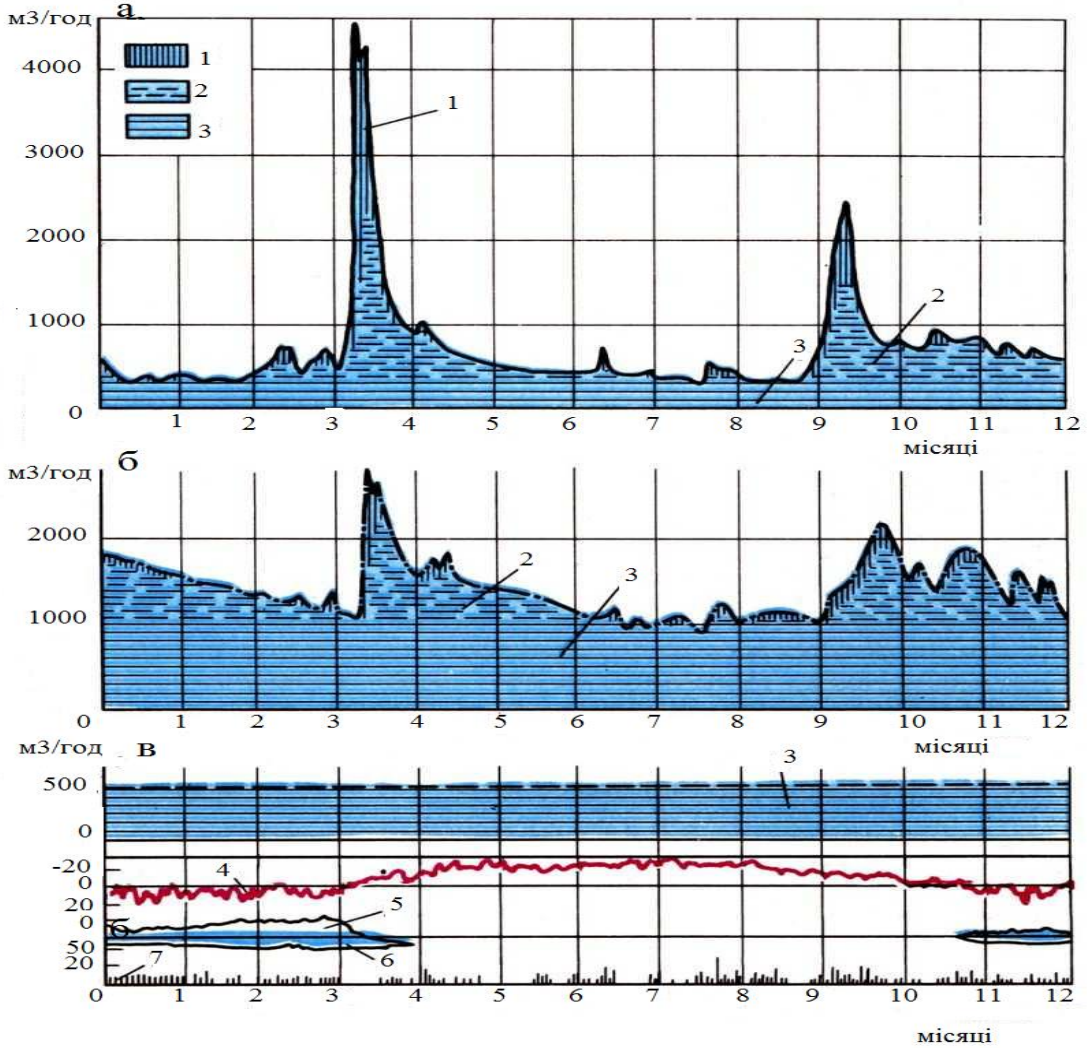


Рис.1 Залежність притоку води в шахти від глибини виробки і метереологічних факторів: а - глибина виробки від 15-20 м ; б -глибина виробки від 35-45 м ; в - більше 70 м ; 1 - притік шахтної води за рахунок інфільтрації і інфлюрації від поверхневого стоку над площею що обробляється; 2- періодичний стік підземної води з максимумами (весною і восени); 3 - постійний стік підземної води; 4- середньодобова температура повітря; 5- товщина снігового покриву,см ; 6- товщина замерзлого грунту, см ; 7- добова кількість опадів, мм.

При визначенні водопритоку в шахти використовують різні методи:

1)гідрологічної аналогії; 2)гідравлічний; 3)метод водного балансу; 4)метод моделювання в залежності від конкретних гідрологічних умов і наявності вихідних матеріалів.

Більш детально розглянемо метод гідрологічної аналогії заснований на аналогії гідрологічних і горнотехнологічних умов шахт, які експлуатуються. Водоприток в шахти, заснований на гідродинамічній залежності розраховується за формулою

$$\mathbf{Q_p = Q_e \frac{(2H_p - S_p)S_p}{(2H_e - S_e)S_e}}, \qquad (1)$$

де Q_p– притік води в проектовану шахту,м^3/ч;Q_e- притік води в шахту-аналог,м^3/год; H_p,H_e-потужність водоносного горизонта проектованої шахти та шахти-аналога,м;S_p , S_e- зниження рівня в проектованій шахті та шахті-аналозі,м.

Використання відкачених шахтних вод можливе тільки після їх очищення. Найпоширенішим методом опріснення стічних вод є дистиляція (випарювання). При цьому одержання теплової енергії традиційним способом (спалювання твердого палива) завдає непоправної шкоди навколишньому середовищі і створює несприятливу екологічну обстановку., тому в запропонованій технології очищення шахтних вод,з метою зменшення навантаження на навколишнє середовище, використовуємо теплову енергію гірського масиву(геотермальну енергію) (рис.2). Необхідну кількість енергії забирають з відпрацьованого простору, де процесі виїмки вугільного пласта утворюються пустоти (1). По виробці (2) із забою пропускається частина повітря необхідна для очистки води. Повітря що проходить по пустотах відпрацьованого простору, нагрівається до температури гірського масиву (3), яка на глибоких горизонтах досягає 45 ... 50^{0}C і разом з цим здобуває додаткову енергію (так званий геотермальний спосіб отримання енергії). Зі збільшенням температури повітря, збільшується геотермальна енергія, отже підвищується рівень та кількість очищеної шахтної води. Температуру повітря (в ^{0}C) в кінці горизонтальної або похилої виробки довжиною L, пройденою під кутом α ,розраховується за формулою

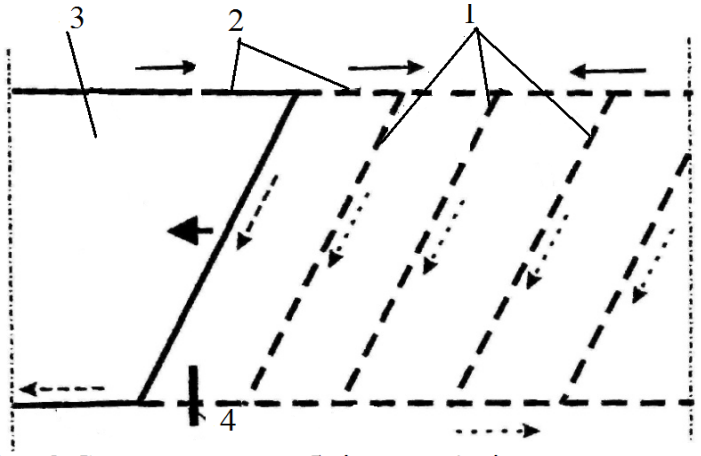


Рис.2 Схема геотеплообмінника: 1-відпрацьований простір;2-виробка для підведення повітя;3-гірський масив;4- вентиляційна перемичка

$$\mathbf{t_2 = N_2 + [\sqrt{N_2 + D_2[t_1 + A_1(t_{п.ср} - \frac{t_1}{2}) \mp \frac{L \sin\alpha}{427 c_p} + \frac{\sum Q_м + q_0 F_{ok}}{G_{ср}}]} - \frac{m}{l} + \frac{d_1}{l}\frac{\varphi_1}{\varphi_2}]}, \qquad (2)$$

де t_1-температура повітря на початку виробки, ^{0}C; $t_{п.ср}$ - середня по довжині виробки температура породи, ^{0}C; q_0- питома теплота окислення породи, ккал/(г*м^{2}*^{0}C); F_{ok}-площа поверхні окисляючих порід, м^2;$\sum Q_м$-тепловиділення від місцевих джерел, ккал/г; m,l-коефіцієнти зв'язку вологовмісту та температури,φ_1 та φ_2 – відносна вологість повітря на вході та в кінці виробки, приведена до нормального атмосферного тиску (B= 760 мм рт. ст.); $G_{ср}$- середня витрата повітря при проходження по виробці, кг/г; c_p- теплоємність повітря при постійному тиску.[2]

Регулювання витрат повітря через канали відпрацьованого простору і очисну виробку проводиться шляхом періодичного зведення вентиляційної перемички (4) між каналами та очисною виробкою, де проводилася виїмка корисної копалини .

Далі повітря, що досягло температури придного массиву (рис.3) по виробці для підведення повітря за допомогою компресора (7) направляють по повітряному трубопроводу (6) у вихрову трубу (9), де відбувається його поділ на два повітряні потоки – гарячий (10) і холодний. Паралельно забруднена шахтна вода (11) надходить у випарник (12) і переходить в пароподібний стан завдяки гарячому потоку повітря, що надходить по трубопроводу з вихрової труби. Цей гарячий потік повітря зумовлює переведення неочищеної води в пароподібний стан. Очищена вода в стані перегрітої пари подається по паропроводу (16) і ходку (18) в конденсатор (20), що виконаний у вигляді окремої споруди.

У конденсаторі відбувається перехід води з пароподібного стану в рідкий за рахунок контакту пари з холодними поверхнями. Частково пара конденсується на стінках ствола і у вигляді води стікає в зумпф (15), звідки її перекачують за допомогою водовідливної установки (14) в водозбірник очищеної води (21) і переправляють до споживача. Зважені і розчинені речовини, що містяться в неочищеній воді, накопичуються в випарнику, з якого періодично зливають ці речовин в спеціальну ємність (13).

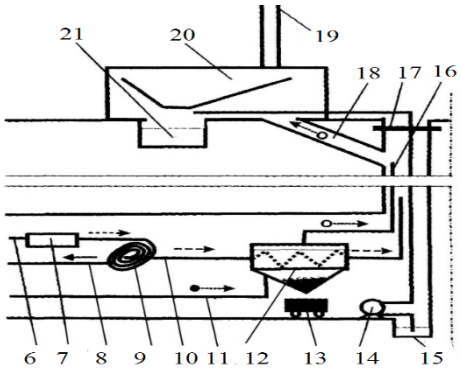


Рис.3 Схема очищення шахтних вод

Видалений осад можна використовувати як основу для отримання цінних речовин, що містяться в шахтній воді. Запропонована схема дозволить уникнути складування породи на земній поверхні шляхом закладки виробленого простору та звільнить значні площі землі для інших потреб (наприклад для вирощування сільськогосподарських культур).

Використання даної технології дає змогу зменшити кількість забруднюючих речовин на вході та виході з установки (табл.1). Також часткова закладка виробленого простору дозволить уникнути значного осідання земної поверхні. При відкачуванні та очищенні шатних вод встановлюється максимально близький до природного кругообіг води (фільтраційний обмін підземних і поверхневих вод). Запропонований метод очищення шахтної води з використанням геотермальної енергії дасть змогу знизити собівартість очищеного продукту (дистиляту) і раціонально використовувати непоправні види енергоносіїв (таких як вугілля та природний газ, торф), які необхідні для перетворення води в пароподібний стан відомими способами, і які в умовах сучасної енергетичної проблеми є цінною сировиною [3,4].

Таблиця 1.Кількість забруднених речовин на вході та виході з установки очистки

Забруднюючі воду речовини	На вході в установку очистки	На виході з установки очистки
Зважені частки,мг/м^3	5	1
Залізо загальне, мг/м^3	0,24	0,05
Кальцій, мг/м^3	32,5	3,3
Магній, мг/м^3	29	2,3
Хлориди, мг/м^3	283	19,8
Сульфати, мг/м^3	524,3	53,4
Na+K, мг/м^3	740	81

Висновки

Таким чином, використання в населених пунктах очищених шахтних вод за допомогою розробленої схеми дозволить вирішити відразу три проблеми: створення екологічного благополуччя території; наближення джерел питної води до районів, віддалених від джерел водопостачання на значні відстані; поліпшення якості води [5]

Список літератури

1. Мирзаев Г.Г. Экология горного производства: Учебник для вузов / Г.Г.Мирзаев, Б.А.Иванов. – М.: Недра, 1991. – 320 с.

2. Ушаков К.З.,Бурчаков А.С., Медведев И.И. Рудничнаяаэрология.-М.: Недра,1978.-291 с.

3.Матлак Е.С., Малеев В.Б. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях. – К.: Тэхника, 1991. – 136 с.

4. Гребьонкіна С.С. Геомеханічні та технологічні проблеми закриття шахт Донбасу: Учбовий посібник/ С.С.Гребьонкіна, В.М. Єрмакова. – Донецьк: ДонНТУ, 2002.– 266 с.

5. В.А. Горшков Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности/ Горшков В.А. - М., Недра, 1981.-125 с.

УДК 504:(054+056)

Н.С.Ремез, д.т.н., професор, В.О.Кугук, студент (НТУУ "КПІ")

ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУТКУ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ З ПОЛІГОНІВ ТПВ
ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА С ПОЛИГОНОВ ТБО
FUTURE PRODUCTION LANDFILL GAS FROM LANDFILLS

Викладені результати дослідження проблеми утилізації твердих побутових відходів, їх негативного впливу на навколишнє середовище та можливості впровадження технологій збору звалищного газу, що утворюється з полігонах ТПВ на території України.

Ключові слова: утилізація, забруднення, природоохоронні спорудження, полігон ТПВ, звалищний газ, самозагоряння, поновлювані джерела енергії.

Изложены результаты исследования проблемы утилизации твердых бытовых отходов, их негативного воздействия на окружающую среду и возможности внедрения технологий сбора свалочного газа, образующегося из полигонов ТБО на территории Украины.

Ключевые слова: утилизация, загрязнения, природоохранные сооружения, полигон ТБО, свалочный газ, самовозгорание, возобновляемые источники энергии.

The results of the research problem of solid waste, their impact on the environment and the possibility of implementation of the collection of landfill gas generated at landfills in Ukraine.

Keywords: recycling, pollution, environmental construction, landfill, landfill gas, samozahoryannya, renewable energy.

Вступ. Проблема утилізації твердих побутових відходів постала дуже гостро в нашій країні. Як правило, полігони - це природоохоронні спорудження, призначені для складування твердих побутових відходів (ТПВ). Основна їх функція - забезпечення захисту від забруднення атмосфери, ґрунтів, підземних і поверхневих вод, перешкоджання поширення патогенних мікроорганізмів за межі майданчика складування та забезпечення знезаражування ТПВ біологічним способом. Однак **більш ніж 80% полігонів ТПВ, що експлуатуються сьогодні в Україні, не відповідають санітарним нормам, тобто фактично є звалищами.** Звалища ТПВ, зведені без комплексу заходів, що знижують їх негативний вплив на навколишнє середовище, є значним джерелом його забруднення. Відходи, що там розміщені, зазнають складних фізико-хімічних та біохімічних змін під впливом атмосферних явищ, специфічних умов, що формуються у товщі відходів, а також в результаті взаємодії між собою. Це призводить до утворення різних сполук, в тому числі токсичних, які, мігруючи до навколишнього середовища, негативно впливають на його компоненти.

Метою даного дослідження є доведення раціональності зменшення негативного впливу полігонів ТПВ на навколишнє середовище шляхом використання звалищного газу як одного з найбільш перспективних поновлюваних джерел енергії.

Результати дослідження. В результаті анаеробного бродіння відходів у тілі полігону утворюється звалищний газ (ЗГ). Основними компонентами ЗГ є: парникові гази, діоксид вуглецю та метан. Крім того, звалищний газ містить велику кількість токсичних органічних сполук, які є джерелом неприємного запаху. Вільне надходження звалищного газу в навколишнє середовище викликає ряд негативних наслідків. Відомо багато випадків отруєння при технічному обслуговуванні поглиблених інженерних комунікацій. При накопиченні звалищного газу можуть виникати вибухо- і пожежонебезпечні умови в будівлях і спорудах. Накопичуючись в пористому шарі ґрунту, біогаз нищить рослинний покрив, викликаючи асфіксію кореневої системи. Вільне розповсюдження звалищного газу призводить також до забруднення атмосфери навколишніх територій токсичними сполуками. Накопичення звалищного газу в тілі звалища часто викликає самозагоряння ТПВ. Процес

горіння супроводжується утворенням токсичних речовин, зокрема діоксину.

Основним способом, який може забезпечити вирішення проблеми утворення ЗГ, є його збір і утилізація. Також, збір біогазу дозволяє вирішити проблему браку енергетичних ресурсів в Україні. Запаси традиційних природних палив (нафта, вугілля, газ та інші) невідновні. Сьогодні сумарне споживання теплової енергії в світі становить 200 млрд. кВт/год на рік (еквівалентно 36 млрд. т. орг. палива). Понад 80% від усіх геологічних запасів органічного палива в світі припадає на частку вугілля, який стає все менш популярним, у зв'язку з шкідливим впливом його на навколишнє природне середовище. Крім того, за прогнозами деяких експертів запаси вугілля будуть вичерпані до 2100 р. Вже зараз помітно скорочується видобуток нафти і газу, але не за рахунок модернізації технологій переробки нафти і газу, а за рахунок виснаження природних ресурсів. Так, до 2020 р. частка видобутку нафти і газу в паливно-енергетичному балансі знизиться з 66,6% до 20%. Гідро- і вітроенергетика складають всього 2,3% загального виробництва енергії у світі і вони можуть грати тільки допоміжну роль через істотні недоліки: потреби в рівних майданчиках значних розмірів, необхідність виведення їх з господарського обороту, зміна звичного природного ландшафту, акустичні шуми, вібрація ґрунту. Таким чином, ні органічне паливо, ні гідро- і вітроенергія, не можуть вирішити проблеми енергетики в перспективі. Полігони ТПВ вважаються невичерпним джерелом енергії, а саме поновлювані джерела енергії представляють сьогодні реальну альтернативу традиційним технологіям і залишаються найбільш перспективними з точки зору збереження навколишнього природного середовища та первинних природних ресурсів [1-3].

Як приклад, розглянемо типовий проект утилізації звалищного газу в когенераційних устанвках потужністю 1 МВт (рис.1). Впровадження подібного проекту на полігоні ТПВ:

- скорочує викиди парникових газів, еквівалентні викидам 11 тис. автомобілів;
- позбавляє неприємного запаху навколо полігону;
- мінімізує небезпеку спалахування відходів;
- значно зменшує токсичність стічних вод (фільтрату).

Для поглинання такої кількості газів необхідно висадити ліс на площі 15 тис. акрів, а вироблювана проектом електроэнергія дозволяє зекономити 125 тис. барелів нафти на рік (рис. 1). Звалищний газ без попереднього очищення можна використовувати як паливо для котлів і печей, тобто він може поставлятися прямо до споживача для отримання тепла або для використання в будь-якому технологічному процесі (випал, отримання технологічної пари та ін.) Цей шлях використання газу є найефективнішим за умови, що його споживання безперервне.

Рис.1. Ефект від впровадження проекту по збору та утилізації звалищного газу на полігоні ТПВ (потужність когенераційних установок 1 МВт)

Звалищний газ використовується також після попереднього очищення для отримання електроенергії за допомогою установок комбінованого вироблення тепла і електроенергії. Вироблена електрика може використовуватися безпосередньо на майданчику звалища або подаватися в мережу. У перспективі можливе використання ЗГ після збагачення його до якості природного газу. При збагаченні газ висушується, з нього видаляються діоксид вуглецю та інші домішки. Однак, системи поліпшення якості звалищного газу поки дуже дорогі і не знаходять широкого застосування.

Висновки. Для раціонального вирішення проблеми утилізації твердих побутових відходів необхідно реорганізувати полігони ТПВ, розташовані на території України, належним чином та почати збирати і утилізувати звалищний газ шляхом використання його як палива. І таке рішення стає найбільш актуальним, так як вирішується ряд проблем економічного та екологічного характеру.

Література.

1. Вайсман Я.И. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации на полигонах захоронения твердых бытовых отходов // Вайсман Я.И., Максимова С.В., Глушанкова И.С., Зомарев А.М. Москва. – 2003. – 26 с.
2. Пухнюк А.Ю. Полевые исследования для оценки потенциала образования биогаза на полигонах твердых бытовых отходов Украины// А.Ю.Пухнюк, Д.В.Куцый, Ю.Б.Матвеев.— 2013.— 482-495с.
3. Bentley II. W. Baro-pneumatic estimation of landfill gas generation rates at four landfills in the southeastern United States: conference proceedings of SWANA's 28th Annual Landfill Gas Symposium, March 7-10, 2005, San Diego, California.

УДК 624.39.239

Н.С. Ремез, д.т.н., професор, Ю.С. Олійник, студентка (НТУУ «КПІ»)

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАНІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ

Досліджено використання екранів для захисту від сейсмовибухових хвиль, якість матеріалів заповнювача та обрано найбільш підходящі із них.

Ключові слова: екрани, сейсмічні коливання,захист,матеріал заповнювача, коефіцієнт екранізації.

Н.С. Ремез, д.т.н., профессор, Ю.С. Олейник, студентка (НТУУ «КПИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН

Исследовано использование экранов для защиты от сейсмовзрывных волн, качество материалов заполнителя и выбраны наиболее подходящие из них.

Ключевые слова: экраны, сейсмические колебания, защита, материал заполнителя, коэффициент экранизации.

N.S.Remez, J.S.Oliynyk

APPLICATION SCREEN FOR PROTECTION FROM SEISMIC BLAST WAVES

Researched the use of screens to protect from seismic blast, quality of materials and the filler is selected from the most suitable ones.

Keywords: screen, seismic vibrations, protection, filler material, the coefficient of screen version.

Вступ. В наш час видобуток вугілля ведеться з пластів, що залягають на значних глибинах, і супроводжується динамічними явищами високої інтенсивності, в першу чергу, у вигляді гірських ударів. Вони викликають руйнування і пошкодження охоронних об'єктів, порушення технологічних процесів при виконанні підготовчих і очисних робіт в штатних і аварійних ситуаціях. Сейсмічні коливання, що виникають при цьому, часто досягають поверхні Землі, викликаючи негативні процеси на значній території шахтного поля і за його межами навколо епіцентру над вогнищем, порушуючи рівновагу зсувонебезпечних схилів і впливаючи на поверхневі об'єкти з інтенсивністю, що перевищує граничні параметри сейсмостійкості [1].

Метою дослідження є вивчення запобіжних заходів, спрямованих на запобігання або локалізацію динамічних проявів, максимально можливої нейтралізації небезпек в підземних виробках та розробка сейсмічних захисних, протизсувних заходів на денній поверхні для природних і інженерних об'єктів, які потрапляють у сейсмонебезпечну зону.

Основна частина. Інженерною практикою накопичений великий і різноманітний досвід захисту будівель і споруд від різних динамічних впливів (одноразових або багаторазово повторюваних сейсмо-віброколивань), підвищення сейсмо-вібростійкості зсувонебезпечних укосів.

У першому випадку крім застосування фундаментів спеціальної антисейсмічної конструкції найбільш поширеними і досить ефективними заходами слід вважати пристрій сейсмічних захисних екранів у вигляді суцільної або переривчастої щілини, заповненої пористим енергопоглинаючим матеріалом.

Заходи щодо збереження стійкості укосів полягає в спорудженні утримуючих конструкцій (анкерів, виробок у межах дзеркала ковзання, підпірних стінок), а також сейсмо-водозахисних екранів, які перешкоджають проникненню атмосферних і підземних вод в активну зону, а також послаблюють інтенсивність сейсмічних коливань.

За технікою виконання сейсмозахисні конструкції підрозділяються на ті, що виконані

механічним, вибухо-механічним і вибуховим способом, а за конструктивними особливостями - на однорядні і дворядні. Вони розташовуються, як правило, поблизу об'єкта, що захищається, і можуть бути тимчасовими або довгостроковими (як, наприклад, у разі знаходження об'єкта в межах шахтного поля гірничого підприємства, де ведуться систематично вибухові роботи або відбуваються високоенергетичні гірські удари).

Спроби реалізації конструкцій у вигляді суцільних вертикальних щілин в ґрунтовому масиві, незаповнених або заповнених матеріалом, який гасить хвилі, не увінчалися успіхом із-за втрати стійкості вертикальних стінок при недостатній глибині таких щілин, так як хвилі їх огинають, практично не знижаючи рівня інтенсивності.

Найбільш прийнятною визнана технологія пристрою такого екрану переривчастої конструкції вибуховим способом у вигляді ряду шурфів, заповнюваних вищеназваним матеріалом, що забезпечує необхідне енергопоглинання сейсмоколивань, яке оцінюється коефіцієнтом екранізації. Цей параметр, що представляє собою відношення швидкості зсуву у хвилі перед екраном і на виході, залежить від його геометричних розмірів і властивостей матеріалу заповнювача, зокрема його відносної щільності, яка виражається через коефіцієнт розпушеності (K_P).

Визначальними параметрами сейсмозахисної перепони, що впливають на величину коефіцієнта екранізації, є наведена ширина ($d_ш$), яка дорівнює діаметру порожнини $2r_п$, з додаванням частини деформованої зони по обидві сторони порожнини, а також глибина порожнини (h), акустичні властивості матеріалу заповнювача і деформованого вибухом ґрунту [1-3].

Виходячи з реальних ґрунтових умов, отримати достатньо стійкі порожнини діаметром більше 1 – 1,5 м технічно вкрай важко через небезпеку завалу утворених вибухом порожнин до їх заповнення енергопоглинаючим матеріалом. Тому можна обмежуватися розглядом параметрів екрану, отриманого підриванням порівняно невеликих свердловинних зарядів

Наступним важливим параметром є зона необоротних деформацій ґрунту, яка входить складовою частиною екрану і приймається нами розміром 2/3 $b_т$ ($b_т$ – товщина кільцевої деформованої зони), оскільки остання третина зони деформована незначно і практично не володіє поглинаючими властивостями.

При проектуванні захисних об'єктів на основі вибухових технологій одержання конструктивних елементів у вигляді ряду вертикальних порожнин визначеної глибини і діаметру треба враховувати наступне.

По-перше, співвідношення між розмірами порожнин і зон необоротних деформацій при підриванні однакових зарядів в ґрунтах непостійні навіть у межах одного різновиду глинистих порід. При цьому розміри зони деформацій в значно більшій мірі змінюються із збільшенням розмірів порожнини. По-друге, для можливості зіставлення експериментальних матеріалів із різних джерел доцільно оперувати усередненими більш наочними показниками, що дозволяють сформулювати загальні підходи до оцінки прогнозованих параметрів досліджуваних об'єктів [1-3].

Проектування екрану поблизу поверхневого об'єкта, що захищається виконується виходячи з розрахункових (або виміряних) параметрів сейсмоколивань біля основи об'єкта та забезпечення в межах «тіні» показників інтенсивності нижче гранично допустимих. Перевірку заданого коефіцієнта екранізації, що знижує інтенсивність до безпечного рівня, в «тіні» слід виконувати за двома параметрами окремо: по ширині екрану і по глибині ($h_Э$). При цьому слід враховувати вплив кута падіння хвилі на перешкоду.

Матеріал заповнювача порожнин повинен володіти певними характеристиками, що

забезпечують цілий ряд еколого-економічних і технологічних вимог, серед яких найбільш важливими є наступні.

1. Невелика щільність (висока пористість), що забезпечує максимальне поглинання енергії коливань сейсмічних хвиль.

2. Достатня механічна міцність для запобігання обвалення стінок порожнини.

3. Мінімальний коефіцієнт фільтрації, що знижує ймовірність проникнення води в порожнину із заповненням відкритих пор, що важливо для збереження енергопоглинальних властивостей заповнювача.

4. Приготування заповнювача має здійснюватися, як правило, із використанням місцевих матеріалів, а також відходів промислового виробництва.

5. Водо- і морозостійкість.

З урахуванням зазначених вимог розглянемо варіанти матеріалів заповнювача у вигляді глинистих суспензій з додаванням певної кількості недорогих в'яжучих компонентів. Звукопоглинаючі властивості таких суспензій можуть збільшуватися за рахунок додавання різних пустотілих ємностей (поліетиленових матеріалів, герметично закупорених пустотілих флаконів, пляшок та інших видів поліетиленової або скляної тари різного призначення).

Для розглянутих умов створення комплексних протисейсмічних і протифільтраційних екранів підходящими заповнювачами можуть бути бітумо-зольні, бентонітові та глінофосфатні суспензії (шлікери). Однак бентонітові суміші з плином часу вимиваються водою і втрачають гідрозахисні властивості та для довгострокових споруд непридатні, тому для заповнення таких щілин в якості добавки до глинистих розчинів слід застосовувати шлікери з додаванням фосфоровмісних речовин. Іншим класом в'яжучих добавок можуть виступати продукти переробки відвальної породи при вуглевидобутку, що також відповідає принципу максимального використання місцевих ресурсів, до того ж в плані екологізації промислового виробництва.

Висновки:

1. Найбільш прийнятною визнана технологія пристрою такого екрану переривчастої конструкції вибуховим способом у вигляді ряду шурфів, що заповнюються слабов’яжучим матеріалом, що забезпечує необхідне енергопоглинання сейсмоколивань, оцінюваного коефіцієнтом екранізації.

2. Застосування екранів для захисту від сейсмовибухових хвиль є дуже вигідним з еколого-економічної точки зору, так як дозволяє використовувати в якості компонентів матеріалів заповнювача місцеві матеріали та відходи промислового виробництва.

Література.

1. Вовк О.О. Вплив підземних гірничих робіт на стан довкілля (Вовк О.О., Ісаєнко В.М., Кравець В.Г., Вовк О.О.). – К.: Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2011.- 543с.

2. Вовк А.А., Черный Г.И. Взрывные работы в горных породах. – К.: Техника, 1973. – 164 с.

3. Буритейн М.Ф. Применение массовых взрывов в строительстве (М.Ф. Бурштейн, Г.И. Покровский, Г.И. Корнаков, Л.Б. Шейнман).- М.: Недра.- 1980.- 256 с.

УДК 504.064.36

Є. В. Колунаєв, здобувач (НТУУ «КПІ»), М.О. Канар, студент (НТУУ «КПІ»)

ВПЛИВ УТВОРЕННЯ ВТОРИННИХ МІНЕРАЛІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Показано, що на різних стадіях життєвого циклу полігону склад фільтрату змінюється в наслідок розвитку послідовних процесів, які мають спадковий характер і призводять до самоочищення фільтрату, змінення складу фільтрату залежить від типу полігону, його положення стосовно земної поверхні, стану зневоднення полігону і взаємодії з елементами навколишнього природного середовища.

Ключові слова: *полігон ТПВ, фільтрат, самоочищення фільтрату, вилуговування гірських порід, седиментація, сорбція.*

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛИГОНА ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Показано, что на разных стадиях жизненного цикла полигона состав фильтрата изменяется вследствие развития последовательных процессов, которые имеют наследственный характер и приводят к самоочищению фильтрата, изменение состава фильтрата зависит от типа полигона, его положения относительно земной поверхности, состояния обезвоживания полигона и взаимодействия с элементами окружающей сред.

Ключевые слова: полигон ТБО, фильтрат, самоочистка фильтрата, выщелачивания горных пород, седиментация, сорбция.

THE FORMATION OF SECONDARY MINERALS INFLUENCE ON THE SOLID WASTE LANDFILL ENVIRONMENTAL STATUS

It is shown that at different stages of the life cycle of the landfill filtrate composition varies as a result of sequential processes that are hereditary and also lead to self-cleaning of the filtrate, composition of filtrate changing depends on the type of landfill, its position in relation to the earth's surface, the state of landfill dehydration and interaction with the environmental elements.

Keywords: *landfill, the filtrate, filtrate self-cleaning, leaching of rocks, sedimentation, sorption.*

Переважаючим способом поводження з ТПВ в Україні залишається їх розміщення на полігонах. Полігони мають природоохоронне призначення, водночас їх діяльність є джерелом впливу на навколишнє середовище.

Одним з найбільш вагомих факторів, що впливають на процеси в тілі полігону є морфологічний склад ТПВ, що надходять на полігон. За визначенням тверді побутові відходи (ТПВ) - це відходи, які утворюються в процесі життєдіяльності людини й накопичуються в житлових будинках, побутових установах, суспільних, навчальних, лікувальних, торговельних і інших установах. Це - харчові відходи, предмети домашнього побуту, сміття, опале листя, відходи від ремонту квартир, макулатура, скло, метал, полімерні матеріали тощо, що не мають подальшого використання за місцем їхнього утворення. За умовами утворення ТПВ складаються з наступних груп:

- відходи комунальні та інші неспецифічні;
- відходи діяльності установ громадського харчування;
- відходи діяльності установ технічного обслуговування і ремонту обладнання, приладів та виробів інших.

Відповідно до діючих в Україні «Рекомендацій з організації збирання, транспортування та знешкодження твердого побутового сміття», виділяють одинадцять видів відходів: харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо); папір і картон; полімери (пластик, пластмаси); скло; чорні метали; кольорові метали; текстиль; деревина; небезпечні відходи (батарейки, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо); кістки, шкіра, гума; залишки твердих побутових відходів після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличне зметення тощо). Відсотковий вміст окремих видів відходів в умовах вологості й щільності на місці збирання по Україні коливається в межах: харчові відходи - 28...45; папір і картон - 20...30; полімери - 1,5...5; скло - 3...8; метал чорний - 1,5...4,5; метал кольоровий - 0,2...0,3; текстиль - 3...7; деревина-1,5...4; кістки -0,5...2; шкіра, гума - 1...4; каміння, фаянс - 1...3; інше - 1...3; вуличний змет тощо - 7...18. В межах Київської області відсотковий вміст компонентів ТПВ коливається в межах: харчові відходи - 32...40; папір і картон - 20...30; полімери - 8...9; скло - 5...7; метали - 2...4; текстиль - 3...6; деревина -1...4; кістки, шкіра, гума -1,5...2.5; вуличний змет тощо - 10...35. Фізичний стан відходів твердий. Клас небезпеки - IV...III. Через відсутність роздільного збору на полігони надходять змішані ТПВ.

Основними продуктами процесів, що відбуваються на перших етапах роботи полігону, є звалищний газ і фільтрат.

Слід зазначити, що при дослідженні перетворення ТПВ необхідно враховувати тип полігону, його положення стосовно земної поверхні, стан заводнення полігону, можливість взаємодії з елементами навколишнього природного середовища.

На різних стадіях старіння полігону склад фільтрату змінюється. З часом фільтрат набуває такого складу, що дозволяє його скидання в водне середовище без додаткового очищення. За результатами досліджень, що проводились в Донецькій області в межах міжнародної програми «Тасис», час природного очищення фільтрату коливається в межах 150...300 років. Наведені значення самоочищення фільтрату в часі стосуються висотних полігонів ТПВ, в яких процеси відбуваються повільно і потребують додаткового штучного зволоження. В умовах заглиблених в землю (ярово-балкових, котловинних та кар'єрних) полігонів ТПВ додаткове зволоження відбувається природним шляхом за рахунок поглинання поверхневого стоку в умовах відсутності або недосконалості захисних споруд; поглинання водотоків і інших водопроявів в межах площі полігону, що не були відведені при будівництві; поглинання тілом полігону ґрунтових і підземних вод, які виклинюються на контакті з тілом звалища.

Пораховані специфічні фактори суттєво впливають на обсяг утворення, склад фільтрату і термін його самоочищення. За результатами досліджень, проведених в умовах заглиблених полігонів ТПВ Київської області, термін самоочищення фільтратів полігонів ТПВ не перевищує шістдесяти років.

Склад фільтрату формується за результатами процесів взаємодії органічних кислот, що утворюються в тілі полігону на стадіях гідролізу й ацетогенезу, з мінеральними компонентами порід, які утворюють ділянку розміщення полігону. Органічні кислоти інтенсивно взаємодіють з мінеральними компонентами: мергелями, глинами (зокрема, монтморилонітом, вермікулітом, каолінітом), звичайними та гідрослюдами (мусковітом, флогонітом, цинквальдитом, лепідолітом, гідромусковітом, гідробіотитом, глауконітом). Будучи сильними комплексонами, органічні кислоти вилуговують з мінералів зовнішньосферні катіони (Na^+, K^+, Li^+, Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+} тощо) й аніони (F^-, Cl^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, CO_3^{2-} тощо) за наступними схемами (з використанням *RCOOH* для позначення будь-яких карбонових кислот) наприклад:

$$(Ca,Mg)C0_3 + RCOOH \rightarrow (Ca,Mg(RC00)HC0_3(Ca,Mg(RC00)HC0_3 + RCOOH \rightarrow (Ca,Mg)(RCOO)_2 + H_20 + C0_2,$$

що пояснює невідповідність складу основних забруднювачів фільтрату стосовно складу елементів, які надходять на полігон у складі ТПВ.

На наступних стадіях механізм самоочищення фільтрату складається з процесів седиментації та сорбції, що відбуваються на стадії гуміфікації. На полігоні ТПВ залишається тверда фаза стійка до мікробіального розкладання складена ГК і ФК. Основними складовими гумусових речовин є ГК та ФК; ГР утворюють структурні блоки, які мають високу адсорбційну здатність. Сорбція може здійснюватися за механізмом іонного обміну, або за механізмом комплексоутворення. Седиментація починається на стадії ацетогенезу і закінчується на стадії літогенезу з утворенням вторинних нерозчинних мінералів: магнезит ($MgC0_3$), кальцит ($CaCO_3$), гідромагнезит ($Mg_5(0H)_2[C0_3]_4 \cdot 4H_20$), лимоніт ($HFe0_2 \cdot nH_20$), гіпс ($CaS0_4 \cdot 2H_20$), церуссит ***(РЬСО₃),-*** і розчинних, що викристалізовуються з розчину за певних умов: нашатир (**NH_4Cl),** сода ($Na_2C0_3 \cdot 10H_20$), епсоміт ($MgS0_4 \cdot 7H_20$), мірабіліт ($Na_2S0_4 \cdot 10H_20$), галіт (NaCl) , полігаліт ($Ca_2MgK_2[S0_4]_4 \cdot 2H_20$) , сильвін (KCl) тощо.

Результатом сорбції та сидементації сполук в тілі полігону є самоочищення фільтрату.

Список літератури

1. Державний класифікатор відходів України ДК 005-96-Держсандарт України, 1996.-63с.
2. chttp://www.tacisdonbass.org – сайт проекту Програми ТАСИС Європейського Союзу «Розвиток сфери управління твердими побутовими відходами в Донецькій області»
3. Радовенчик В.М. Тверді відходи: збір, переробка, складування. Навчальний посібник [для студ.вищ.навч.закл.]/ В.М. Радовенчик, М.Д. Гомеля.-Київ:Кондор,2009.-549с.
4. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.Н. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов / В.С. Путилина, И.В. Галицкая, Т.Н. Юганова.-ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН: Новосибирск, 2005. 100 с.

УДК 658.265:644.65

Н.С. Ремез,д.т.н., професор, В.В. Бордіян студ.(НТУУ «КПИ»)

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В УКРАЇНІ

У наш час з причини значного подорожчання природного газу , який традиційно використовується для опалення житлових приміщень, в Україні особливо гостро виникла проблема енергозбереження та пошуку ефективних, альтернативних джерел теплової енергії. Одним із таких джерел може бути використання геотермальної і сонячної енергії за допомогою теплових насосів. Цей метод екологічно безпечний і досить дешевий. Він уже багато років використовується для опалення осель та підігріву води в ряді країн Західної Європи , США , Японії та інших .

Ключові слова: теплові насоси, енергоносії, термодинамічний цикл, децентралізовані системи опалення, відновна енергія, теплова енергія.

Н.С. Ремез, д.т.н., профессор, В.В. Бордіян, студент (НТУУ «КПИ»)

ТЕХНОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В УКРАИНЕ

В современное время по причине значительного подорожания природного газа, который традиционно используется для отопления жилых помещений, в Украине особенно остро возникла проблема энергосбережения и поиска эффективных, альтернативних источников тепловой энергии. Одним из таких источников может быть использование геотермальной и солнечной энергии с помощью теплових насосов. Этот метод экологически безопасен и достаточно дешев. Он уже много лет используется для отопления жилищ и подогрева воды в ряде стран Западной Европы, США, Японии и других.

Ключевые слова: тепловые насосы, энергоносители, термодинамический цикл, децентрализованные системы отопления, восстановительная энергия, тепловая энергия.

N.S. Remez, V.V. Bordiyan

TECHNOLOGY AND FUTURE PROSPECTS OF HEAT PUMPS IN UKRAINE

During modern time owing to a significant rise in price of natural gas which is traditionally used for heating premises, in Ukraine there was a problem saving of energy and search effective, alternative sources of thermal energy. One of such sources can be use geothermal and a solar energy by means of heat pumps. This method is ecologically safe and cheap enough. It many years is used for heating dwellings and heating of water in a number of the countries of the Western Europe, the USA, Japan and others.

Keywords: heat pumps, energy, thermodynamic cycle, decentralized heating systems, renewable energy and thermal energy.

Вступ. В умовах постійного підвищення цін на енергоносії все більшої актуальності набувають технології, які використовують відновну енергію. Однією з таких технологій є теплові насоси [1-3]. Вони використовують як природні джерела низькопотенційного тепла, такі як ґрунт, вода, навколишнє повітря, так і техногенного походження – різноманітні промислові скиди тепла, в тому числі з водою охолодження, вентиляційне

повітря та інше.

Метою роботи є вивчення можливості застосування альтернативних відновлюваних джерел енергії в Україні, а саме, теплових насосів.

Основна частина. Тепловий насос – це холодильна машина, що здійснює зворотній термодинамічний цикл, в якому робоче тіло (холодоагент) відбирає тепло від середовища з низькою температурою і передає його теплоносію з більш високою температурою за рахунок затраченої в циклі енергії (переважно у вигляді роботи). Теплові насоси широко застосовуються в децентралізованих системах опалення та вентиляції житлових будинків завдяки своїй високій ефективності, надійності та екологічній чистоті.

За рахунок того, що тепловий насос не виробляє, а "перекачує" низько потенційне тепло на вищий температурний рівень, він може постачати у 3-5 разів (інколи навіть до 10 разів) більше теплової енергії, ніж спожитої електричної. Джерелом низько потенційної теплової енергії тепло насосних установок може бути тепло, як природного, так і штучного походження. У якості природних джерел можуть використовуватись:

- тепло землі (ґрунту);
- підземні води (ґрунтові, артезіанські, термальні);
- зовнішнє повітря.

В якості штучних джерел низькопотенційного тепла виступають:

- вентиляційне повітря;
- каналізаційні стоки (стічні води);
- промислові викиди;
- тепло технологічних процесів (у промисловості) тощо.

Найважливішим критерієм, за яким проводять класифікацію тепло насосних установок, є комбінація джерела низько потенційного тепла та теплоносія системи розподілу тепла (чи холоду) у системі. У залежності від поєднання цих параметрів теплонасосні установки бувають:

- типу "повітря-повітря" – у таких системах, як зовнішнім джерелом, так і теплоносієм всередині будинку є повітря;
- типу "вода-повітря" – джерелом низькопотенційного тепла є вода;
- типу "грунт-повітря" – джерелом тепла виступає тепло землі, а система розподілу тепла у приміщенні повітряна;
- типу "повітря-вода" – такі системи досить часто застосовуються, коли в будинку облаштовується водяна система опалення;
- типу "вода-вода" – зовнішнім джерелом і теплоносієм всередині будинку є вода;
- типу "грунт-вода" – ґрунтова тепло насосна система з водяною системою опалення всередині будинку [2].

Практичні приклади використання теплових насосів в Україні:

- недобудована система опалення частини міста Судак (Крим) від ТН, що використовує геотермальне тепло;
- опалення тепловими насосами готелю "Ялта" та кемпінгу "Поляна казок" у Криму;
- теплові насоси потужністю 40 кВТ обігрівають вокзал залізничної станції Южное Залютіно та спорткомплекс у м. Охтирка;
- більше 5 років ТН забезпечує теплою водою 23 корпус Київського політехнічного інституту тощо [3].

Широкому використанню теплових насосів в Україні перешкоджає:

- більших потенційних покупців не вірить в високу ефективність технології і чекають результатів реалізації успішних та значимих проектів;
- висока вартість капітальних затрат гальмує застосування;
- відсутня державна підтримка енергозбереження та технології теплових насосів зокрема.

Перспективні напрямки застосування теплових насосів в Україні:

1. В Україні з промисловими і комунально-побутовими стічними водами скидається близько 70 тис.МВт/рік тепла, яке може використовуватися для ТН в теплопостачання комунальних і промислових об'єктів.
2. Електростанції (у тому числі і атомні) скидають для охолодження воду з температурою 30°С, яку теж можна використати з допомогою ТН.
3. Використання як джерело низькопотенціальної енергії тепла землі, річок та морів [3].

На прикладі ТЕЦ-5, акціонерної енергопостачальної компанії "Київенерго", був проведений аналіз можливостей використання теплових насосів та економічний ефект від такого використання в спільній навчальній науково-дослідній лабораторії Інституту гідромеханіки НАН України, НТУУ "КПІ" та Королівського технологічного інституту (КТІ, Стокгольм, Швеція). Для зменшення споживання природного газу на ТЕЦ-5 пропонується використати низькопотенційне тепло води охолодження конденсатора та інших теплових стоків за допомогою теплових насосів. Економія органічного палива за допомогою теплових насосів в кінцевому рахунку відбувається за рахунок корисного використання скидного низько потенційного тепла. Це досягається прямим використанням охолоджуючої технічної води, яка скидається в р. Дніпро в якості джерела низькопотенційного тепла для теплового насоса, що дасть можливість виробляти теплову енергію для потреб центрального теплопостачання, охолоджувати воду до температури природного джерела та зменшити вплив на біологічні організми річки.

В результаті за рахунок утилізації теплонасосною установкою скидного тепла води охолодження ТЕЦ-5 м. Києва можна отримати близько 200 Гкал/год теплової енергії. Це дасть можливості:

- використання теплових насосів для виробництва теплової енергії на ТЕЦ дасть більшу енергетичну незалежність столиці;
- економію коштів на закупівлю природного газу та експлуатацію котелень;
- гарантує стабільне та якісне постачання жителів міста, підприємств та організацій теплом та гарячою водою в опалювальний сезон;
- зменшує обсяги природного газу, що споживаються водогрійними котлами;
- досягнути значного екологічного ефекту, оскільки, завдяки широкому застосуванню теплонасосних установок , викиди CO_2, які впливають на "парниковий ефект", а також SO_2 і NO_x можна значно зменшити;
- зменшити вплив стічних станційних вод на поверхневі води та живі організми р. Дніпро [1].

Висновок. У зв'язку зі зміною цін на енергоносії теплові насоси вже сьогодні є актуальними для України. Для широкого впровадження відновлювальних джерел енергії, зокрема теплових насосів в усіх галузях господарства, необхідно розробити урядову програму, у якій передбачити систему заходів по стимулюванню виробника і споживача, як це робиться в усьому світі.

Література.

1. Перспективи використання теплових насосів для утилізації низько потенційного тепла на прикладі ТЕЦ-5 м. Києва / Є.І. Никифорович, Ю.М. Литвинюк // “Нова тема”, №4, 2008 – С. 11 -15.

2. ДСТУ “Теплові насоси, визначення, класифікація, критерії підбору” /”Нова тема”, №4, 2008 – С. 3 – 10.

3. Сліпець І.В. Ринок теплових насосів в Україні та світі //“Нова тема”, №4, 2008 - С. 18 – 22.

УДК 631.152.3

О.О. ПАНЧЕНКО
O.PANCHENKO

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ «ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ФЕРМИ» ЗА ПРИНЦИПОМ ЗАМКНЕНОГО ЦИКЛУ
РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ» ПО ПРИНЦИПУ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА
DEVELOPMENT METHODOLOGY CONSTRUCTION "ENERGY FARM" ACCORDING TO PRINCIPLES OF “CRADLE TO CRADLE”

У даній статті звертається увага на важливість реалізації проекту «Енергетична ферма», на позитивний ефект від впровадження на агропромисловий комплекс України. Зокрема розглянуто основні кроки на шляху до сталого розвитку фермерських господарств. Робиться акцент на актуальності ефективного енерговикористання на всіх етапах виробництва, їх комплексності і використанні відновлюваних джерел для отримання екологічно чистої енергії. Виділено основні засади принципу «Від колиски до колиски».

Ключові слова: енергетична ферма, від колиски до колиски, відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), енерговикористання, енергоефективність, сталий розвиток, паливно-енергетичні ресурси (ПЕР).

В данной статье обращается внимание на важность реализации проекта «Энергетическая ферма», на положительный эффект от внедрения на агропромышленный комплекс Украины . В частности рассмотрены основные шаги на пути к устойчивому развитию фермерских хозяйств. Делается акцент на актуальности эффективного энергопотребления на всех этапах производства, их комплексности и использовании возобновляемых источников для получения экологически чистой энергии. Выделены осноы принципа «От колыбели до колыбели» .

Ключевые слова: энергетическая ферма, от колыбели до колыбели, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), энергопотребления, энергоэффективность, устойчивое развитие, топливно - энергетические ресурсы (ТЭР).

The following article draws special attention to the importance of the project "Energy Farm", the positive effect of the introduction for agriculture of Ukraine. In particular, the basic step towards sustainability of farms. Emphasis on the relevance of efficient energy use at all stages of production, their complexity and the use of renewable sources for clean energy. The basic principles of the principle of " cradle to cradle ".

Keywords: energy farm, cradle to cradle, renewable energy sources (RES), energy, energy efficiency, sustainable development, fuel and energy resources (FER).

Вступ. Агропромисловий комплекс одна з ключових галузей України, яка переживає нелегкі часи. Обмеженість і висока вартість ПЕР, нестійка політична ситуація, економічна криза, несприятливі кліматичні зміни, складність зовнішньоекономічних зв’язків і т.д. Традиційні для українських фермерів методики управління стрімко втрачають свою актуальність і призводять до спаду конкурентоздатності господарства. Все частіше національні виробники звертаються до закордонних колег за порадою. Адже розвинене європейське суспільство вже давно відкрило для себе позитивні наслідки від трансформації звичайних фермерських господарств в ефективні енергетичні ферми. Це не тільки можливість отримувати позитивний економічний ефект, а й значний вплив на сільську громаду. Розвиваючи сільську місцевість і створюючи нові робочі місця для сільських жителів, можна зробити її більш привабливою для нових жителів, перешкодивши цим зникненню з сучасної карти світу багатьох населених пунктів. Також не менш важливим є екологічний ефект для ґрунту, підземних вод і повітря.

Метою цієї статті є прагнення показати актуальність для АПК України енергетичних ферм і їх слідування принципу «від колиски до колиски». Адже термін енергетична ферма використовується в дуже широкому сенсі, позначаючи виробництво енергії як основного або додаткового продукту сільськогосподарського виробництва, а, крім того, ті види промислової і побутової діяльності, в результаті яких утворюються органічні відходи. Основною метою переробки сировини могло б бути виключно виробництво енергії, але більш вигідно знайти оптимальне співвідношення між отриманням з різних видів біомаси енергії та біопалива. Основною ідеєю проекту є замкнений цикл. Це принцип, який полягає у створенні безперервних колообігів і біологічних, і технічних «поживних речовин». Це означає, що продукція виготовляється завдяки використанню технологічних процесів, заснованих на поновлюваних джерелах енергії, і які забезпечують економію водних ресурсів та дотримання всіх вимог, передбачених таким поняттям, як соціальна відповідальність.

Результати досліджень. Для того, щоб рухатися в правильному напрямку і уникнути необоротних змін землі (наприклад, ерозія), не використовувати ніяких ресурсів з навколишнього середовища, які не можуть бути відновлені (наприклад, не використовувати більше води, чим можна замінити регулярними опадами), і отримувати достатній дохід, щоб тримати достойний рівень перед усім світом, досягти консолідації сільських господарств та розвитку інфраструктури фермерське господарство має дотримуватись стратегії сталого розвитку і поставити перед собою за мету створення енергетичної ферми на основі власного.

Концепція енергетичної ферми, зазвичай, передбачає поєднання застосування різних відновлюваних джерел енергії, таких як біоенергетика, наприклад, біогаз від ферментації / коферментації, спалювання біомаси і використання сонячної та вітрової енергії. Відходи від діяльності одного підрозділу ферми можуть бути сировиною для іншого. Це і є основою для так званого принципу замкненого циклу: Відходи = Їжа!

Принцип замкненого циклу, або як ще його називають принцип «від колиски до колиски» - це підхід до проектування і створення продуктів таким чином, щоб не виробляти ніяких відходів, тому що кожна частина продукту може бути використана повторно, або в технічному циклі або протягом біологічного циклу.

Принцип замкненого циклу є цілісною економічною, виробничою та соціальною базою, яка прагне створити системи, які не тільки ефективні, але є по суті безкоштовними. Принцип в самому широкому сенсі, не обмежується промисловістю, а може бути застосований до багатьох різних аспектів людської цивілізації, включаючи міські умови, будівлі, промислового дизайну та виробництва, економіки і соціальних систем.

Звернувши увагу на питання ліквідації відходів, можна зробити висновок, що головними принципами тут є: скорочення, повторне використання, переробка. Це не тільки буде більш стійкий підхід, але й більш економічний. Вивчивши кожен кілограм сміття та відходів, що господарство виробляє варто сформулювати питання: " Що ще можна зробити з ним?" Якщо нічого не можна зробити, варто спробувати подумати про те, що хтось інший може використовувати його.

Створення такого поняття як енергетична ферма це є не що інше як втілення в життя головних засад сталого розвитку. Сталий розвиток суспільства полягає у взаємовигідному поєднанні трьох основних точок зору: економічної, екологічної і соціальної.

Отже правильний підхід до перетворення фермерського господарства в енергетичну ферму полягає в комплексності. Можна виділити основні кроки для досягнення бажаного результату:

- енергоефективне використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів і перехід до альтернативних джерел енергії;
- екологічність і органічність добрив;

- раціональне і бережливе використання земельних ресурсів;
- цілісний підхід до всіх сфер діяльності фермерського господарства;
- соціальна спрямованість.

Зокрема перехід до ВДЕ і екологічність добрив можна досягти одночасно завдяки біогазовій установці. Біогаз виробляється і використовується локально, дає істотну економію енергії за рахунок підвищення енергоефективності. Збільшення ефективності може бути близько 70% . Це тому, що «відходи» тепла для вироблення електроенергії можна використати для цілей опалення, і місцеві використання електроенергії дозволяє уникнути втрат від передачі на великі відстані по лініям електропередач. Додати інші малі, мікромасштабі відновлювані джерела енергії, такі як енергія сонця і вітру і у нас немає потреби в викопному паливі взагалі, не кажучи вже про те що питання CO_2 автоматично стає закритим.

Вироблення та використання біогазу також дає нам чисте повітря і воду, яка позитивно впливає на природне біорізноманіття сільського господарства, і в той же час, забезпечує органічними добривами.

Генерація електричної енергії когенераційною установкою у поєднанні із сонячними панелями і вітроенергетичними установками дозволить отримати достатньо енергії для власних потреб щоб мати можливість відмовитись від споживання електроенергії із мережі енергетичної системи України.

Висновки. Поряд з економією енергії, реалізація принципу замкненого циклу на енергетичній фермі дозволяє скоротити витрати на технічне обслуговування та простої устаткування, а також підвищити якість продукції і зробити виробничий процес більш контрольованим. Здійснювати контроль енерговитрат можна за рахунок впровадження енергетичного менеджменту на господарстві. Сталий розвиток господарства це не лише впровадження енергоефективних технологій, а й відповідника політика господарства, яка передбачає постійний моніторинг витрат ПЕР господарством і контроль процесу впровадження політики енергоефективності з постійним коригуванням відхилень. Такий комплексний підхід до створення нової сучасної енергетичної ферми дозволить швидко відчути всі переваги і, що дуже важливо, це стане відчутним в грошовому еквіваленті.

Рудюк Н.А.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ СЕРЕТ

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ СЕРЕЕТ

ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE RIVER SERET

Ключові слова :ІЗВ(Індекс забруднення води), якісний стан води, хімічного складу води, природні умови бассейну, головні іони, біогенні речовини, органічні речовини, мікроелементи

Ключевые слова: качественное состояние воды, химический состав воды, природные условия бассейна, главные ионы, биогенные вещества, органические вещества, микроэлементы.

Keywords: quality status of water, water chemistry, environmental conditions basin, major ions, nutrients, organic matter, trace elements.

Анотація. Використання води для питтєвих і господарсько-побутових потреб, для промисловості та сільського господарства залежить від економічного та культурного рівня країни. Чим вищий рівень розвитку, тим більші вимоги до водних ресурсів. У нашій країні у зв'язку з бурхливим розвитком народного господарства, споживання води з року в рік зростає. Наприклад на виготовлення 1 т синтетичного волокна необхідно використати 2750-5600 м води. Також багато води використовують в галузі енергетики, сільському господарстві та багатьох інших галузях. Отже, раціональному використанню водних ресурсів, охороні природних багатств треба приділяти величезну увагу.

Аннотация. Использование воды для питьевых и хозяйственно - бытовых нужд , для промышленности и сельского хозяйства зависит от экономического и культурного уровня страны . Чем выше уровень развития , тем больше требования к водным ресурсам . В нашей стране в связи с бурным развитием народного хозяйства , потребления воды из года в год растет . Например на изготовление 1 т синтетического волокна необходимо использовать 2750-5600 м воды. Также много воды используют в области энергетики , сельском хозяйстве и многих других отраслях. Итак , рациональному использованию водных ресурсов , охране природных богатств нужно уделять огромное внимание .

Abstract. The use of water for drinking and domestic needs for industry and agriculture depend on the economic and cultural level of the country. The higher the level of development , the increasing demands on water resources. In our country, due to the rapid economic development, the consumption of water from year to year. For example to produce 1 ton of synthetic fibers should be used 2750-5600 m of water. Also a lot of water used in energy, agriculture and many other industries. Thus, the rational use of water resources, protection of natural resources needs to be given much attention.

Вступ. Водні об'єкти в ході господарської діяльності зазнають інтенсивного антропогенного впливу. В результаті цього відбуваються як зменшення запасів води, так і погіршення її якості. Однією із важливих проблем сучасності є охорона та раціональне використання водних ресурсів. Вода у великій кількості використовується майже у всіх сферах людської діяльності. У зв'язку з цим її значення в економічному і соціальному розвитку суспільства безперервно зростає.

Завдання:

- вивчити природні особливості району досліджень;
- розглянути принципи оцінки якості води;
- вивчити особливості хімічного складу води р. Зх. Буг;
- оцінити якість води річки по створам (в часовому та просторовому аспекті).

Метою дослідження даної роботи є виявлення та аналіз просторових та часових характеристик якості води р.Серет.

Результати дослідження. Зокрема з усіх розрахункових значень ІЗВ р.Серет за період - 2000- 2006 рр. вода у 19 випадках характеризує 3-й клас якості , по 2 випадки припадає на 2-й клас, 4-й клас, і 5-й клас.

За весь досліджуваний період найбільше показників ІЗВ відносяться до 3-го класу якості води (1 ІЗВ 2,5). Це вказує на те, що вона знаходиться під значним антропогенним впливом. А саме така якість є переважаючою в м. Чортків та за його межами, проте найвищі показники зафіксовані в пункті спостереження р. Серет – смт. Велика Березовиця.

Якість води за розрахованими ІЗВ в гідро створі смт. Велика Березовиця за 2000- 2006 р.р. відноситься до 3-го класу якості води . Найгіршими показниками ІЗВ для даного створу є води 5-го класу якості.

У 2000 р. показники ІЗВ досягнули значення- 4,58, а в 2006 – 4,13. (4 < ІЗВ < 6) .

Розрахунковий ІЗВ пункту спостереження р. Серет – 2.5 км. вище м. Чортків вказує на те, що вода р.Серет – (за 2000-2006рр.) переважно відноситься до 3-го (1< ІЗВ< 2,5) класу якості води – помірно забруднена. Це вказує на те що вона знаходиться під значним антропогенним впливом. Проте в одному випадках якість води р. Серет за ІЗВ можна охарактеризува- ти як чисту (2-й клас якості води). А саме така якість визначена в 2001р. , і становила 0,89.

Ствір №2 р. Серет – 2.5 км. Вище м. Чортків

В пункті спостереження р. Серет – в межах м. Чортків за досліджува- ний період найбільше показників ІЗВ відносяться також до 3-го класу якості води (1 ІЗВ 2,5).Тут, вона знаходиться під значним антропогенним впливом.

Така тенденція проявляється в кожному році спостереження , окрім 2001 року, тут якість води р. Серет за ІЗВ можна охарактеризува ти як чисту (2-й клас якості води). Значення ІЗВ становить 0,89. Максимальне значення спостерігалося в 2006 році , і складало 2.28.

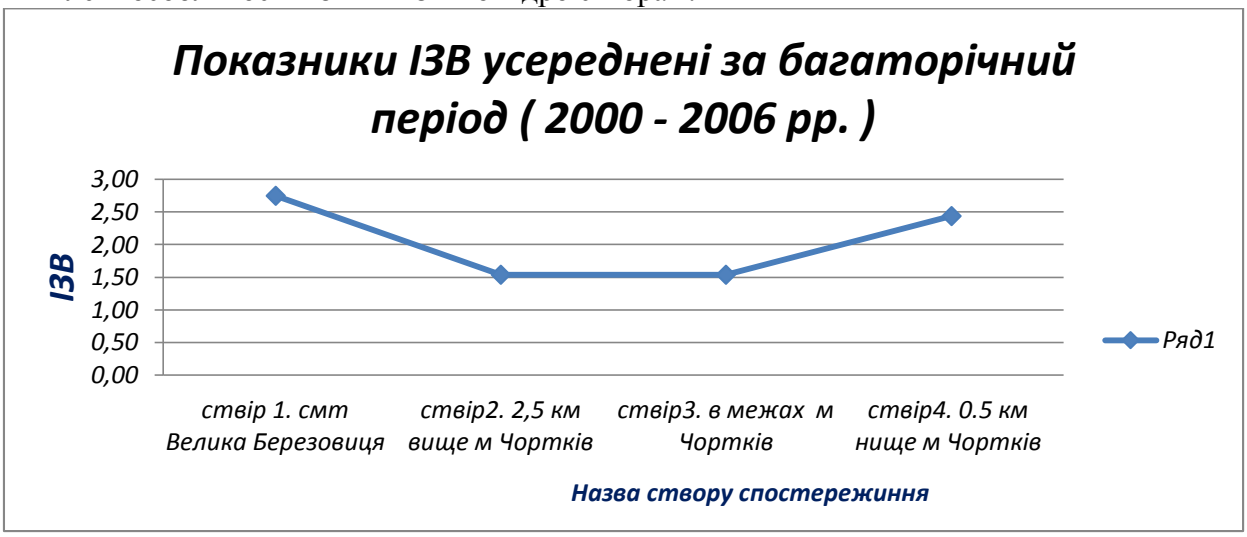
Ствір №3 р. Серет – в межах м. Чортків

Розрахунок ІЗВ пункту спостереження р. Серет - 0.5 км. нище м. Чортків вказує на те, що вода за 2000-2006рр. також переважно відноситься до 3-го (1< ІЗВ< 2,5) класу якості води – помірно забруднена. Проте у двох випадках, а сами в 2002 р. ,та 2006 вода відноситься до 4- го класу, і характеризується, як забруднена (2,5 < ІЗВ < 4). Показники відповідно становили 3.13(2002 р.), та 3,9 (2006 р.). Найменшим показником ІЗВ характеризується 2001 рік, в якому показник ІЗВ склав – 1.71.

Ствір№4 р. Серет - 0.5 км. Нижче м. Чортків

Отже, за показниками ІЗВ за період 2000-2006р.р. визначено погіршення якості води р.Серет після виходу її з м. Чортків , що відображається у збільшені величин індексу

забрудненості води в гідро створі нижче міста. Також високі показники ІЗВ спостерігалися в смт. Велика Березовиця, що пояснюється наявністю стічних вод від ВУЖКГ. Розраховані дані ІЗВ представлені нижче в графіку зміни ІЗВ за 2000-2006р.р, наочно відображають виявлені особливості і зміни ІЗВ по гідро створам.



Висновки. Розрахунок ІЗВ проводиться за обмеженим числом інгрендієтів. Визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів по деяким показникам: азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню($БСК_5$). Знайдене середнє арифметичне значення кожного з показників порівнюється з їх гранично допустимими концентраціями. При цьому у випадку розчиненого кисню величина гранично допустимої концентрації ділиться на знайдене середнє значення концентрації кисню,тоді як для інших показників це робиться навпаки. За показниками ІЗВ за період 2000-2006р.р. води річки Серет найбільш забрудненими виявилися на ділянці смт. Велика Березовиця, оскільки тут сконцентровані потужні скиди ВУЖКГ. Далі спостерігається стабільне зменшення показників ІЗВ, аж до пункту спостереження р. Серет – в межах м. Чортків. Надалі проявляється різьке погіршиння якості води, відповідно й збільшення показників ІЗВ. Це пояснюється антропогенним навантаженням м. Чортків, а саме великою кількістю побутових та комунальних стоків, які скидаються в річку Серет. Саме тому в гідро створі р. Серет - 0.5 км. нижче м. Чортків спостерігаються максимальні значення ІЗВ.

Література.

1. Хільчевский В.К. Водопостачання та водовідведення. Гідро екологічні аспекти. – К.: ВПЦ «Київський університет», 1999 – 319с.

2. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник. – К.: Ніка – Центр, 2001. – 264с.
3. Гідрохімія України: Підручник/ Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. –К.: Вища шк., 1995. – 307 с. 18.
4. Природа Тернопільської області (Під ред.. Геренчука К.І.) : Львів: Вища школа, 1973. – 160 с.

УДК
А.Г. Бойко, студентка 3 курсу
Національного технічного університету України „КПІ“ ІЕЕ,
Жукова Н.І., старший викладач НТУУ„КПІ“ ІЕЕ, науковий керівник

ПЕРЕРОБКА АКТИВНОГО МУЛУ В ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА ТА КОРМОВІ ДОБАВКИ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА
ПЕРЕРАБОТКА АКТИВНОГО ИЛА В ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ И КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА
PROCESSING OF ACTIVATED SLUDGE INTO ORGANIC FERTILIZERS AND FEED ADDITIVES FOR ANIMAL HUSBANDRY

Актуальність скорочення обсягів активного мула, утилізація якого є проблемою для навколишнього середовища
Актуальность сокращение объемов активного мула, утилизация которого является проблемой для окружающей среды
Actuality of reduction the activated sludge, which utilization is a problem for environment

Ключові слова:

активний мул	активный ил	activated sludge
утилізація	утилизация	utilization
біоконверсія	биоконверсия	bioconversion
вермікультивування	вермикультивирование	vermiculture
біогумус	биогумус	vermicompost
червоний каліфорнійський черв'як	красный калифорнийский червь	red californian worm

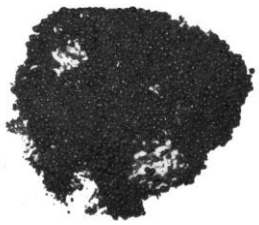
Вступ. На сьогоднішній день для біологічної очистки води використовують установки, які виконують головну свою функцію за допомогою активного мулу. Саме із-за нього виникає проблема забруднення навколишнього природного середовища, бо його утилізація веде до утворення мулових полів, що призводить до непридатності земель у подальшому використанні.

Завдання. Загалом процес біологічного очищення води активним мулом являє собою біотичний кругообіг речовин, який включає процеси утилізації, трансформації та мінералізації органічних речовин за допомогою реалізації процесу аеробної ферментації органічних стоків специфічним комплексом мікроорганізмів з бактерій, грибів, водоростей, кліщів, коловерток, найпростіших й ін., цей процес детально описаний у працях [2, 6]. За такої технології з'являється один вагомий мінус - утворення надлишкового мулу. Його дуже велика кількість і він містить небезпечні біологічно стійкі, токсичні та навіть мутагенні сполуки, віріони, іони важких металів, мікроорганізми, яйця гельмінтів тощо – все це створює еколого-технологічну проблему, котра відображена у роботах [1, 6]. Таким чином, з'являється потреба нового методу утилізації активного мулу чи принаймні зменшення його кількості, що і складає завдання сьогодення (шляхи вирішення цієї задачі представлені у джерелах [3-5, 7, 8]).

Мета дослідження. Висвітлити метод зменшення об'єму активного мулу, утилізація якого є проблемою у наш час.

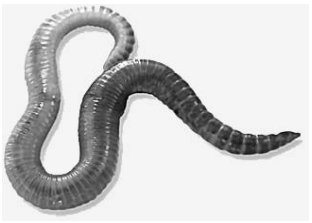
Результати дослідження. Для зменшення об’єму утвореного активного мулу вигідно використовувати **біоконверсію** – це біологічний процес трансформації речовин із однієї форми в іншу біологічними агентами (ферментами чи живими організмами)[5]. Одним із таких процесів є *вермікультивування*, що являє собою технологію переробки біологічних відходів у біогумус за допомогою дощових хробаків. Зазвичай для цього процесу використовують **гібрид червоного каліфорнійського черв’яка** - вид дощових черв'яків, який пристосований до середовищ з великою кількістю розкладаючого органічного матеріалу. Робота цієї живої істоти полягає в тому, що він трансформує органічні рештки у кишечнику та виділяє їх у вигляді копролітів (скаменілих екскрементів). Завдяки цьому зменшується вміст важких металів і патогенної мікрофлори до гранично допустимої концентрації.

активний мул



+

червоний каліфорнійський черв’як



=

копроліти

В Україні на Бортницькій станції аерації (БСА), яка займається повною біологічною очисткою стічних вод, був проведений експеримент на осаді з мулових майданчиків, до якого застосували вермікультивування. За результатами досліду виявилося, що після переробки за допомогою червоного каліфорнійського черв’яка зменшується хімічний склад осаду, що дозволяє його більшу частину (70% від 1 тони осаду) використовувати в якості добрив.

Результати експерименту

Показники	Осад БСА з мулових майданчиків	Осад БСА після переробки за допомогою вермікультури
Вологість, %	71	62
Органічна речовина, %	20	29
pH, од. pH (водна витяжка)	6,6	7,6
Mn, Мг/кг	76,8	16,2
Cu, Мг/кг	4,2	0,9
Zn, Мг/кг	6,4	1,1
Fe, Мг/кг	23,5	3,5
Pb, Мг/кг	14,5	2,8
Cr, Мг/кг	0,9	0,1
Азот загальний, %	0,4	1,8
Фосфор загальний, %	3,36	3,52

Таким чином, це суттєво дає змогу зменшити об'єми активного мулу, покращуючи становище навколишнього природного середовища, тобто являється ефективним способом з екологічної точки зору.

Крім цього, даний метод є економічний, бо вартість переробки 1 тони активного мулу дощовими хробаками за розрахунками фахівців коштує 118 гривень, що виявилося дешевшим методом утилізації порівняно з ціною складання мулу чи його обезводнення та спалювання.

Висновки. Переробка активного мулу за допомогою вермікультивування дає змогу суттєво зменшити викид на мулові майданчики, цим збільшуючи ефективність очистки та знезараження осаду. Біогумус з осаду, отриманий роботою дощових хробаків, - можливість подальшого використання його як добрива для збільшення родючості ґрунтів.

Література:

1. Гвоздяк П.І. За принципом біоконвеєра (Біотехнологія охорони довкілля) // Вісник Національної академії наук України Загальнонауковий та громадсько-політичний журнал. — 2003, №3.
2. Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Ткаченко Т.Л., Пантелеєнко О.С. Індикаторні організми аеробного мулу очисних споруд харчової промисловості // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2010, № 33.
3. Сиденко В.П., Войтенко А.М. Современная биотехнология переработки органических отходов как перспективный путь решения санитарно-экологических проблем // Тез. докл. 2 Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2005. – С.269.
4. Швед О.М. та інші. Екологічна біотехнологія. Книга 1, Львів: НУ "Львівська Політехніка", 2010. – С.385 – 390.
5. http://galexpert.com.ua/uk/stati/50-stati-o-selhozjajstve-i-veterinarii/94-gibrid-kalifornijskogo-chervja.html.
6. http://uk.wikipedia.org/wiki/Активний_мул#cite_ref.-D0.A1.D0.B5.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.BE.D0.B2.D0.B0_1-1.
7. http://uk.wikipedia.org/wiki/Eisenia_fetida.
8. http://vermis-group.com.ua/publ/pererobka_mulu_ta_osadu_stichnikh_vod_v_visokojakisni_organichni_dobriva_ta_kormovi_dobavki_dlja_tvarinnictva/1-1-0-25.

УДК
Шкуріна Аліна Олегівна, студентка 3 курсу
Національного технічного університету України „КПІ“ ІЕЕ,
Жукова Н.І., старший викладач НТУУ„КПІ“ ІЕЕ, науковий керівник

УТИЛІЗАЦІЯ ЗБРОДЖЕНОГО ОСАДУ З МЕТОЮ МІНІМІЗАЦІЇ ПЛОЩ ПІД МУЛОВІ ПОЛЯ НА БОРТНИЦЬКІЙ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ

УТИЛИЗАЦИЯ БРОДЯЩЕГО ОСАДКА С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ПЛОЩАДЕЙ ПОД ИЛОВЫЕ ПОЛЯ НА БОРТНИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ АЭРАЦИИ

DISPOSAL FERMENTED SLUDGE IN ORDER TO MINIMIZE THE AREA UNDER THE SILT FIELD ON BORTNYTSKYJ AERATION STATION

Актуальність проблеми утилізації осаду для зменшення обсягів мулових полів на БСА
Актуальность проблемы утилизации осадка для уменьшения объемов иловых полей на БСА
Actuality of problem disposal of sludge to reduce the volume of sludge fields BSA

Ключові слова:

активний мул	активный ил	activated sludge
утилізація	утилизация	utilization
зброджений осад	сброженный осадок	fermented residue
спалювання осаду	сжигания осадка	incineration of sludge
біомаса	биомасса	biomass
осад стічних вод	осадок сточных вод	sewage sludge

Вступ. Запобігання забруднення поверхневих водоймищ стічними водами, які містять іони важких металів є актуальною екологічною проблемою для України. Металомісткі стічні води скидаються в міську каналізаційну систему, після чого необхідно вилучати іони металів із максимально можливим зменшенням концентрації їх. В інакшому випадку буде інтенсивне забруднення водоймища, що призведе до неможливості використання його в майбутньому.

Завдання. В місті Києві головною структурою міської каналізаційної системи є Бортницька станція аерації, яка за рік очищує 470 млн. м^3 стоків [1]. Значною проблемою для БСА є надлишковий мул, який із вторинних відстійників видаляється на обробку в аеробних стабілізаторах, зневоднюється і вивозиться на мулові поля. Мулові поля займають площу в 272 га (перша черга – 84, друга – 82 та третя – 106 га). У зв’язку з відсутністю землі під забудову нових полів, надлишковим вмістом важких металів у стічних водах, аварійною ситуацією дамби виникла потреба зменшення площ мулових полів. Наразі зменшення площ під мулові поля є можливим завдяки спалюванні та використанні зброджeного осаду в якості добрива, що описується в таких роботах [6-8].

Мета дослідження. Висвітлити методи, якими можна зменшити об’єм мулу, утилізація якого є проблемою нині.

Результати дослідження. Для зменшення об’ємів мулу використовують спалювання та використання зброджeного осаду в якості добрива. Порівняно недавно почали застосовувати спільне спалювання каналізаційного осаду, але його вже визнали

перспективним напрямок використання осаду. Найбільш дослідженим процесом є спільне спалювання осаду з вугіллям, яке в більшості випадків використовується на електростанціях, що підтверджує приклад успішного використання цього методу. Зараз також можливо використовувати спільне спалювання з твердими побутовими відходами [2,6].

Незважаючи на окремі проблеми, фахівці вважають спільне спалювання біомаси перспективним напрямком розвитку з наступних причин:

- Спільне спалювання відносно дешеве.
- Спільне спалювання прийнятно з екологічної точки зору.
- Спільне спалювання знижує емісію діоксину вуглецю, і таким чином сприяє скороченню парникового ефекту.
- Спільне спалювання - ефективний шлях використання енергетичного потенціалу біомаси.
- Реалізація спільного спалювання може бути виконана за короткий проміжок часу.

Для спалювання зброджeного осаду потрібне його попереднє зневоднення. Вологість осаду зазвичай складає 95,6%. Розрізняють такі методи зневоднення: фільтр-пресування, вакуум фільтрування та центрифугування [3].

Для спалювання зброджeного осаду найбільшого поширення набули багатоподові печі, печі киплячого шару, барабанні обертові печі та циклонні печі. Вибір оптимальної печі залежить від її продуктивності, вимог до зброджeного осаду та кількості утвореної золи.

Порівняльна характеристика показників роботи печей при вогневому способі знешкодження відходів наведена в таблиці [3,4].

Таблиця

Піч	Багатоподова	Барабанна	Циклонна	З киплячим шаром
Продуктивність, т/год	13	35	40	30
Ефективність, %	90	91,7	94	92,5
Вологість осаду, %	50-60	60-70	5-10	60-67
Зольність осаду, %	40	35	50	<50
Кількість утвореної золи, %	10	8,3	6	7,5
Температура газів, що відходять з камери горіння, °С	310-520	650-1000	1200	850-950
Питоме навантаження робочого об'єму по знищуваній до ГДК речовині, кг/(м^2·год)	200-400	10-80	600-850	300-800
Коефіцієнт надлишку повітря	1,08-1,2	1,1-1,6	1,04-1,6	1,04-1,3

При спалюванні зброджeного осаду в будь-якій печі утворюються гази, які мають високу температуру та містять шкідливі компоненти. Через це їх необхідно охолоджувати та очищати перед безпосереднім викидом в атмосферу.

Зола від спалювання осадів стічних вод переважно складається з дрібнодисперсного мінеральної пилу, двоокису кремнію, оксидів фосфору, заліза та інших металів. Золу можна використовувати в якості фосфорних добрив, у виробництві керамічної цегли, пінобетону,

використовувати в дорожньому будівництві, а також в будівельних сумішах, де зола може замінювати частину цементу чи піску.

Використання осаду в якості добрива. Одним із способів утилізації осаду стічних вод (ОСВ) є його використання в якості органічного добрива, при цьому вирішується ряд задач: виключається необхідність зберігання (поховання); підвищується родючість ґрунтів і врожайність сільськогосподарських культур; не забруднюється навколишнє природне середовище.

Сьогодні на БСА використання зброджeного осаду в якості добрива не набуло широкого розповсюдження із-за вмісту в ньому іонів важких металів.

ОСВ мають ознаки і властивості як емульсії, так і суспензії. З одного боку, у дисперсійному середовищі (воді) присутні частки органічних речовин, поверхня яких покрита шаром відсорбованих розчинених органічних сполук, тобто відсутня границя тверде тіло – вода. З іншого боку, структурно-механічні властивості цієї системи в значній мірі визначаються твердими частками. Співвідношення властивостей емульсії і суспензії залежить від дисперсності твердої фази і зв'язаного з нею вмісту органіки, що складає в безводній частині осаду по масі 3–30, по обсязі 15–70 %, а іноді і більш.

В якості фільтрувальної перегородки використовують тканини з попередньо намитим на неї шаром одноразового використання з фільтруючої допоміжної речовини – вуглелужного реагенту (ВЛР) [5]. Дослідженнями встановлено, що обробка осадів за допомогою ВЛР дозволяє знизити концентрації важких металів в осадах до концентрацій, що не перевищують санітарні норми їхнього вмісту в добривах сільськогосподарських угідь. При цьому важкі метали усіх форм (зв'язані, рухливі, водорозчинні) включаються до складу міцних розчинних гумінових комплексів, що не представляють небезпеки для навколишнього середовища (водних об'єктів).

Мінеральні добрива з ОСВ можна поділити на три основні групи.

Перша група - рідкі ОСВ (з вологістю 99,5…93,0%), які є рідкою текучою масою. Їх внесення здійснюють шляхом зрошення та дощування сільськогосподарських полів і садів за допомогою мережі трубопроводів, автоцистернами, дощувальними машинами, з використанням інжекційних пристроїв для введення у ґрунт рідкого гною.

Друга група - зневоднені ОСВ (з вологістю 80,0…86,0%) мають вигляд колоїдної маси. Для внесення їх у ґрунт застосовують розливальні машини з рухомим дном або турбінні розкидачі, перевозять автотранспортом з щільним кузовом до місць внесення.

Третя група - сухі ОСВ (з вологістю 25,0…10,0%) після термічного сушіння являють собою сипкий матеріал, ззовні схожий на ґрунт. Для більш зручного використання та виключення пилення можлива його грануляція. Транспортування сухих ОСВ і внесення їх в ґрунт є досить зручним і проводиться звичайними сільськогосподарськими машинами для внесення добрив.

Висновок

Утилізація зброджeного осаду стічних вод на Бортницькій станції аерації відіграє важливу роль у зменшенні шкідливих забрудників навколишнього середовища при даних темпах росту забруднення іонами важких металів водоймищ України. А також спостерігається значна перспективність методу спалювання зброджeного осаду через його дешевизну, екологічну прийнятність, та ефективний шлях використання біомаси.

Література

1. Технічний звіт Бортницької станції аерації.- 2007.-с.2-180.
2. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. М: Стройиздат. - 2001. -с.15-19.

3.Ветошкин А.Г. Защита литосферы от отходов. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.

4.Охрана производственных сточных вод и утилизация осадка// под ред. В.Н.Соколова. М.: Стройиздат.-1992.-с.58-64.

5.Котюк Ф.А. Технология удаления тяжелых металлов из осадков городских сточных вод // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2005. – Вип. 32. – С. 172-175.

6. http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good_practices:ru

7. http://stroy-spravka.ru/szhiganie-osadkov-stochnykh-vod

8. http://agroobzor.ru/ahim/a-118.html

УДК 628.477.6

Жукова Н.І., Трофимчук О.С.

УТИЛІЗАЦІЯ РТУТІ

Один з найбільш небезпечних металів - ртуть. Використання ртуті у виробництві призводить до великих його втрат. Таким чином, цей метал у великих кількостях потрапляє в навколишнє середовище і створює багато шкоди для здоров'я людини і всіх живих організмів. Утилізація ртуті є складним і важливим процесом і особливо небезпечним, тому ми повинні мати справу з ним відповідально. Україна має велику проблему з утилізацією ртуті та пристроїв, що містять цей метал. Ця стаття присвячена проблемі утилізації та способів вирішення цієї проблеми.

УТИЛИЗАЦИЯ РТУТИ

Ртуть, утилізація, демеркуризація, пристрій для очистки повітря від парів ртуті.

Один из наиболее опасных металлов - ртуть. Использование ртути в производстве приводит к большим его потерям. Таким образом, этот металл в больших количествах попадает в окружающую среду и создает много вреда для здоровья человека и всех живых организмов. Утилизация ртути является сложным и важным процессом и особенно опасным, поэтому мы должны иметь дело с ним ответственно. Украина имеет большую проблему с утилизацией ртути и устройств, содержащих этот металл. Эта статья посвящена проблеме утилизации и способов решения этой проблемы.

DISPOSAL OF MERCURY

Ртуть, утилизация, демеркуризация, установка для очистки воздуха от паров ртути.

There are one of the most dangerous metals - mercury. The use of mercury in production leads to large losses it. Therefore, this metal in large quantities enters the environment and cause a lot of harm to human health and all living organisms. Disposal of mercury is a complex and important process and especially dangerous, so we have to deal with it responsibly. Ukraine has a large problem of disposal of mercury and devices that contain this metal. This article deals with the problem of recycling and ways to solve this problem.

Mercury, recycling, demercurization installation for air purification from mercury vapor.

Ртуть — сріблясто-білий важкий метал, рідкий при кімнатній температурі. Широко застосовується при виготовленні різних приладів (барометри, термометри, манометри, вакуумні насоси, полярографи і ін.), в ртутних лампах, як рідкий катод у виробництві їдких лугів і хлору електролізом, як каталізатор при синтезі оцтової кислоти, для амальгамації золота і срібла. Крім того, сполуки ртуті застосовуються в медицині.

Ртуть набула значного поширення у виробництві. Використання приладів, що містять ртуть у своєму складі, рано чи пізно виходять з ладу. В такому випадку прилади зі ртуттю відправляються на утилізацію, а метал на регенерацію для подальшого використання.

Вплив ртуті, а головне її випари є дуже небезпечними для здоров’я усіх живих організмів. Для того, щоб уникнути шкідливих наслідків, існують заводи по переробці ртуті та приладів, що її містять. Після чого метал знову використовують для подальшого виробництва.

Великою проблемою в Україні є відсутність заводів, що займалися б утилізацією та переробкою ртуті вилученої з навколишнього середовища та відходів. Окрім цього відсутня спеціальна освітня програма для населення – що потрібно робити, коли розбився градусник, тонометр, люмінесцентна лампа чи інші прилади, що містять ртуть.

Через незнання ми допускаємо масу помилок при так званій «самостійній утилізації» -

викиданні до смітнички, спускання до каналізації і так далі.

Потрапляючи до навколишнього середовища, ртуть переходить до неорганічної форми – елементарної ртуті, і засвоюється в організмах тварин, які ми споживаємо в якості їжі. Так, як найважливішими її геохімічними властивостями є схильність до утворення міцних зв'язків з сіркою, утворення органно-металічних з'єднань, що стійкі у водному середовищі, то проблема утилізації металу та вилучення його з навколишнього середовища є дуже важливим питанням, аби не нашкодити своєму здоров'ю.

Для кращого розуміння небезпеки усієї ситуації наведемо невелику довідку про вплив металу на здоров'я живого організму, зокрема людини.

Коли ртуть у вільному вигляді знаходиться на землі, вона має здатність випаровуватися та чинити безповоротні зміни зі здоров'ям населення. Відомі гострі, хронічні отруєння ртуттю та меркуріалізм.

Гострі отруєння ртуттю наступають при швидкому потраплянні в організм великих доз отрути, при цьому ГДК парів ртуті робочої зони складає: 0,005 мг/м^3, а максимально разова для людини – 0,01 мг/м^3. Симптоми отруєння парами труті: загальна слабкість, головний біль, біль під час ковтання, металевий присмак у роті, слиновиділення, набряк і кровоточивість ясен, блювання. Спостерігається запалення легенів, біль у грудях, кашель, задишка, сильний озноб. Температура тіла 38-40˚С. У сечі постраждалого велика кількість ртуті. У важких випадках смерть.

Хронічні отруєння (меркуріалізм) виникають при довготривалому вдиханні парів ртуті - протягом кількох років. Виникають симптоми загальної слабкості, головні болі, тремор (спочатку пальців рук, ніг, вій, губ і далі всього тіла), зниження нюху, смаку та чутливості шкіри. Послаблення пам'яті і самоконтролю, зниження уваги та розумових здібностей. У жінок важко протікає вагітність, зростає число викиднів, народжені діти часто мають розумові відхилення, є нежиттєздатними та дуже слабкими, що в подальшому відображається на здоров'ї та може призводити до смерті.

Мікромеркуріалізм – довготривале вдихання малих доз парів протягом 5-10 років. Симптоми такі ж, як і при хронічних отруєннях, але менш виражені. З часом мікромеркуріалізм переходить у хронічне отруєння з усіма відповідними симптомами.

Будь-який вплив ртуті є шкідливим для організму людини, як дорослої, так і дитини. Досліджувати це питання є дуже важливим для порятунку здоров'я наших дітей.

Розглянемо нинішню ситуацію України в питанні утилізації ртуті.

Територія України є забрудненою ртуттю та її сполуками у зв'язку з: відсутністю доступних центрів утилізації ртутовмісних відходів – люмінесцентні лампи, термометри, фізичні прилади; відсутністю заводів по переробці ртутовмісних відходів як побутових, так і медичних; бездіяльність стосовно цього питання влади.

Прикладом може послужити наступна ситуація.

Недалеко від Києва знаходиться завод «Радикал», що в 1996 році припинив свою діяльність через банкрутство. Зараз територія заводу і прилеглі до неї ділянки сильно забруднені ртуттю та іншими важкими металами. Планувалося у березні 2011 року провести повну утилізацію вилученої ртуті з території, адже після очисних робіт 2001-2005 року, коли зібрали і так більше 500т ртуті, там лишилося ще кількасот тонн. Утилізація мала проводитися на Нікітському заводі в м. Горлівка. Та сталося непередбачуване – завод підірвали у зв'язку з його непридатністю у листопаді 2012 року. Правління України піднімало це питання неодноразово, але нічого досі так і не змінилося. І тепер діючих заводів цього профілю в Україні немає.

Проблема заключається в тому, що утилізації потребує не тільки та ртуть, яка знаходиться в навколишньому середовищі, але й та, що входить до складу різних приладів.

Я думаю, що це навіть не питання фінансового плану, а незацікавленість і необізнаність суспільства із усіма наслідками, що можуть спіткати в разі зустрічі сам на сам з цією речовиною.

Для вирішення всієї ситуації я пропоную перш за все нарешті зайнятися будівництвом відповідним промислових об'єктів, що захищатимуть населення від шкідливого впливу ртуті. Щодо методик, які будуть використовуватися в самому технологічному процесі, то можна переглянути наступні варіанти, які або раніше використовувалися у нашій державі, або використовуються іншими країнами світу нині.

Пристрій для очищення газового потоку від парів ртуті і твердих домішок, що застосовують при демеркуризації твердих ртутовмісних відходів. Також він може бути використаний і для очищення газового потоку в інших галузях промисловості.

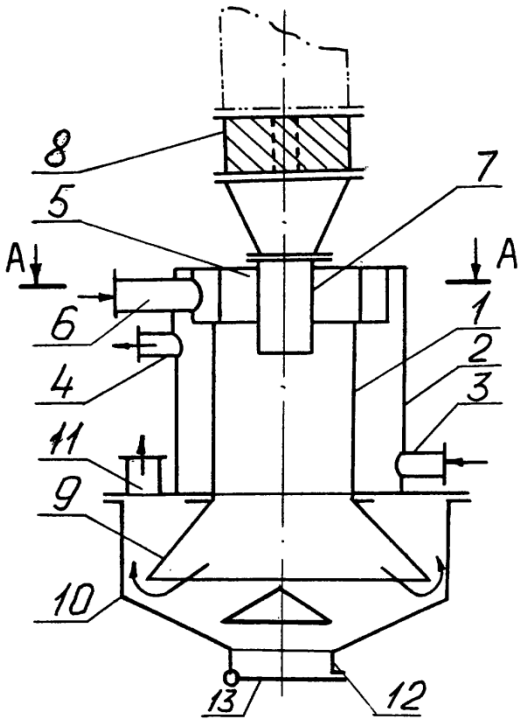


Рис. 1. Будова пристрою для очищення газового потоку від парів ртуті

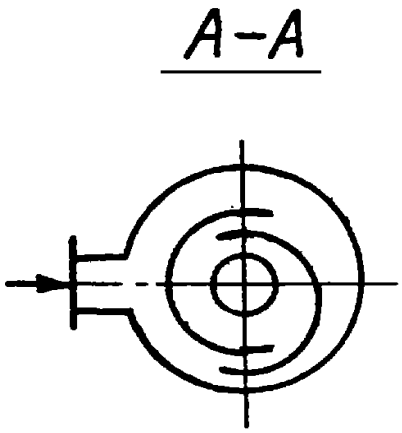


Рис. 2. Вигляд в поперечному розрізі А-А

Принцип дії установки полягає у наступному. У охолоджуючу сорочку 2 через патрубок 3 подають охолоджене повітря з випарами, які відводяться через патрубок 4. Через патрубок 6 в тангенціальний сопловий ввід 5 подають робочу масу – газовий потік, в якому він закручується і надходить всередину корпусу 1. Завихрений потік робочого середовища створює в осьовій частині корпусу 1 розрідження, що забезпечує всмоктування потрібного газу, який попередньо завихрюється, проходячи через завихрювач 8, і через трубку 7 надходить в корпус 1, де захоплюється закрученим потоком робочого середовища. При цьому тверді домішки і ртутні пари відкидаються на стінки корпусу, де пари ртуті конденсуються і разом з твердими домішками падають у збірник 10, а газ, проходячи через дифузор 9, і, потрапляючи в камеру розширення 10, втрачає швидкість обертання і через відвідний патрубок 11 надходить до наступного етапу очищення. Для видалення зі збірника 10 накопичених домішок періодично відкривають кришку 13 і через люк 12 видаляють їх. Даний пристрій забезпечує ефективну очистку газового потоку не тільки від парів ртуті, а й від твердих домішок, виключаючи їх потрапляння на другий ступінь очищення (адсорбційний фільтр). Крім того, конструкція виключає протікання забрудненого ртутними парами газу за рахунок створення в зоні проходження неочищеного газу - розрідження.

Пристрій для очистки повітря від парів ртуті на основі масляного фільтра. В даному пристрої встановлені масляний повітряний фільтр, що поглинає вугільний пил, що утворюється внаслідок стирання і виносу сорбента потоком повітря, що всмоктується. Поглинаюча колонка, наприклад, трубчата, обладнана насадкою для забору повітря і сітчастою касетою, а також обладнана смотровим вікном, зйомним фільтром. Також у конструкції є патрубки завантаження сорбенту і відбору проб повітря. Це значно покращує очищення та її контроль.

На рисунку 3 зображено запропонований пристрій.

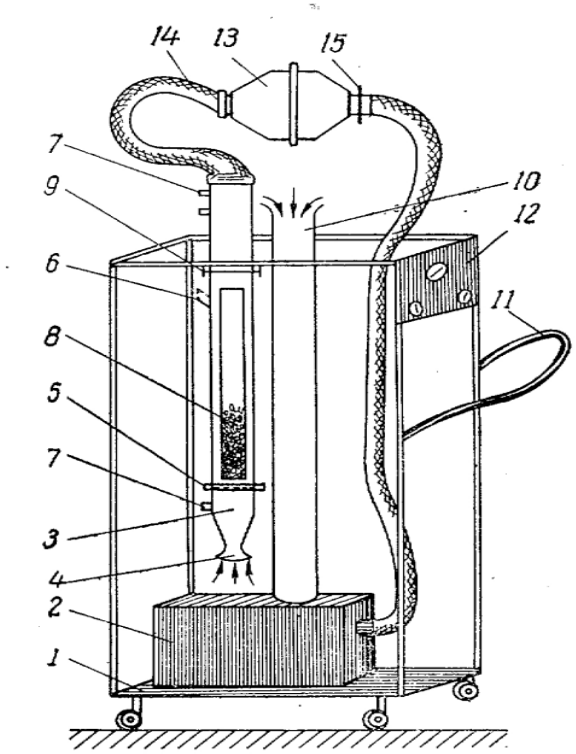


Рис. 3 Загальний вигляд установки

На рамі-візку 1 змонтовані повітродувка 2, поглинаюча камера 3 з насадкою 4 для забору повітря, сітчастою касетою 5 для утримання сорбенту, патрубками 6 і 7 завантаження сорбенту і відбору проб повітря, смотровим вікном 8 і зйомник фільтром 9, вихлопна труба 10, ручка 11 і дошка приладу 12. Фільтр-поглинач 13, що з'єднаний з колонкою 3 і повітродувкою 2 повітроводами 14, наприклад прорезиненими шлангами, і обладнаний шиберною заслінкою 15.

Основною перевагою даного приладу є те, що з метою покращення очищення та його контролю, у приладі встановлені масляний фільтр, трубчата поглинаюча колонка з насадкою для забору повітря, сітчастою касетою і т.д.

Цей прилад може бути використаний для видалення малих кількостей парів ртуті із повітря невеликих робочих приміщень.

На різноманітних підприємствах, що працюють зі ртуттю вигідним є також наступна пропозиція - використання активованого вугілля. Ним очищують повітря, що створюється підприємствами, яке містять ртуть та ртуторганічні сполуки. Ртутовмісні гази утворюються при випалюванні руд, приготуванні каталізаторів, протруйників та інших продуктів. Для уловлювання її парів і з'єднань ефективне активоване вугілля з різними добавками, в якості яких використовують хлористий водень, мінеральні кислоти, хлорид заліза та інші. При правильному підборі умов сорбції та регенерації досягається практично повне очищення повітря відповідно до санітарних норм і повернення ртуті та її сполук в технологічний цикл.

Таким чином я пропоную як варіант встановлення даних установок на підприємстві по переробці ртуті. Тобто цим аналізом я доводжу, що в принципі існування такого підприємства – можливе, попри усі відмовки влади. І дані установки могли б допомогти уловлювати пари ртуті на цих підприємствах з метою мінімізації завдання шкоди працюючим в цехах. Ртуть – дорогоцінний метал багаторазового використання, потрібно розуміти цінність цього.

Користуючись закордонним досвідом і власними патентами ми можемо налагодити цю ситуацію вже найближчим часом.

Та поки такого заводу немає, ми маємо справу з іншою важливою проблемою – неправильна організація збору ртутовмісних приладів, відсутність освітніх програм для населення та програм заохочення сортувати небезпечні відходи, що містять ртуть. Адже навіть попри те, що нині ми не маємо змоги займатись утилізацією та переробкою ртуті самостійно, - ми користуємось послугами закордонних партнерів. І якби населення держави було краще проінформовано про певні центри, куди можна принести відпрацьовані люмінесцентні лампи, ми змогли б зменшити кількість розбитих ламп на полігонах зі сміттям і цим самим зменшити негативний вплив на здоров'я населення.

За кордоном дана ситуація вирішується іншим методом, коли самі люди зацікавленні в допомозі правлінню наступним чином. У країнах Європи існує таке введення: люди сортують все сміття, що містить небезпечні метали, до спеціально відведених місць, а натомість комунальні служби спрямовують вилучені гроші з утилізації ртуті на погашення комунальних послуг та різні сплати для населення.

В нашому випадку це буде дуже непоганим варіантом.

Також, на мою думку, необхідно забезпечити якісну рекламну кампанію щодо небезпеки потрапляння ртутовмісних відходів до звичайної смітнички, а пізніше на полігони та в грунтові води. Та повідомити населення про всі центри утилізації відходів такого плану: надати контактні телефони, адреси, та інформацію про першочергові дії при самостійній демеркуризації вдома.

Потрібно створити програми збору серед населення за пільговими цінами та запевнити людей у доцільності відносити прилади, навіть, якщо ця послуга буде платною.

Лише разом ми зможемо покращити ситуацію, яка нині склалася в Україні та забезпечити здорове майбутнє нашим дітям!

Література

1. Патент 2140825. МКІ У 04 З 3/04. "Пристрій для очищення газу". 2. Пристрій для очистки газового потоку від парів ртуті установки демеркуризації ртутних ламп УДМ-300, креслення 679.005ІЕ.

2. А. с. СССР № 167284, заявлено 03.VI 1963, опубл. 04.01.1965, бюл. №1, МПК А 61*l*, УДК 614.48 (088.8), Описание изобретения ЦНИИПИ Государственного комитета по делам изобретений и открытий СССР. Яворовская С.Ф. Устройство для очистки воздуха от паров ртути.

3. http://fakty.ua/161140-kuda-mozhno-sdat-dlya-utilizacii-staryj-gradusnik-otrabotannye-batarejki-i-energosberegayucshie-lampy#

4. http://gazeta.ua/articles/ukraine-newspaper/_energooschadna-lampa-mistit-do-chotiroh-miligramiv-rtuti/494220

5. http://20minut.ua/Novyny-Vinnytsi/Podii/Куда-винничанам-выкидывать-испорченные-ртутные-градусники-10252945.html

6. http://www.segodnya.ua/economics/business/baloha-ne-khochet-vyvozit-za-hranitsu-pectitsidy-i-rtut.html

УДК 621.317

СУХАРЬ А.О., *студентка*, науковий керівник: **КОЦАР О.В.**, *к.т.н., доцент*
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ, НТУУ «КПІ»
Е
СУХАРЬ А.О., *студентка*, научный руководитель: **КОЦАРЬ О.В.**, *к.т.н., доцент*
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА, НТУУ «КПІ»

SUKHAR A.O., *Student***,** Research Supervisor: **KOTSAR O.V.,** *Ph.D., Ass. Prof.*
INSTITUTE OF ENERGY SAVING AND ENERGY MANAGEMENT, NTUU «KPI»

ЩОДО ЗАЛУЧЕННЯ КІНЦЕВИХ СПОЖИВАЧІВ ДО РЕГУЛЮВАННЯ ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ОРЕ

О ПРИВЛЕЧЕНИИ КОНЕЧНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К РЕГУЛИРОВАНИЮ ГРАФИКА НАГРУЗОК ОРЕ

ABOUT ATTRACTION OF FINAL CONSUMERS TO REGULATION OF LOAD SCHEDULE OF UKRAINIAN ENERGY MARKET

Анотація. *В цій роботі запропоновано механізм визначення ступеню участі кінцевого споживача у вирівнюванні графіка навантаження електропередавальної компанії – постачальника за регульованим тарифом (ПРТ) – суб'єкта ОРЕ, до мереж якого приєднаний цей споживач.*

Ключові слова: *електричне навантаження, оптовий ринок енергії, режим електроспоживання, кореляція, пікове навантаження, нерівномірність, регулювання, прогноз.*

Аннотация. *В этой работе предложен механизм определения степени участия конечного потребителя в выравнивании графика нагрузки энергоснабжающей компании - поставщика по регулируемому тарифу (ПРТ) - субъекта ОРЭ, к сетям которого присоединен этот потребитель.*

Ключевые слова: *электрическая нагрузка, оптовый рынок энергии, режим электропотребления, крреляция, пиковая нагрузка, неравномерность, регулирование, прогноз.*

Abstract: *In this work was proposed a mechanism of defining an ultimate consumer's involvement level in alignment of load schedule of energy saving company – adjustable tariff supplier (ATS) – subject of Wholesale Energy Market (WEM), to the circuit of which is connected this consumer.*

Keywords: *electrical load, wholesale energy market, energy-consuming mode, correlation, peak load, irregularity, regulation, prognosis.*

Метою досліджень є формування об'єктивних критеріїв та розробка ефективного методу оцінки ступеню участі кожного кінцевого споживача у «рівномірності» результуючого графіка навантаження Оптового ринку електроенергії (ОРЕ) України з метою визначення ринкової вартості системних послуг на засадах справедливості та неупередженості. Ці критерії та методи доцільно інтегрувати до ринкових механізмів РДДБР з метою залучення кваліфікованих кінцевих споживачів до регулювання графіка навантаження ОРЕ шляхом узгодженого керування власними режимами електроспоживання на взаємовигідних засадах.

Процес формування прогнозу графіка навантаження ОРЕ в загальному випадку можна описати таким

чином. Кожний кваліфікований кінцевий споживач – суб'єкт РДДБР (надалі – споживач) подає ПРТ прогноз власного графіка навантаження на наступну добу. На підставі поданих споживачами графіків навантаження ПРТ (оператор розподільної мережі) формує результуючий графік навантаження. На цьому етапі споживачам може бути запропоновано участь у певній програмі зі зменшення нерівномірності результуючого графіка навантаження ПРТ. Це може виявитися доцільнішим за залучення до покриття результуючого графіку навантаження додаткових маневрених енергоблоків, собівартість виробітку електроенергії якими вище за собівартість виробітку електроенергії базовими блоками. В такому випадку керування режимами електроспоживання дозволить скоротити обсяги використання маневрених енергоблоків та, відповідно, зменшити середньозважену вартість електричної енергії. Врешті решт це має призвести до зменшення обсягів використання викопного палива та скорочення шкідливих викидів.

Наступним етапом є формування прогнозу графіка навантаження ОРЕ шляхом сумування графіків навантаження ПРТ. Маючи прогнозований графік навантаження ОРЕ оператор ринку «на добу наперед» (РДН) замовляє його покриття і отримує прогнозовану погодинну вартість електричної енергії наступної доби. На цьому етапі необхідно розглянути залежність та взаємовплив графіків змінення вартості електричної енергії та навантаження споживача, адже однією з головних цілей ПРТ є зменшення грошових витрат за умови споживання тієї ж самої кількості електроенергії.

Нехай маємо прогноз добових графіків навантаження кінцевого споживача і графіків навантаження ПРТ, які містять, зокрема, графіки кінцевого споживача. Для більшої ефективності сприйняття досліджувався добовий графік графікоутворюючого споживача, тобто споживача, який привносить суттєвий вклад до результуючого графіка навантаження ПРТ.

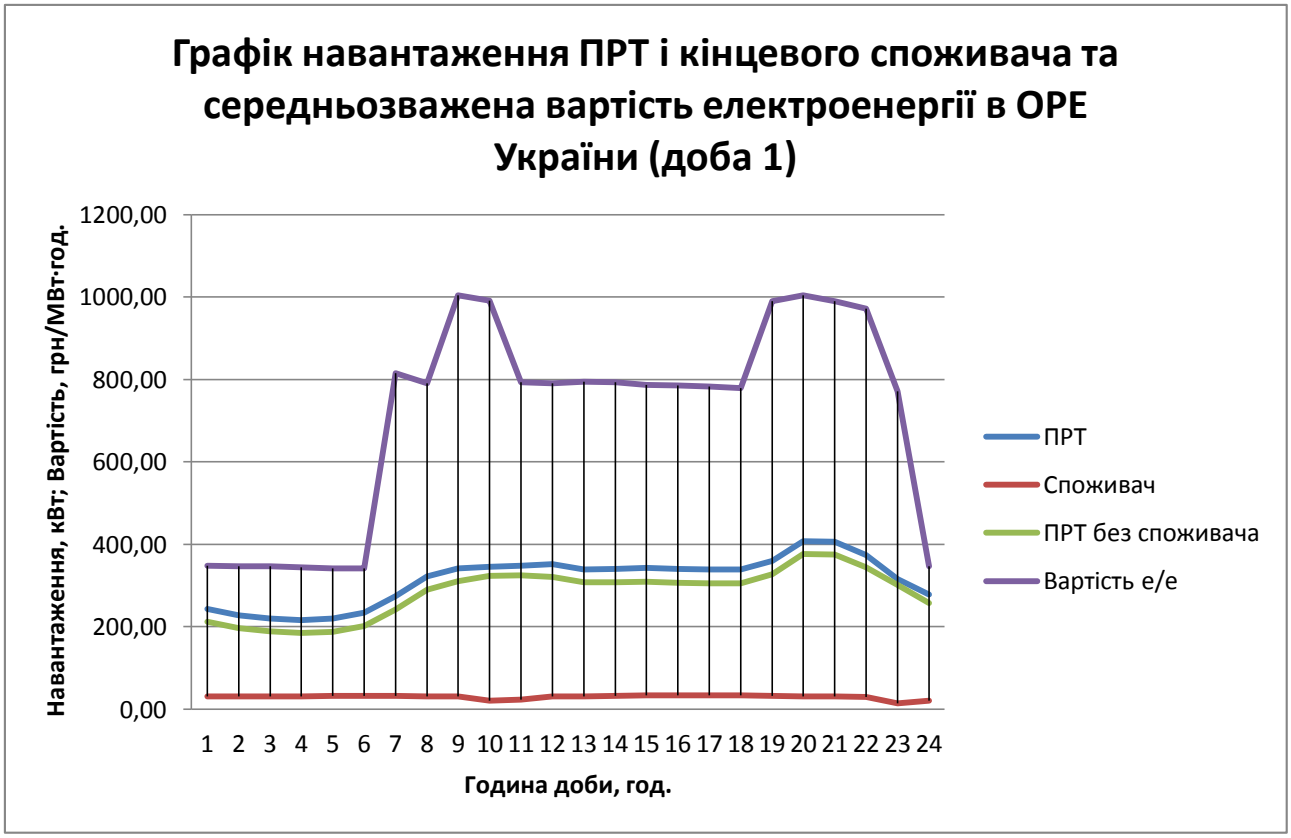


Рис.1. Добові графіки навантаження ПРТ і кінцевого споживача, який приєднаний до електричних мереж цього ПРТ (доба 1).

З графіка видно, що максимальним навантаженням ПРТ відповідає максимальна вартість електричної енергії в ОРЕ. Взаємний кореляційний момент (ВКМ) графіка навантаження ПРТ та кінцевого споживача $K = -0,04$, ВКМ графіка навантаження ПРТ без урахування цього споживача і графіка навантаження досліджуваного споживача $K' = -0,12$. Зростання *K* відносно *K'* можна пояснити тим, що *K* вже враховує участь споживача в графіку навантаження ПРТ. Іншими словами, *K* показує нам, наскільки корелюється сума графіків ПРТ та споживача безпосередньо з графіком споживача. Ступінь участі кінцевого споживача в графіку навантаження ПРТ оцінюємо відповідно до модулю ВКМ, з врахуванням його знаку [1]. З цього можемо зробити висновок, що в умовах цієї доби графік навантаження споживача сприятиме зменшенню нерівномірності графіка навантаження ПРТ, але цей вплив міг би бути «кориснішим», аби мінімум навантаження споживача о 23.00 співпав з максимум навантаження ПРТ о 20.00-21.00, що добре видно з рис.1. В такому випадку можна було б також очікувати, що зростання навантаження ПРТ в період з 7.00 до 9.00 відбувалося б плавніше, що є перевагою, якщо брати до уваги високу інерційність генеруючого обладнання.

Взаємний кореляційний момент графіка електроспоживання ПРТ та вартості електроенергії в ОРЕ близький до 1, що є цілком логічним, адже вартість електричної енергії в ОРЕ формується виходячи з графіка навантаження енергосистеми, який, в свою чергу, є сумою графіків електроспоживання усіх ПРТ, які даній енергосистемі належать.

Всі розраховані ВКМ зведемо до 499абл.. 1.

Коефіцієнт форми характеризує нерівномірність графіка навантажень в часі, і своє найменше значення, що дорівнює одиниці, він приймає при навантаженні, незмінному в часі. Коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ без участі споживача $K_\phi' = 1,0209$, графіка навантаження ПРТ, який вже враховує навантаження цього споживача $K_\phi = 1,0169$. δ_{K_ϕ} складає 0,389%.

Таблиця 1. Зведені значення усіх розрахованих ВКМ за добу 1

ВКМ	ПРТ-споживач	ПРТ без врахування споживача-споживач	Вартість-споживач	ПРТ-вартість	ПРТ без врахування споживача-вартість
Значення	-0,04	-0,12	-0,02	0,919	0,916

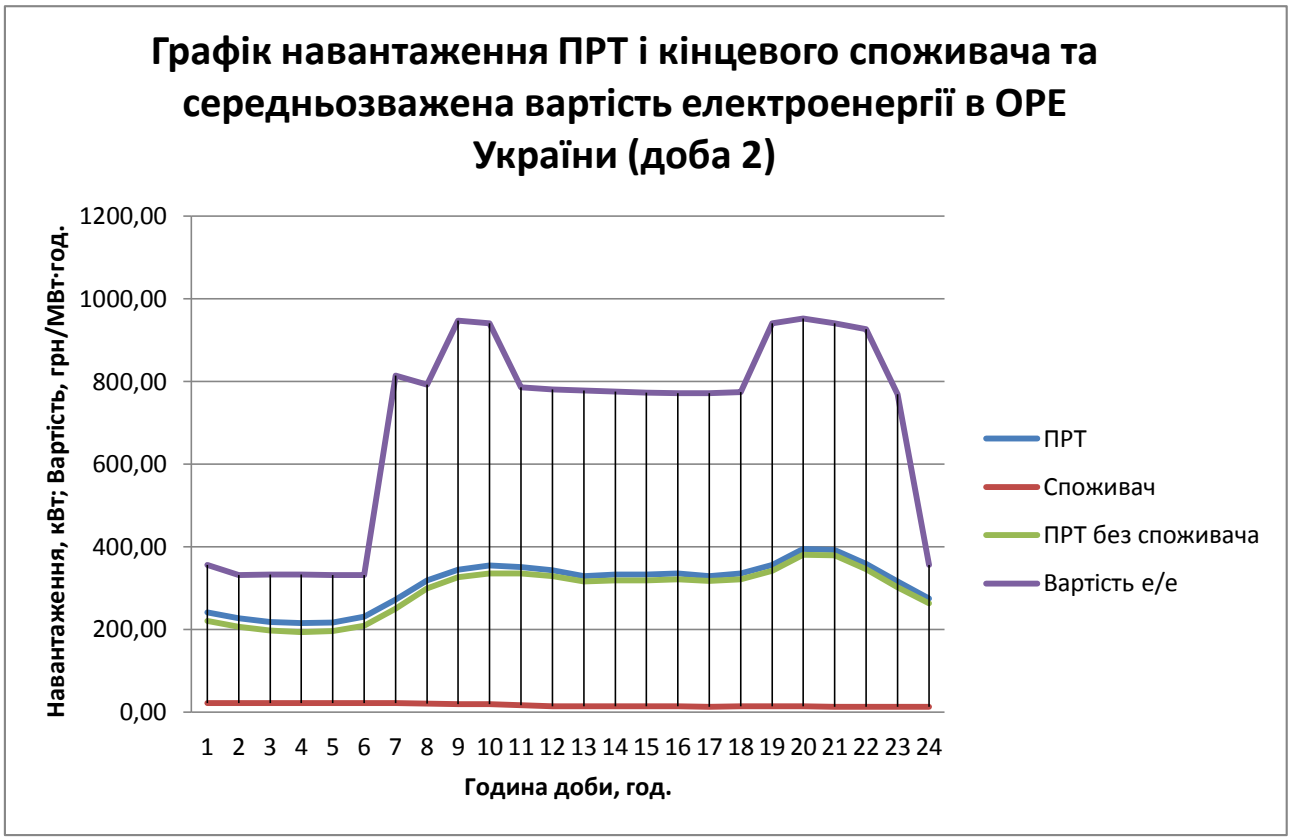


Рис.2. Добові графіки навантаження ПРТ і кінцевого споживача, який приєднаний до електричних мереж цього ПРТ (доба 2)

В межах другої доби графік навантаження кінцевого споживача має форму, подібну до низхідної прямої, тобто навантаження кінцевого споживача неухильно зменшувалося протягом доби. Найбільше електроспоживання споживача відбувається в період 0.00-6.00, в цей самий час спостерігається спад навантаження ПРТ. ВКМ графіка навантаження ПРТ та кінцевого споживача $K = -0,74$, ВКМ графіка навантаження ПРТ без урахування цього споживача і графіка навантаження досліджуваного споживача $K' = -0,77$. Вплив споживача на графік навантаження ПРТ можна оцінити як «позитивний», адже з рис. 2 видно, що в час вищого з максимумів навантаження ПРТ спостерігається «провал» навантаження у споживача, що зменшує нерівномірність сумарного графіка. Зважаючи на те, що години найбільшої вартості електроенергії відповідають періодам максимального навантаженні ПРТ, споживання енергії кінцевим споживачем таким графіком призвело до зниження добової плати ПРТ за енергоресурси.

Коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ без участі споживача $K_ф' = 1,0197$, графіка навантаження ПРТ, який вже враховує навантаження цього споживача $K_ф = 1,016$. $\delta_{K_ф}$ складає 0,358%.

Всі розраховані ВКМ зведемо до табл.. 2.

Таблиця 2. Зведені значення усіх розрахованих ВКМ за добу 2

ВКМ	ПРТ-споживач	ПРТ без врахування споживача-споживач	Вартість-споживач	ПРТ-вартість	ПРТ без врахування споживача-вартість
Значення	-0,74	-0,77	-0,57	0,93	0,92

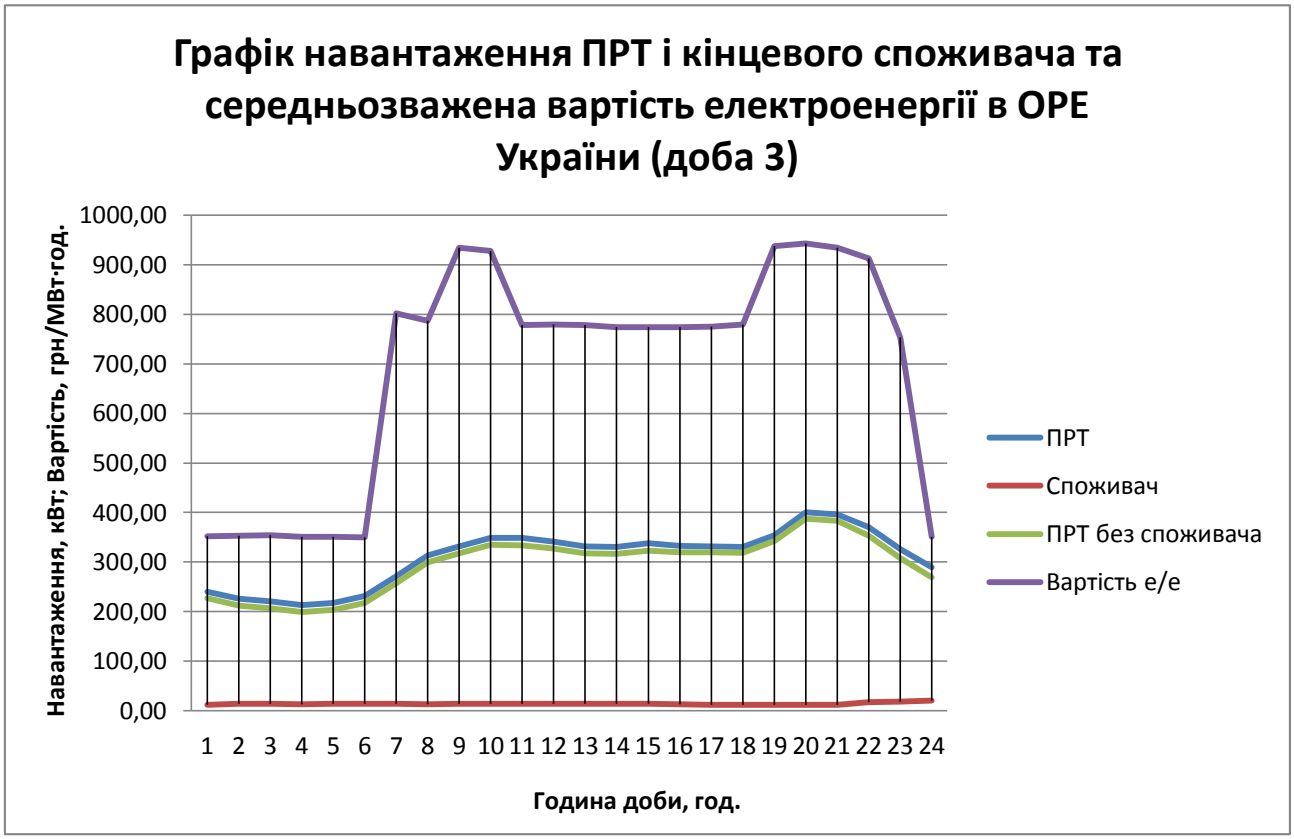


Рис.3. Добові графіки навантаження ПРТ і кінцевого споживача, який приєднаний до електричних мереж цього ПРТ (доба 3).

Третя доба цікава тим, що споживач своїм графіком майже не змінює форму графіка навантаження ПРТ, $K = -0,02$. Графік навантаження споживача подібний до прямої, паралельної осі абсцис. Зсув такого графіка в будь-який бік не дасть вагомого ефекту.

Коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ без участі споживача $K_ф' = 1,0178$, графіка навантаження ПРТ, який вже враховує навантаження цього споживача $K_ф = 1,0162$. $\delta_{K_ф}$ складає 0,158%.

До табл.. 3 зведені всі розраховані ВКМ.

Таблиця 3. Зведені значення усіх розрахованих ВКМ за добу 3

ВКМ	ПРТ-споживач	ПРТ без врахування споживача-споживач	Вартість-споживач	ПРТ-вартість	ПРТ без врахування споживача-вартість
Значення	-0,02	-0,06	-0,17	0,91	0,92

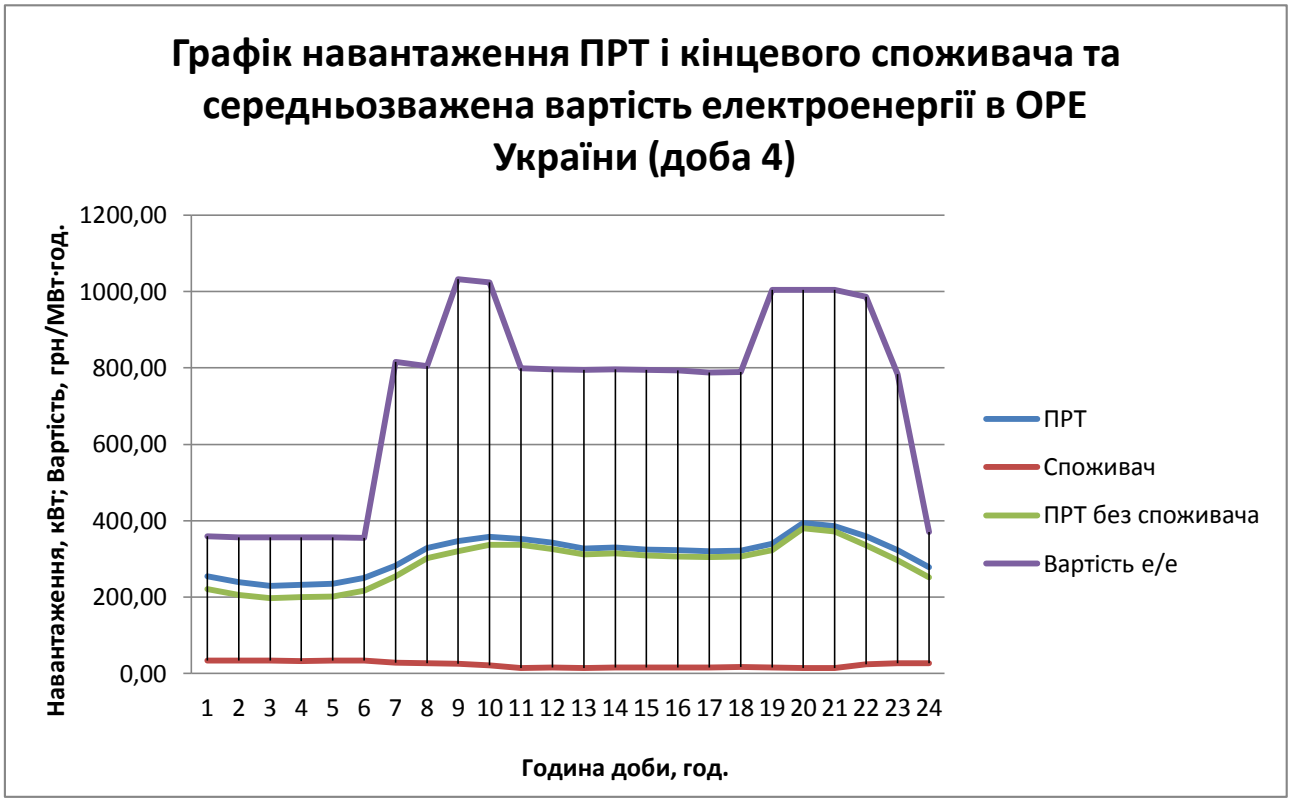


Рис.4. Добові графіки навантаження ПРТ і кінцевого споживача, який приєднаний до електричних мереж цього ПРТ (доба 4)

ВКМ навантаження ПРТ та споживача $K = -0,83$. Навантаження ПРТ починає зростати о 6й годині, в той самий час починається спад навантаження споживача. На 20-21у годину приходиться мінімум графіка навантаження споживача, йому відповідає пік навантаження ПРТ. Такою поведінкою споживач сприяє зменшенню нерівномірності графіка навантаження ПРТ, цей споживач має бути заохочений.

Коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ без участі споживача $K_\phi' = 1,02$, графіка навантаження ПРТ, який вже враховує навантаження цього споживача $K_\phi = 1,01$. δ_{K_ϕ} складає 0,57%.

Таблиця 4. Зведені значення усіх розрахованих ВКМ за добу 4

ВКМ	ПРТ-споживач	ПРТ без врахування споживача-споживач	Вартість-споживач	ПРТ-вартість	ПРТ без врахування споживача-вартість
Значення	-0,83	-0,87	-0,74	0,93	0,92

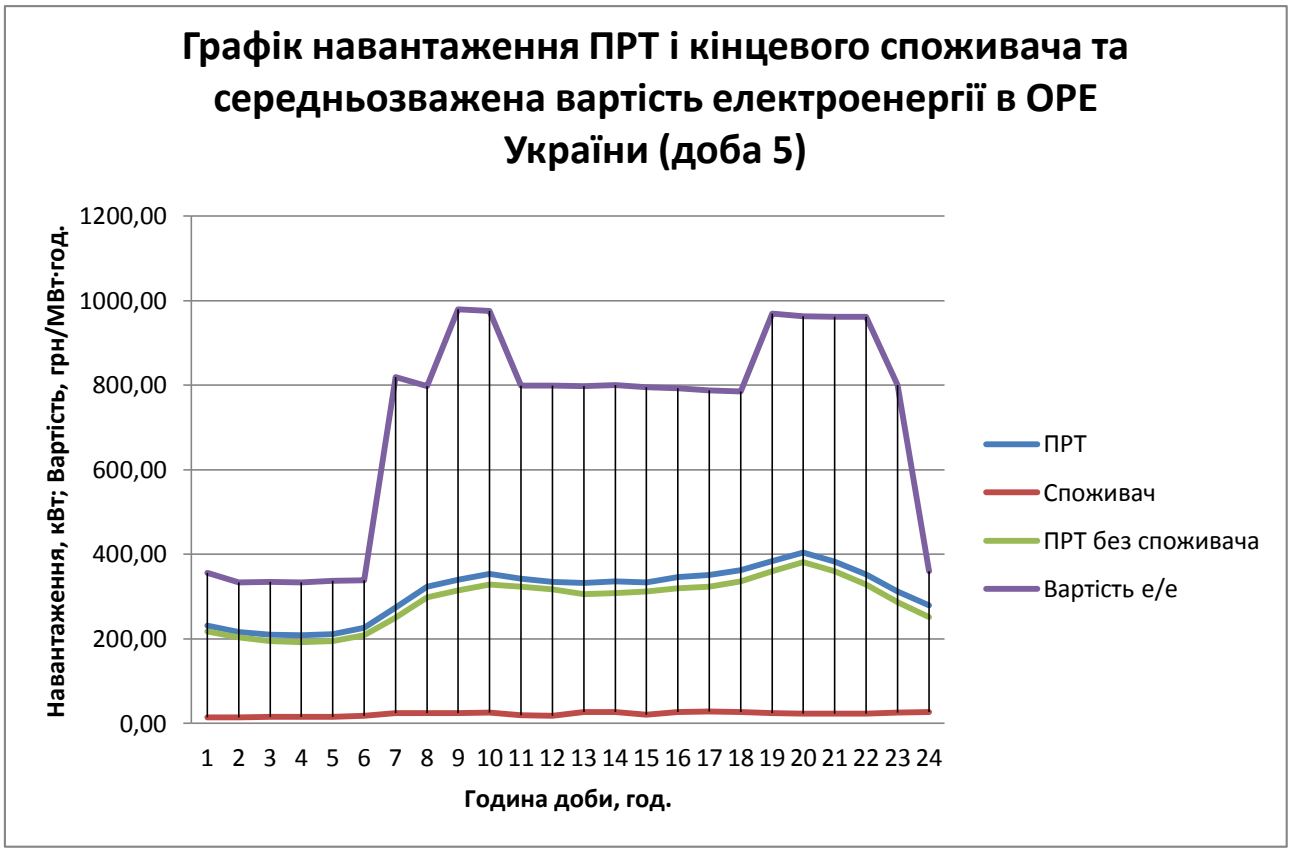


Рис.5. Добові графіки навантаження ПРТ і кінцевого споживача, який приєднаний до електричних мереж цього ПРТ (доба 5)

Протягом цієї доби споживач працює з ВКМ, близьким до 1. Це означає, що поведінка навантаження споживача дуже подібна до поведінки навантаження ПРТ. Це видно з рис.15: з 5ї години починає зростати графік ПРТ, графік навантаження споживача також зростає. О 7й годині навантаження споживача сягає свого максимуму і залишається сталим до 10ї години. В період з 9ї до 10ї години спостерігається пік графіка вартості електричної енергії, о 10й годині також бачимо явно виражений пік графіка навантаження ПРТ. До 6ї години вартість електричної енергії мінімальна, в цей самий час відбувається провал графіка навантаження ПРТ та графіка навантаження споживача.

Вагомий результат може дати зсув електроспоживання кінцевого споживача на 3 години «назад», тоді б мінімум графіка навантаження споживача, який спостерігається з 10ї до 13ї години, припав би на максимум споживання ПРТ, це мало б, однозначно, «позитивний» ефект.

Коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ без участі споживача $K_ф' = 1{,}0197$, графіка навантаження ПРТ, який вже враховує навантаження цього споживача $K_ф = 1{,}0188$. $\delta_{K_ф}$ складає 0,078%.

Таблиця 5. Зведені значення усіх розрахованих ВКМ за добу 5

ВКМ	ПРТ-споживач	ПРТ без врахування споживача-споживач	Вартість-споживач	ПРТ-вартість	ПРТ без врахування споживача-вартість
Значення	0,71	0,67	0,68	0,925	0,922

Зведемо всі ВКМи ПРТ-споживач та зміни коефіцієнта форми в одну таблицю.

Таблиця 6.

Доба	ВКМ ПРТ-споживач	$\delta_{K_ф}$
1	-0,04	0,389%
2	-0,74	0,358%
3	-0,02	0,158%
4	-0,83	0,57%
5	0,71	0,078%

Беручи до уваги все вищевикладене, можна зробити висновки, що оцінити роботу споживача зі зменшення нарівномірності графіка навантаження ПРТ за допомогою ВКМ можна лише за фактом. Також необхідно звертати увагу на те, наскільки зміниться коефіцієнт форми графіка навантаження ПРТ після участі в ньому навантаження досліджуваного споживача. Так ВКМ ПРТ-споживач в 1-ої та 3-ої доби приблизно рівні, але протягом першої доби коефіцієнт форми зменшився на 0,389%, а протягом третьої – на 0,158%. Коефіцієнт форми дасть уявлення про те, наскільки змінилося співвідношення мінімумів-максимумів графіка навантаження ПРТ, але зміну розташування цих пікових періодів в часі ніяк не покаже.

Щоб оцінити «потенціал допомоги» у зменшенні нерівномірності, необхідно брати до уваги форму графіка навантаження споживача, а також форму графіка навантаження ПРТ. В цьому випадку необхідним буде індивідуальний підхід до кожної ситуації.

Література

1. Сухарь А.О. Визначення ступеню участі кінцевого споживача в графіку навантаження енергосистеми. // Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції інституту енергозбереження та енергоменеджменту національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут» «Енергетикаю Екологія. Людина» (збірник наукових праць), 2013. – С.267 - 273.

2. Постанова Кабміну України від 16 листопада 2002 р. N 1789 «Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України»

3. Праховник А.В., проф., докт.техн.наук, Коцар О.В., доц., канд.техн.наук. Управление энергопотреблением в условиях различных моделей энергорынка Украины.

УДК 697.953

Студент 6 курсу, гр. ОТ-81 Попков А.В., аспірант Суходуб І.О.,
Проф., д.т.н., Дешко В.І.

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ.

АНОТАЦІЯ: В статті розглянуті експериментальні дослідження параметрів мікроклімату квартири та енергетичні показники роботи індивідуальної системи вентиляції з рекуперацією тепла та вологи. Розглянуто змішування внутрішніх (усередині установці) витоків повітря, які призводять до змін температури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комфортні умови, повітрообмін, утилізація теплоти, утилізація вологи, вентиляція.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены экспериментальные исследования параметров микроклимата квартиры и энергетические показатели работы индивидуальной системы вентиляции с рекуперацией тепла и влаги. Рассмотрены смешивания внутренних (внутри установке) утечек воздуха, которые приводят к изменениям температуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комфортные условия, воздухообмен, утилизация теплоты, утилизация влаги, вентиляция.

HEAT RECOVERY AND ENERGY EFFICIENCY OF VENTILATION SYSTEMS

ABSTRACT: The article describes the experimental investigation of apartment microclimate parameters and individual ventilation system with energy recovery energy performance. We consider the mixing of internal (inside the installation) air leaks that lead to changes in temperature.

KEY WORDS: comfortable, air, waste heat, waste water, ventilation.

Вступ

Одним з напрямів вдосконалення і скорочення енергоємності систем вентиляції є використання для нагріву (охолодження) припливного повітря теплоти (холоду) витяжного повітря.

Для того, щоб оцінювати ефект від впровадження енергозберігаючих систем вентиляції та порівнювати між собою теплообмінники-утилізатори різних типів, доцільно використовувати показники ефективності теплообмінників.

Об’єкт дослідження

В даній роботі розглянуті процеси утилізації теплоти (явної та прихованої) в припливно-витяжних системах вентиляції, а саме питання критеріїв енергетичної і ексергетичної ефективності, техніко-економічні показники роботи для кліматичних умов м. Києва.

Предмет дослідження

Предметом дослідження в даній роботі є вивчення характеристик роботи та показників ефективності системи припливно-витяжної вентиляції з утилізатором явної та прихованої теплоти типу LGH 15 – RX4.

Методи дослідження

- Експериментальні дослідження з вимірами витрат, температур та вологості повітря;

- Розрахункові методи для обробки результатів експерименту та визначення теплового балансу та характеристик ефективності установки;
- Моделювання розподілу швидкості та температури повітря в приміщенні в програмному пакеті Flow Simulation (Solid Works).

Практична цінність

Результати роботи використані виробником для аналізу економічної доцільності впровадження установки.

Модернізовано установка LGH 15-RX4 Mitsubishi Electric, побудовано кліматичну камеру, підключення термопар,встановлено зволожувач.

Протягом 3 тижнів у липні 2013 року проводився моніторинг параметрів повітря в приміщенні, зовнішнього та припливного до та після тепло утилізатора.

В результаті проведення за зимній період техніко-економічного розрахунку були визначені наступні енергетичні і економічні показники для опалювального сезону в залежності від режиму роботи установки:

- величина економії повної теплової енергії;
- величина економії явної теплової енергії;
- затрати енергії на приводи вентилятора та калорифери;
- значення економії грошових коштів та терміни окупності;
- коефіцієнт повернення енергії (*RER*).

Якість та вартість енергії, що використовують приводи вентиляторів для подолання опору елементів системи та калорифери, є вищою, ніж тієї, яку утилізує теплообмінник. Для оцінки довгострокової ефективності теплоутилізаторів можна використовувати коефіцієнт повернення енергії (ratio of energy recovery):

$$RER = \frac{W_{TOTAL}}{W_{FAN} + W_{CALORIF}} \cdot K,$$

Таблиця 1 - Коефіцієнт повернення енергії (RER)

Режим роботи теплоутилізатора	RER	$RER_{PRIM.EN}$	RER_{COST}
24 години	4,5	2,6	3,3
	7,8	4,5	5,7
денний 12 годин	4,8	2,8	3,5
	8,1	4,7	5,9
нічний 12 годин	4,3	2,5	3,1
	7,5	4,4	5,5

Зі значень коефіцієнту повернення енергії (табл. 4.4) видно, що для кліматичних умов України при цілодобовому режимі роботи утилізована теплова енергія у 4,5 та 7,8 разів перевищує затрати електроенергії на приводи вентиляторів для варіантів а та б відповідно.

В результаті експериментальних досліджень були отримані середні значення коефіцієнтів ефективності тепло утилізатора, для режиму "extra low" складали відповідно: $\eta_h = 0,60$; $\eta_t = 0,76$ та $\eta_d = 0,26$. Економія теплової енергії перевищує затрати електричної на приводи вентиляторів майже у 7,5 раз. Для опалювального сезону можлива економія теплової енергії, розрахована по середній температурі зовнішнього повітря та тривалості опалювального сезону, для умов м. Києва, становить від 1,1 до 2,8 Гкал в залежності від режиму роботи вентиляційної установки.

Проведено аналіз різних підходів до визначення ексергетичної ефективності систем вентиляції з теплоутилізаторами повної теплоти, а саме розглянуті універсальна, функціональна і максимальна ексергетичної ефективність при різних границях системи (теплообмінник і установка в цілому), в різний час року і залежність цих показників від температури і вмісту вологи зовнішнього повітря (точки відліку ексергії). Також наведені середньозважені показники ексергетичної ефективності для холодного і літнього періоду року для м. Києва .

Було розглянуто та показано за допомогою виміряних даних, що вентиляційна система має декілька витоків, які впливають на роботу рекуператора та й самої установки. Також враховується, що нагрів повітря відбувається у самій установці за рахунок роботи 2-х вентиляторів.

Висновок

Значення економії повної теплової енергії (з використанням ентальпій) є більшим у порівнянні з явною (з використанням температур) на 20-22 %. Затрати на приводи вентиляторів складають близько 8-9 % від величини економії енергії, а на калорифер – 13 та 4,5 % відповідно для стратегій боротьби з інеєутворенням при температурі -5 та при температурі -10…-15. Значення RER відповідно складають 4,5 та 7,8, а з приведенням до первинного палива – 2,6 та 4,5, до вартості енергії – 3,3 та 5,7.

Використанні джерела:

1. http://www.mitsubishi-aircon.com.ua
2. W.J. Fisk, et al., Duct systems in large commercial buildings:physical characterization, air leakage, and heat conduction gains,Energy and Buildings 32 (2000) 109±119
3. Дешко В.І., Утилізація теплоти в системах вентиляції / В.І. Дешко, І.О. Крот // Нова Тема. – 2009, №2. – С. 9-11.

РОЗЧЕПЛЮВАЧІ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ СПОВІЛЬНЮВАЧЕМ

Побігайло В.А., Музика Н.Ю. (НТУУ «КПІ»)

В публікації розглянуто альтернативне конструктивне рішення захисту від струмів перевантаження та короткого замикання в автоматичних вимикачах від компанії «E.NEXT» Україна, а саме комбінований розчеплювач з електрогідравлічним сповільнювачем.

Ключові слова : автоматичні вимикачі, біметалева пластина, електромагнітний розчеплювач з гідравлічним сповільненням

В публикации рассмотрены альтернативное конструктивное решение защиты от токов перегрузки и короткого замыкания в автоматических выключателях от компании «E.NEXT» Украина, а именно комбинированный расцепитель с электрогидравлическим замедлителем.

Ключевые слова: автоматические выключатели, биметаллическая пластина, электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением.

This publication deals with an alternative design solution protect against current overload and short circuit in circuit breakers from the company «E.NEXT» Ukraine, namely shunt release combined with electro-moderated.

Keywords: automatic switches, bimetallic plate electromagnetic shunt release with hydraulic deceleration

Вступ. Автоматичний вимикач — це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електричного кола. Автоматичний вимикач призначений для нечастих вмикань, а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання.

Постановка проблеми. Відомо, що автоматичні вимикачі (АВ) з інсталяцією в розподільчих шафах (РШ), більш відомі як «шафові вимикачі», рис. 1, залежно від виконання, призначені [1, 2, 3]:

– для захисту від аварійних режимів електричних мереж: перевантаження та короткого замикання (КЗ) або зниження напруги нижче допустимого рівня (в автоматичних вимикачах, встановлених в мережу, захист від зниження напруги не завжди передбачений);

– для захисту електродвигунів змінного струму, а також для інсталяційної комбінації з іншими електричними апаратами (АВ можуть обслуговувати ділянки мережі та окремі електродвигуни, якщо АВ призначені для управління двигуном з фазним ротором або пристроїв з пусковим застосуванням, то в них обов’язково повинен бути передбачений захист від зниження напруги);

– для використання їх в якості роз'єднувачів живлячих та головних мереж.

Рис. 1. Загальне фото АВ.

Традиційне конструктивне виконання захисту від струмів перевантаження та КЗ в шафових АВ [2] зображено на рис. 2. Захист від струмів перевантаження виконує біметалева пластина, а захист від струмів КЗ – електромагнітний розчеплювач.

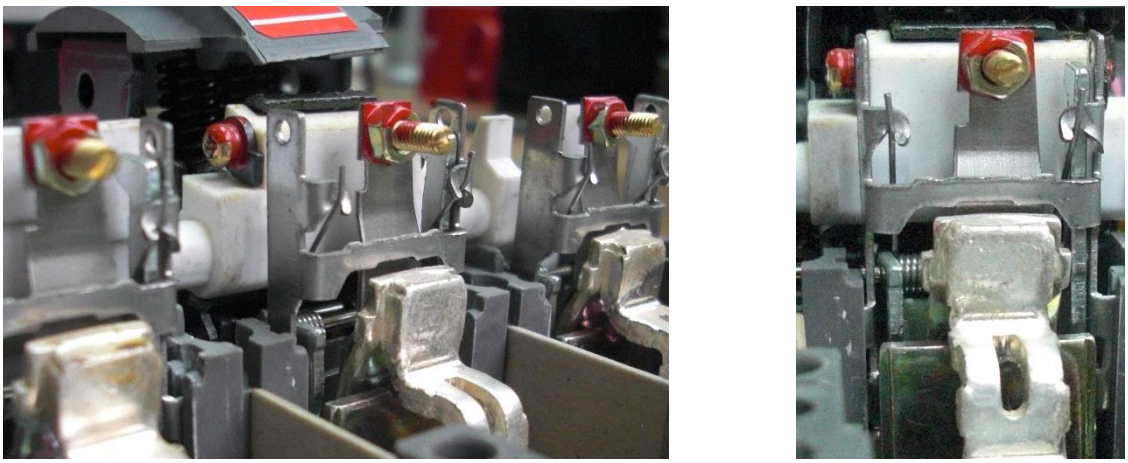


Рис. 2. Загальне фото розчеплювачів АВ.

Відзначимо основні особливості властиві саме цьому технічному рішенню захисту від струмів перевантаження:

- відносна залежність від температури оточуючого середовища;
- неможливість швидкого повторного включення після спрацьовування АВ;
- нестабільність часо-струмових характеристик АВ.

Вирішення. Компанія «E.NEXT» Україна пропонує альтернативне рішення виконання елементів захисту АВ [4], яке є комплексним виконанням захисту від струмів перевантаження та КЗ одночасно, а саме розчеплювач з електрогідравлічним сповільнювачем. Зображення конструкції розчеплювача АВ представлено на рис. 3.

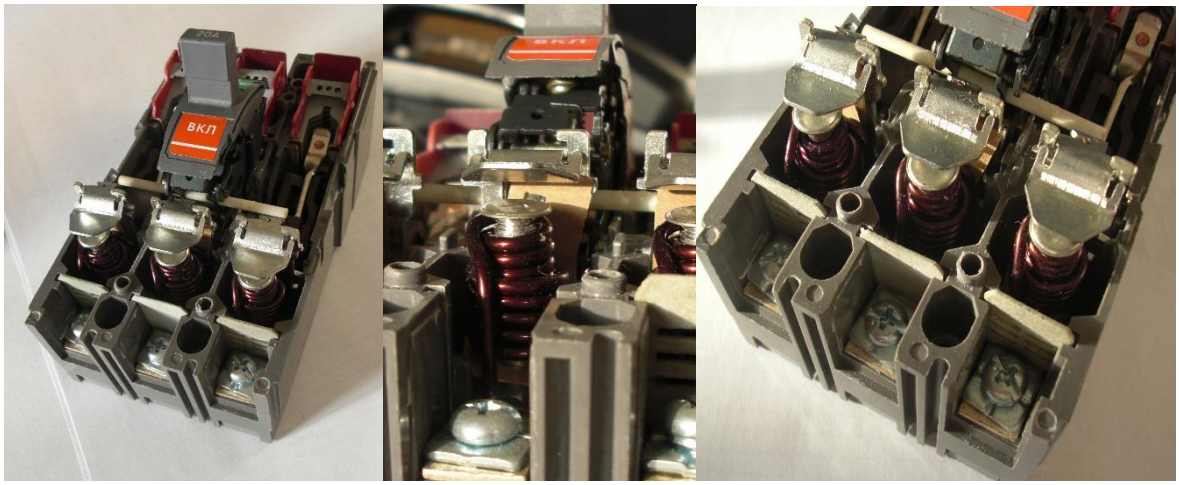


Рис. 3. Розчеплювач з електрогідравлічним сповільненням.

Розчеплювач з електрогідравлічним сповільнювачем призводить до спрацювання механізму приводу АВ, який розмикає контактну групу АВ при проходженні через електрообладнання струму, що перевищує встановлене максимально допустиме значення (струми короткого замикання або перевантаження). Основна частина цього розчеплювача – електромагніт, котушка якого включається послідовно робочим контактам в коло робочого струму. Ескізне зображення конструкції розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем представлено на рис. 4. Розглянемо принцип дії електромагнітного розчеплювача з гідравлічним зповільненням спрацювання, що забезпечує зворотньо-залежну витримку часу спрацьовування розчеплювача в зоні перевантажень, рис. 5. Автоматичне відключення АВ виконується розчеплювачем при струмах перевантаження і струмах КЗ незалежно від того, утримується або не утримується керуючий важіль «вмикання/вимикання» у включеному положенні. Розчеплювач складається з реле, коромисла, рейки і механізму вільного розчеплення.

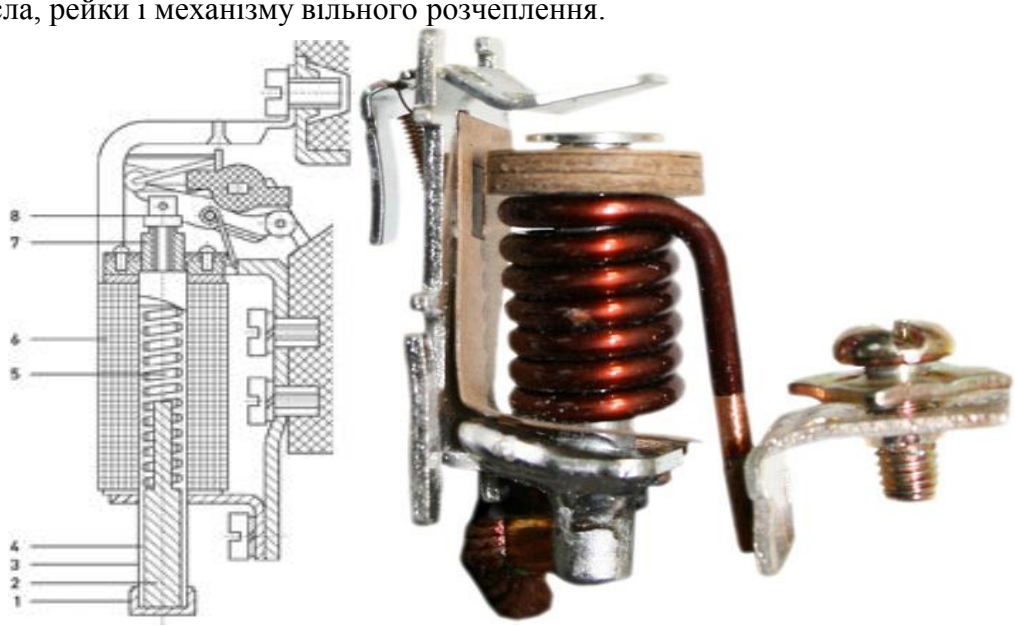


Рис. 4. Ескіз розчеплювача АВ з гідравлічним сповільненням де,
1. – Немагнітна кришка; 2. – Плунжер; 3. – Циліндричний стакан; 4. – Порожнина, що наповнюється кремнійорганічною рідиною; 5. – Поворотна пружина; 6. – Котушка; 7. – Полюсний наконечник; 8. – Якір.

Реле розчеплювача з гідравлічним сповільненням є електромагнітною системою з двома рухомими частинами: якорем і плунжером. Якір і плунжер є частиною магнітопровіду. Плунжер і пружина переміщаються усередині трубки. Трубка розміщена усередині котушки електромагніту. У трубку заливається кремнійорганічна рідина, яка сповільнює рух плунжера, завдяки своїм хімічним властивостям.

При виникненні струмів перевантаження зростає електромагнітна сила котушки розчеплювача і стає достатньою для здолання протидіючої сили зворотної пружини, тому плунжер починає переміщатися до полюсу осердя. Якір в свою чергу притягується до полюсу осердя при струмі перевантаження, в мить, коли плунжер, зменшуючи опір магнітного ланцюга при переміщенні усередині осердя, впливає на значення магнітної індукції в повітряному зазорі, необхідне для притягування якоря до полюсу осердя. При струмах КЗ пересування плунжера не відбувається, в випадку виникнення КЗ значення магнітної індукції в повітряному зазорі достатньо для втягування якоря без витримки часу. Зусилля якоря розчеплювача передається через коромисло на рейку, яка є ланкою механізму вільного розчеплення. Повернення в первинне положення якоря і рейки здійснюється за допомогою поворотних пружин.

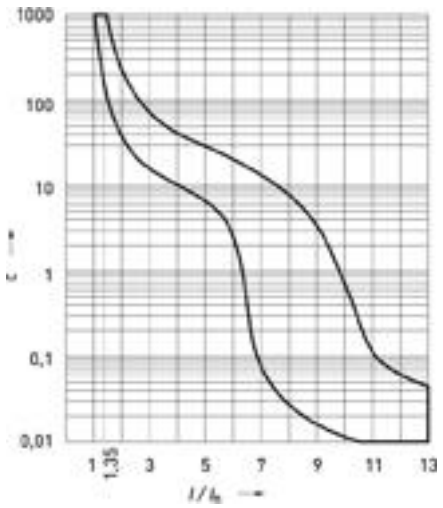


Рис. 5. Часо-струмова характеристика спрацювання з гідравлічним сповільнювачем.

Кремнійорганічна рідина, що використовується як сповільнювач розчеплювача АВ має малий тангенс кута втрат (при 25° С <0,0001), кремнійорганічна рідина найбільш стійка до утворення цвілі, також має відносно низькі показники гігроскопічності і підвищену нагрівостійкість.

Для кремнійорганічної рідини характерна слабко виражена залежність в'язкості від температури. Мала величина сил міжмолекулярної взаємодії обумовлює їх малу в'язкість і як слідство незначну, в порівнянні з іншими рідкими діелектриками зміну в'язкості, викликану зниженням температури. Так при зниженні температури від 100º С до мінус 35º С в'язкість кремнійорганічної рідини збільшується всього у сім разів, а у мінеральних масел - в 1800 разів (при однакової початкової в'язкості). Наведені переваги кремнійорганічної рідини роблять її незамінним конструктивним елементом в приладобудуванні, радіотехніці та ін галузях електротехнічної промисловості.

Висновки

Підсумував проведене порівняння двох технічних рішень реалізації захисту від струмів перевантаження та КЗ, відзначимо, що застосування розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем надає АВ певні переваги в порівнянні з використанням традиційного розчеплювача – біметалевої пластини:

- відносна відсутність залежності розчеплювача від температури оточуючого середовища;
- можливість швидкого повторного включення після спрацьовування, в випадку виникнення аварійного режиму;
- зменшення часу спрацювання в разі виникнення режиму перенавантаження (зменшення швидкодії АВ, підтверджується багаторазовими практичними дослідженнями);
- стабільність часо - струмових характеристик АВ;
- замість двох функціональних елементів ми маємо один багатофункціональний, що призводить до конструктивного зменшення внутрішнього об’єму конструкції АВ;
- стійкість до вібрації.

Враховуючи переваги використання розчеплювача з електрогідравлічним сповільненням в АВ слід відзначити, що альтернативне технічне рішення захисту від струмів перевантаження та струмів КЗ має перспективу розвитку в даному електротехнічному напрямку.

1. Л.А. Родштейн. Электрические аппараты. Л. – Энергоиздат. 1989. 299 с.
2. А. А. Чунихин. Электрические аппараты. М. – Энергоатомиздат. 1988. 721 с.
3. Б.Н. Неклепаев. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М. – «Издательство НЦ ЭНАС». 2001. 164 с.
4. Техническое описание продукции компании «E.NEXT Украина». 2010. 104 с.