



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



**МАТЕРІАЛИ
ІХ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**Київ
2017**

Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ. – Київ: «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2017. – 405 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на IX Міжнародній 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 організаційного комітету науково-технічної конференції
«Енергетика. Екологія. Людина»*

Організаційний комітет: Денисюк С. П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Гайко Г.І., д.т.н., професор, заступник директора ІЕЕ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Розен В. П., д.т.н., професор, зав. кафедри АУЕК; Кравець В. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ГТіБ; Дешко В.І., д.т.н., професор, зав. кафедри ТЕ; Шевчук С. П., д.т.н., професор, зав. кафедри ЕМОЕВ; Ткачук К.К., д.т.н., професор, зав. кафедри ІЕ; Левченко О. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ОППЦБ.

Відповідальний секретар: Матвійчук І. О., аспірант

Адреса організаційного комітету:

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, ауд. 701

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Тел./факс: (044) 406 83 08, 456 96 89

conference_eel@ukr.net

© Національний технічний університет
України «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Обґрунтування впровадження технології переробки органічних відходів з отриманням біогазу. Ополінський І.О., Дичко А.О.	9
Фінансове забезпечення процесів ліквідації вугледобувних підприємств. Сердюк О.С.	14
Класифікація стану системи електропривода насосної установки на основі дискримінантного аналізу В.П. Розен, І.М. Шарий, І.В. Яковчук, О.М. Шарий, Т.Ю. Оборонов.	16
Натурні дослідження ґрунтів і палів фундаментів при будівництві електрогенеруючих вітряків. Бутько М.О.	27
Особливості реалізації ефективних бізнес-процесів в електропостачальних компаніях. Соколовський П.В.	31

**СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ**

Кластеризація багатоповерхової будівлі. Лосєва В.І., магістрант, Денисюк С.П.	42
Огляд методів та засобів обмеження комутаційних перенапруг. Панасюк В.В., магістрант, Побігайло В.А.	49
Вплив точності та достовірності вихідних даних значень показників надійності на вибір оптимальних схем розподільних мереж. Сухін А.М., Федосенко М.М.	51
Функціональна структура системи аналізу дефектів силового трансформатора на основі штучної нейронної мережі. Яременко А.Г., Притискач І.В.	56
Учет неопределенности информации при многокритериальной оценке альтернативных вариантов применения распределенной генерации. Попов В.А., Романюк Р.А.	64
Вплив структури інженерних систем будівлі на її енергоефективність Ковальчук А.М., Волков Д.О. Сірик М.О.	72
Комбінована електропостачальна система підприємства на основі мінімережі із субоптимальними техніко-економічними показниками. Міщенко Є.В., Костюк В.О.	76
Практические аспекты решения задачи оптимального секционирования воздушных распределительных сетей. Попов В.А., Ткаченко В.В., Ярмолюк О.С. Журавльов А.О., Воробель В.	81

Розрахунок надійності асинхронних двигунів. Брижіцький Є.Г., Закладний О.О.....	88
Аналіз впровадження автоматичної конденсаторної установки на промисловому підприємстві. Мешенко Н.О., Прокопенко В.В.	94
Аналіз ефективності керування попиту на електричну енергію. Опришко В.П.	98

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Застосування камер статичного тиску та VAV терміналів у сучасних системах припливно-витяжної вентиляції. Боднар Є.Ю., В.О. Виноградов-Салтиков.	102
Про можливість застосування електро-конвективних явищ для інтенсифікації теплообміну при конденсації. Вовченко Д.І., Гавриш А.С.	105
Про застосування сучасних гідрофобних поверхонь довготривалого використання. Шевченко О.М., Гавриш А.С.	110
Сонячна енергетична установка на базі двигуна Стірлінга УДС-1 з рекуперацією відведеної теплоти. Задьора А.Т., Студенець В.П.	118
Моделювання споживання енергії на потреби опалення громадської будівлі. Яценко О.І., Суходуб І.О.	122
Порівняння методів визначення енергопотребності будівель в опаленні. Гурська Ю.В., Дешко В.І., Білоус І.Ю.	129

ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Дослідження нормативних параметрів повітряного середовища в навчальному приміщенні. А.В. Сукайло, О.М. Сміленко, Ю.І. Шульга.....	134
Двокоординатна система наведення фотоелектричних панелей на сонце. О.О. Буря, О.М. Шарий, О.В. Данілін	138
Дослідження системи управління регульованим електроприводом вентиляційної установки з використанням нечіткої логіки. Б.Ю. Гордієнко, В. М. Пермяков	146
Моніторинг та діагностика енергоефективності регульованого електроприводу змінного струму насосної установки. К.М. Рябоконт, В.М. Пермяков.....	151
Дослідження механічних характеристик крокових двигунів в граничних режимах роботи. Є.В. Шумський, М.Ю. Горобець, А.В. Торопов... ..	156

Нелинейное квазиоптимальное управление усилием пиления древесины по обобщенному критерию быстродействия и точности. М.Ю. Горобец, Е.В. Шумский, А.В. Торопов	163
Підвищення ефективності запуску авіадвигунів в умовах функціонування автоматизованих систем. О.М. Шарий, Л.М. Лебедєв, В.Г. Дубовик	168
Захист перетворювача частоти при невірному підключенні. Дубовик, Л.Н. Лебедєв, К.Л. Костіков Д.М. Єсаулов	177
Управление насосной установкой с использованием сигналов струму електродвигуна. Дубовик В.Г., Лебедєв Л.Н., Брагина Л.Е., Чевельча О.В.....	183
Управління захистом декількох електродвигунів від аварійних режимів. В.Г. Дубовик, Л.М. Лебедєв, В.В. Шумелянко, Л.Ю. Майстренко.....	190
Внедрение пользовательских профилей управления основными инженерными системами «умного дома». Л. Нгуен, А.Н. Шарый, И.Н. Шарый, А.В. Чермалых.....	196
Оцінювання енергоефективності в навчальних закладах з використанням правил ранжування за показниками впливу на рівень їх енерговикористання. І.В. Яковчук, І.М. Шарий, В.П. Розен.....	203
Дослідження електромеханічної системи перемотування тканини фарбувальної лінії. А.Д. Набока, А.В. Торопов	211
Аналіз режимів роботи ліфтової установки за критерієм енергоефективності. О.М. Сміленко Ю.І. Шульга	215

МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ

Исследование алгоритмов обучения нейросетей при моделировании дробильно-помольного комплекса. Мейта АВ	219
---	-----

ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Перспективи біополімерного пакування в сфері екологічної безпеки України. Рабош І. О.	226
Небезпеки зміни клімату внаслідок техногенного забруднення навколишнього середовища (на прикладі м. Києва). Слецька І., Кофанова О. В.....	232
Забруднення повітряного придорожного простору міста Києва. Яретик О. В., Кофанова О. В.....	236

Структура та зміст навчальної дисципліни «екологічні аспекти формування архітектурного середовища» фахової підготовки майбутніх архітекторів Пивоваров О.Г., Осипенко О.Ю.	244
--	-----

Ризики впливу автотранспортних потоків на стан міського повітряного середовища. Борисов О. О., Кофанова О.В.....	248
---	-----

Ресурсосберегающая технология нефтепереработки. Мишина Е. Ю., Кофанова Е. В., Василькевич А. И.....	252
--	-----

ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

Формування системи економічної безпеки на підприємствах України Черножукова А. М., Землянська О. В., Полукаров Ю. О.	259
--	-----

Підтримання радіаційної безпеки атомних електростанцій в Україні та світі. Карпенко М.І., Праховнік Н.А.....	264
---	-----

Аналіз задач ефективності управління охороною праці на виробництві Левченко О.Г., Ільчук О.С.	268
---	-----

Заходи безпеки при роботі з лазерними установками. Пашков Р.А., Землянська О.В.	273
---	-----

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

Дослідження механізму зношування алмазовмісної матриці породоруйнівних елементів в залежності від її хімічного складу. Н. В. Зуєвська, О.П. Виноградова, Б.С.Шмаров	278
---	-----

Вплив гірничодобувного виробництва на лісові ресурси. Чечета Н.О.....	287
---	-----

Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів на кар'єрах. Д.В. Хлевнюк, О.М. Чала, А.О. Кузьменко.....	290
--	-----

Механізм реалізації державно-приватного партнерства при управлінні збутовою діяльністю вітчизняних вугледобувних підприємств. Трушкіна Н.В.	294
---	-----

Особливості допоміжних операцій в технології алмазноканатного різання. В.І. Гумінська, С.В. Кальчук.....	299
---	-----

Обґрунтування сейсморайонування території проведення вибухових робіт з урахуванням анізотропії масивів порід в умовах кар'єру «ПАТ КОРОСТЕНСЬКИЙ КАР'ЄР». В.В. Бойко, М.О. Павленко	302
---	-----

Встановлення раціонального поєднання місткості ковша екскаваторів з місткістю кузова транспортних засобів. М.І. Соколовська, О.О. Фролов.....	307
Анализ причин обрушений пород в выработках, закрепленных анкерной крепью. Сахно С.В., Останко А.Э.....	311
Корпоративне відпрацювання запасів державних шахт приватним сектором в рамках державно-приватного партнерства. І.П. Петрова.....	314
Удосконалення способів занурення паль в ґрунтовий масив за допомогою гідродинамічних процесів. Кравець В.Г., Самедов А.М., Пасько О.З., Нестерков І.А.	320
Особенности миграции взрывочувствительной эмульсии с свердловинного заряда в породный массив. В.В. Павленко, В.Г. Кравець	324
Напружено-деформований стан гірських порід при дії навантажень або зовнішніх сил. Самедов А. М., Охріменко В. І. Стеценко О.М.	329
The urgency of the problems of accidents in the coal industry of Ukraine. L.D. Tretiakova, L.O.Mitiuk	335
Управління механічним ефектом вибуху зарядів контактної дії. Марчук А.Л., Кравець В. Г.	337
Особенности подтримання детонаційного процесу в подовженому заряді. Марчук А. Л., Кравець В.Г.	343
Вплив температури на декоративні та фізико-механічні властивості лабрадориту. Сідоров О.М., Малий В.В., Коробійчук В.В.	348
Experimental researches of detonation processes in the shock-tubes. T. Detsel, I. Nesterkov, V. Kravets, A. Ghan, R. Zakusylo	351
Формування тріщини відриву при видобутку анізотропного блокового каменю. В. Г. Кравець, А. І. Ковтун, М.І.Бельтек.....	357
Підвищення охорони праці і екологічної безпеки при підземному вилуговуванні солі. Кобилянський Б.Б.	364
Оцінка технічного рівня та вдосконалення схем спорудження виробок шахт західного донбасу. В.І. Каменець, А.В. Петренко, В.В. Воронков, А.О. Зайцев, В.І. Кріпаченко	367
Поточні перспективи відновлення проектування та будівництва київського метрополітену. В.І. Каменець, А.О. Пастух	369
Направления развития государственного предприятия «АРТЁМСОЛЬ». В. И. Каменец, А. А. Кобылянский	373
Нова невибухова суміш, що саморозширюється.	

Ісаєнков О.О., Шуляк Я.О., Сахно І.Г.	376
Обґрунтування сейсдобезпечних методів ведення вибухових робіт на підземних гірничих роботах. Детцель Т.Є., Кравець В.Г.	380
Кумулятивні заряди для перфорації продуктивних пластів та принципи проектування проміжних детонаторів для свердловинних зарядів. Шукюров А.М., Кравець В.Г., Войтенко Ю.І.	383
Вплив характеристик текучості на руйнування вязких скельних гірських порід. В.З. Ващук, В.Г. Кравець	387
Аналіз існуючих методів розрахунку технологічних параметрів розробки прибортових запасів корисних копалин з застосуванням highwall mining system. І.К. Бабичев, О.О. Фролов	390
Вплив конструкції подовженого заряду на ефективність руйнування гірського масиву. Медяник В. І., Мальцева Ю.С., Кравець В.Г.....	394
Встановлення раціональних інтервалів сповільнення при підриванні свердловинних зарядів за результатами промислових досліджень . Долошицький В.В., Моденко В.Т., Фролов О.О.....	398
Перспективи залучення інвестицій в Україну. Бондарь Є.П., Шевчук Н.А.	401
Економія коштів і електроенергії за допомогою встановлення частотного перетворювача. Гриценко М., Шевчук Н.А.	402
Економія електроенергії на підприємстві. Майстренко Л.Ю., Шевчук Н.А.	403
Сонячна енергетика як альтернативне джерело енергії. П'ятигорець Є., Шевчук Н.А.	404

УДК 620.92:[662.767.2+628.336.6](045/046)

Ополінський Ігор Олегович

Дичко Аліна Олегівна, к.т.н., доц.;

Кафедра інженерної екології

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

opolinskyi@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ

Еколого-економічний аналіз впровадження технології анаеробного збродження відходів з отриманням біогазу для підприємства полягає у розрахунку параметрів та продуктивності БГУ, еколого-економічного ефекту та терміну окупності. Еколого-економічне обґрунтування використання біогазових технологій дозволяє оцінити можливості підприємств, галузей із забезпечення задоволення потреб у енергетичних ресурсах та отриманні додаткових економічних та екологічних ефектів. Проведене порівняння еколого-економічної доцільності застосування анаеробних технологій отримання біогазу із застосуванням інтенсифікації біоенергетичної утилізації відходів та без неї. При застосуванні анаеробних технологій утилізації органічних відходів із застосуванням інтенсифікації метаногенезу продуктивність біогазу збільшується до 4-х разів, а термін окупності установки зменшується до 9 місяців.

Ключові слова: біогаз; органічні відходи; анаеробні технології; еколого-економічний аналіз.

The benefits of technologies of anaerobic waste and wastewater treatment include: possibility to have additional source of energy, electric power and heat output, producing of fertilizers from active sludge, decrease of areas of treatment equipment, elimination of methane emission into atmosphere. The aim of research is to develop the methodology of grounding and calculating of ecologic and economic effectiveness of implementation of technology of waste and wastewater anaerobic treatment with biogas output. Practical value of research is elaboration of the universal method to determine the environmental and economic assessment of implementation of technology of anaerobic digestion of waste with biogas output. Originality of the research is that developed methodology includes benefits from increased biogas producing due to methods of intensification of waste biotransformation. It is analyzed the feasibility of implementing of biogas equipment for enterprise with productivity of formation of organic waste. Thus, use of anaerobic technology of organic waste utilization with intensification of the methanogenesis increases biogas productivity in 4 times and decreases period of plant payback to 9 months.

Key words: biogas; waste; anaerobic technology; ecological and economic effect.

Вступ

Справжнім універсальним і найефективнішим енергоносієм з біомаси є біогаз, який отримують з відтворюваної сировини і органічних відходів. Біогаз знаходить різноманітне застосування у сферах електроенергетики, виробництва тепла і використовується в якості

пального, а також може постійно вироблятися відповідно до потреб на основі різноманітної органічної сировини [1].

Залежність України від імпортованих енергоносіїв складає 40%. Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2030 року підвищення енергоефективності та зменшення використання енергії є пріоритетним напрямком енергетичної політики України. Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року загальна потужність усіх відновлювальних джерел повинна збільшитися більше ніж у 5,5 разів у порівнянні зі значенням 2014 року.

Постановка проблеми

Для досягнення енергетичного суверенітету країни необхідне підвищення енергоефективності, зменшення використання енергії та застосування відновлювальних джерел енергії. Найбільш перспективним відновлювальним джерелом енергії для України є енергія з біомаси, у тому числі анаеробні технології очистки стічних вод та переробки органічних відходів промислових підприємств та сільського господарства [1]. Біогаз може відіграти значну роль у подальшому розвитку та реалізації української енергетичної стратегії, яка орієнтується не лише на охорону довкілля, а й на безпеку енергопостачання та енергетичну автаркію. Для подолання бар'єрів на шляху розвитку енергії з біомаси необхідно на найвищому рівні спрямувати дії для гармонізації та удосконалення законодавства в галузі виробництва біогазу, в тому числі до норм Євросоюзу.

Основним бар'єром на шляху до розвитку анаеробних технологій переробки органічних відходів з отриманням біогазу в Україні є незначна питома величина виходу біогазу. Це пов'язано насамперед із високими затратами на підігрів субстрату; низьким рівнем питомого виходу біогазу на одиницю маси органічних відходів; утворенням значних об'ємів зброженого субстрату; низькою теплоємністю отриманого біогазу тощо. Тому доцільним є удосконалення існуючих технологій утилізації органічних відходів, в яких застосовуються методи анаеробного збродження, шляхом стимулювання зброджуваної біомаси ферментами, вітамінами та іншими біологічними активними речовинами, що виділяються при руйнуванні клітин біомаси [2].

Тому, виникає необхідність еколого-економічного аналізу застосування анаеробних технологій отримання біогазу.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні впровадження технології переробки органічних відходів з отриманням біогазу на основі еколого-економічного розрахунку.

Аналіз досліджень і публікацій

Фундаментальні теоретико-методичні, прикладні та технічні аспекти виробництва біогазу представлені в працях таких науковців, як Гелетуха Г.Г., Джеджула В.В та ін. Дослідження висвітлюють загальні закономірності переробки органічних відходів з отриманням біогазу. Методологічні аспекти еколого-економічного обґрунтування впровадження альтернативних джерел енергії та захисту навколишнього природного середовища представлені в працях таких науковців, як Праховник А.В., Запорожець О.І. та ін. Дослідження проблем поводження з відходами та стічними водами в тому числі транспортного комплексу представлені в працях таких науковців, як Гомеля М.Д., [3], Бойченко С.В. [4] та ін.

Не розкритими в попередніх дослідження залишаються такі питання: еколого-економічний розрахунок технологій переробки органічних відходів та стічних вод у біогаз та

визначення еколого-економічного ефекту з врахуванням зменшення збору за розміщення відходів, які утворюються в результаті виробничої діяльності підприємств.

Викладення основного матеріалу

Еколого-економічний аналіз використання біогазових технологій можна розглядати як сукупність показників, що дозволяють оцінити можливості підприємств, галузей із забезпечення задоволення потреб у енергетичних ресурсах та отриманні додаткових економічних та екологічних переваг.

Для оцінки доцільності впровадження технології анаеробного зброджування відходів та стічних вод з отриманням біогазу розроблена методика, що полягає у розрахунку параметрів та продуктивності БГУ, еколого-економічного ефекту та терміну окупності.

Розрахунок метантенків полягає в виборі режиму зброджування, визначенні необхідного обсягу споруд та ступеня розпаду речовини субстрату, кількості отриманого біогазу і органічних добрив [5, 6].

Розрахунковий обсяг метантенків (V_{met} , M^3):

$$V_{met} = \frac{M_{zag} \cdot 100}{D_{mt}}, \quad (1)$$

де M_{zag} – кількість відходів за добу, M^3 /добу; D_{mt} – добова доза завантаження в метантенк суміші, %.

Добовий вихід біогазу (Γ , M^3 /добу):

$$\Gamma = y \cdot Q_{bez} \cdot 1000. \quad (2)$$

де Q_{bez} , - кількість беззольних відходів, т/добу;

y - питомий вихід газу з метантенків (y , M^3 /кг).

Для зберігання газу передбачені газгольдери, місткість яких приймається рівною тригодинному виходу газу.

Витрата тепла на обігрів свіжого осаду (G_{ob} , Ккал/добу):

$$G_{ob} = (1 + K) \cdot M_{zag} \cdot C_t \cdot (t_m - t_s) \cdot 1000, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати тепла через стінки, днище та перекриття метантенків, при ємності більше $1000 M^3$ дорівнює 0,10; C_t – теплоємність субстрату, дорівнює $4,2$ кДж/(кг·К); t_m – температура в метантенку, при термофільному режимі зброджування рівна 50 °С; t_s – температура субстрату, в середньому дорівнює 14 °С.

Еквівалентна кількість біогазу, що необхідна для роботи котельної установки розраховується при теплотворній здатності біогазу 5000 Ккал/ M^3 .

Оцінка ефективності впровадження технології анаеробної утилізації відходів – це порівняння економічного результату з витратами на реалізацію проекту. До неї ставляться дві вимоги: 1) по можливості повніше охоплювати всі соціально-економічні наслідки у різних сферах господарства як у найближчий період, так і у віддаленій перспективі; 2) найповніше врахувати всі витрати, пов'язані із здійснюваними заходами [7].

Ефект від охорони навколишнього середовища впливає на поліпшення економічних показників виробництва. Найпростіший метод визначення нанесених збитків від забруднення довкілля описаний [7].

Під збитками можна розуміти збір, який підприємство щорічно сплачує відповідно до податкового кодексу України.

Суми збору, який справляється за розміщення відходів (Π_{fv} , грн), обчислюються платниками самостійно щокварталу наростаючим підсумком з початку року, виходячи з

фактичних обсягів розміщення відходів, нормативів збору та коригувальних коефіцієнтів і визначаються за формулою:

$$P_{rv} = M_i \cdot H_{bi} \cdot I_{sp} \cdot K_T \cdot K_O, \quad (4)$$

де M_i – обсяг відходів i -того виду, т/добу; H_{bi} – норматив збору за тону відходів i -того виду; I_{sp} – індекс інфляції, складає 1,433 (річний за 2015 р.); K_T – коригувальний коефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів, дорівнює 1...3; K_O – коригувальний коефіцієнт, який враховує характер обладнання місця розміщення відходів, дорівнює 1...3.

Загальний ефект від попередження і зниження витрат обчислюється за різницею їх оцінки до і після проведення природоохоронних заходів.

Визначення чистого економічного ефекту природоохоронних заходів ґрунтується на порівнянні витрат на їх здійснення з досягнутим завдяки цим заходам економічним результатом.

Економічний результат природоохоронних заходів (P , грн) визначається за величиною економічних збитків (Z_1), та величиною додаткового доходу (D):

$$P = Z_1 + D, \quad (5)$$

де Z_1 – величина попереднього економічного збитку, грн; D – річний приріст доходу (додатковий дохід) внаслідок поліпшення виробничих досягнень, грн.

Річний дохід від реалізації отриманого біогазу дорівнює добутку кількості біогазу, який залишився після задоволення потреб у підігріві субстрату, кількості робочих днів у році, ціни за природний газ (5,6 грн/м³) та коефіцієнту 0,6, який враховує нижчу теплотворну здатність біогазу у порівнянні з природним газом (теплотворна здатність природного газу становить 32,7 МДж/м³, а біогазу - 20-25 МДж/м³).

Річні витрати на здійснення природоохоронних заходів визначаються за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (6)$$

де C – експлуатаційні витрати; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (коефіцієнт дисконтування), дорівнює 0,15; K – одноразові капітальні вкладення.

Величина капіталовкладень має дві складові, одна з яких відповідає витратам на БГУ (її складові та допоміжні матеріали). Друга частина капіталовкладень – це витрати на її будівництво та транспортування субстрату, виробничі затрати, амортизацію та страхування, що становить 25% від вартості БГУ.

Тоді розмір чистого річного економічного ефекту (млн. грн.):

$$E_p = P - Z. \quad (7)$$

Однією з форм показника ступеня економічної ефективності є термін (строк) окупності витрат (капітальних вкладень). Він характеризує період, протягом якого понесені на реалізацію заходу витрати повністю повертаються за рахунок отриманого ефекту.

Для зменшення терміну окупності авторами пропонується застосування методів збільшення виходу біогазу. Основними способами інтенсифікації технології біоенергетичної утилізації відходів є технології попередньої механічної, хімічної та термічної обробки біомаси [5].

Проведені експериментальні дослідження [8] свідчать, що при застосуванні хімічної дезінтеграції біомаси кількість утвореного біогазу збільшується до 4 разів [9].

Застосування інтенсифікації процесу виходу біогазу при метановому зброджуванні органічних відходів дозволить збільшити річну продуктивність виходу біогазу у 4 рази та зменшити термін окупності в 3,5 рази.

Висновки

Розроблено методику розрахунку еколого-економічного обґрунтування впровадження технології анаеробного зброджування відходів та стічних вод з отриманням біогазу для підприємства, яка може бути використана для оцінки доцільності впровадження БГУ та застосування технологій підвищення продуктивності діючих БГУ. Методика включає розрахунки параметрів і продуктивності біогазової установки, еколого-економічного ефекту від впровадження технологій та терміну окупності обладнання.

Використовуючи наведену методику нами проаналізовано доцільність впровадження БГУ для підприємства з продуктивністю утворення органічних відходів кількістю 60 т/добу. Визначено, що річна продуктивність біогазу, придатного для продажу, складатиме 2,71 млн м³. Зменшення річних екологічних платежів за розміщення відходів складає до 2,91 млн грн. Розмір чистого річного економічного ефекту від впровадження БГУ дорівнює 2,59 млн грн., а із використанням інтенсифікації процесу – 45,87 млн грн. Термін окупності становить два роки і вісім місяців, при інтенсифікації – зменшується до дев'яти місяців.

Література

1. Железная Т.А. Энергетические культуры как эффективный источник возобновляемой энергии / Т.А. Железная, А.В. Морозова // Промышленная теплотехника. – 2008. – 234 с.
2. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991. – 128 с;
3. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – Київ: Кондор, 2010. – 552 с.
4. Бойченко С. В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку / С. В. Бойченко, К. Лейда, О. В. Іванченко. // «Наукоємні технології». – 2016. – С. 221–227.
5. Канализация / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов., – Москва: Стройиздат, 1975. – 632 с.
6. Очистка стічних вод / М.П. Лапицкая, Л.И. Зуева, Н.М. Балаескул, Л.В. Кулешова. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 256 с.
7. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи з курсу "Економіка природокористування" / П. В.Круш, Н. А. Шевчук, Н. І. Шевчук, О. О. Вовк. – Київ: НТУУ «КПІ», 2006. – 60 с.
8. Дичко А.О. Інтенсифікація процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз [Текст] / А.О. Дичко, Л.І. Євтеєва, І.О. Ополінський // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 22 (1). – С. 193-198.
9. Пат. 100151 Україна. Спосіб інтенсифікації процесу біотрансформації органічних забруднень стічних вод у біогаз / К. К. Ткачук, А. О. Дичко, Л. І. Євтеєва, І. О. Ополінський. – Бюл. № 13 - 2015. – 2 с;

УДК 658:330.322:622.33

Сердюк Олександр Сергійович

канд. екон. наук

Інститут економіки промисловості

НАН України, Київ

ФІНАНСОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЛІКВІДАЦІЇ ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Досліджено особливості реалізації проектів ліквідації вітчизняних вугледобувних підприємств. Визначено потенційну цінність шахтних ресурсів. Запропоновано концепцію залучення приватного капіталу до процесів ліквідації вугледобувних підприємств.

The features projects elimination of domestic coal mines. Determined potential value of mining resources. The concept of private capital to the process of liquidation of coal mines.

Вступ. В сучасних економічних умовах питання економічного оздоровлення державного сектору вугільної галузі набуває все більшої актуальності, оскільки щорічне зростання загальних витрат вуглевидобутку безпосередньо впливає на підвищення бюджетних дотацій державним шахтам. Так, упродовж 2005-2016 рр. середня собівартість вуглевидобутку на державних підприємствах збільшилась у 4,5 рази, у зв'язку з чим загальні збитки вугільного сектору в даному періоді склали 57,3 млн грн. На онові аналізу тенденцій погіршення економічних показників та враховуючи поточний матеріально-технічний стан вітчизняних вугледобувних підприємств, можна зробити висновок щодо подальшого збільшення показників збитковості, що врешті-решт призведе до повного виробничо-економічного колапсу державного сектору вугільної галузі. Виходячи з обставин, що склались, очевидною є необхідність у невідкладній ліквідації ряду підприємств, які завдають найбільших збитків державному сектору. Це дозволить вивільнити фінансові ресурси (у вигляді дотацій призначених для шахт, що ліквідуються) та переорієнтувати їх на розвиток перспективних підприємств, що у кінцевому рахунку позначиться на економічному стані державного сектору вугільної галузі.

Аналіз літературних джерел. На необхідності ліквідації безперспективних вугледобувних підприємств, наголошують науковці Д.Ю. Череватський та Л.Л. Стариченко, але як і більшість дослідників цієї сфери, як джерело фінансування вони розглядають виключно державний бюджет. Оригінальним є підхід науковців Г.Г. Півняка, П.І. Пілова, М.С. Пашкевич, Д.О. Шашенка, які запропонували диверсифікувати виробництво вугледобувних підприємств, що само собою (в залежності від ступеня диверсифікації) знімає проблему фінансування заходів з ліквідації вугільних шахт. Враховуючи низьку потенційну рентабельність запропонованих проектів диверсифікації, можна зробити висновок щодо низької ймовірності реалізації приведеної концепції. Отже, з огляду на проаналізовані наукові роботи можна зазначити, що науковцями які займалися економічними проблемами ліквідації вугільних шахт, теоретична можливість залучення приватного капіталу в рамках даного процесу не розглядалась.

Мета роботи. – розробка концепції залучення приватного капіталу до процесів ліквідації державних вугледобувних підприємств.

Матеріали і результати досліджень. Досвід ліквідації вугледобувних підприємств в Україні 1996-2004 рр. показав, що лівова частка фактичних державних витрат (що становили близько 50% від запланованих) спрямовувалась переважно на виконання заходів з фізичної ліквідації шахт, оставляючи без належної уваги статі витрат з подолання соціальних і екологічних наслідків. Згодом ситуація з фінансуванням проектів закриття вугільних шахт дещо покращилась, але у зв'язку з наявністю значної кількості незавершених проектів ліквідації, результативність реалізації виділених коштів була низькою.

Результатом недофінансування заходів з екологічного захисту стали випадки підтоплення поверхні, підняття метану до рівня житлових приміщень, просідання ґрунту. Часткове фінансування заходів з соціального захисту (профінансовано всього 38% від запланованої суми) призвело до зростання рівня безробіття, зниження якості життя населення та як наслідок підвищення рівня злочинності у колишніх шахтарських містах.

Отже, нагальна необхідність у повноцінному фінансуванні процесів ліквідації вугледобувних підприємств доведена теорією і практикою. Відносно державного сектору вугільної галузі України даний висновок є особливо актуальним, адже переважна кількість збиткових вугледобувних підприємств наряду з значною кількістю шахт, що знаходяться у стані ліквідації впродовж тривалого часу (у зв'язку з відсутністю фінансування) створюють передумови до загострення не тільки соціально-екологічних а й економічних проблем. З огляду на сформовані обставини, постає питання щодо пошуку недержавних джерел фінансування процесів ліквідації вугільних шахт.

Вугледобувне підприємство є складною і витратною формою організації виробництва. За рахунок розгалуженої мережі гірничих виробок (з наявним устаткуванням, кріпленням, рейковим шляхом, комунікаціями тощо) та масштабного поверхневого комплексу (що включає копри, цехи, адміністративні будівлі тощо), балансова вартість типової вугільної шахти перевищує аналогічні показники більшості підприємств промислової спрямованості. С цього випливає, що у вугледобувне підприємство закладено ресурс колосальної вартості, який після ліквідації шахти у більшій своїй частині списується.

Вищенаведений висновок обумовлює доцільність сприйняття балансової вартості вугледобувного підприємства як ресурсу, що хоча би частково зможе покрити витрати з його ліквідації. Але проблема полягає в тому, що номінальна цінність ресурсу (та, що приведена в балансі) не завжди відповідає його практичній цінності. Наприклад такі об'єкти, як копри, адміністративні будівлі, крупні стаціонарні установки можуть мати низьку практичну цінність. Таким чином, балансову вартість не слід сприймати як показник, що у повній мірі відображає потенціал шахтного ресурсу.

Отже, практична цінність шахтного ресурсу може стати джерелом інвестиційного забезпечення процесів ліквідації вугледобувних підприємств. Постає питання щодо визначення форм його ефективного використання. До шахтного ресурсу з високим рівнем практичної цінності можна віднести: механізовані комплекси з видобутку вугілля, прохідницькі комбайни, стрічкові конвеєри, батарейні машини, електровози, арочне кріплення, рейки, залізобетонні затяжки. За певних обставин практичну цінність можуть мати: земельні ділянки вугледобувних підприємств – за умови розташування в межах великих міст; споруди промислового призначення – в залежності від якості та розташування; відвали та шламовідстійники – за умови високої концентрації вугілля та інших цінних речовин.

Кожен з наведених ресурсів може бути реалізований на відповідному йому ринку, що забезпечить трансформацію практичної цінності у натуральний грошовий еквівалент. Так, механізовані комплекси з видобутку вугілля, прохідницькі комбайни, стрічкові конвеєри,

батареїні машини та електровози можуть бути реалізовані на ринку вторинного гірничошахтного устаткування, де за сприятливої кон'юнктури можуть забезпечити власнику виручку еквівалентну балансовій вартості. Рейки, трубопроводи, кабелі та недеформовані залізобетонні з'язки можуть бути реалізовані як матеріали вторинного використання.

Найбільшу цінність серед елементів загальношахтного ресурсу має арочне кріплення. За рахунок розгалуженої мережі гірничих виробок (де шаг встановлення арочного кріплення складає 0,5-1 м) кількість секцій арочного кріплення сягає 10 000 – 50 000 одиниць. Незважаючи на їх деформований у більшості випадків стан, вони не втрачають своєї потенційної цінності в значній мірі, адже шляхом прогонки секцій кріплення через правильно-гибочну машину, їм можна надати придатного для експлуатації стану. З цього випливає, що кошти виручені від виїмки секцій арочного кріплення (включно з метізами: 4 хомути та 3 межрамні стяжки на секцію) на одному вугледобувному підприємстві можуть сягати 22 – 110 млн. грн., адже ринкова вартість секції кріплення, що були у вжитку складає у середньому близько 60% від первинної. За умови відсутності належного попиту секцій кріплення на ринку вторинних матеріалів, їх можна реалізувати як металобрухт. У такому випадку загальна виручка в середньому складатиме 10 – 50 млн. грн.

Крім секцій арочного кріплення, потенційну цінність мають наступні матеріали: залізобетонні з'язки (ціна б/в 1 м³ складає 979 грн); прямий профіль (ціна б/в 1т складає 3781 грн); рейки р-24 (ціна б/в 8 м складає 1218 грн); рейки р-33 (ціна б/в 8 м складає 1674 грн); костиль 16x16 (ціна б/в 1 кг складає 93 грн); костиль 14x14 (ціна б/в 1 кг складає 41 грн); накладка на рейку р-24 (ціна б/в 1 шт складає 149 грн); накладка на рейку р-33 (ціна б/в 1 шт складає 184 грн); підкладка під рейку р-24 (ціна б/в 1 шт складає 63 грн); підкладка під рейку р-33 (ціна б/в 1 шт складає 71 грн).

Висновки. Продаж секцій арочного кріплення та інших виробничих матеріалів дозволить частково компенсувати витрати на ліквідацію вугільних шахт. Згідно Державної цільової економічної програми реформування вугільної промисловості на 2015-2020 рр., витрати на ліквідацію одного вугледобувного підприємства сягають від 280 млн грн (шахта «Північна» – виробнича потужність 700 тис. т/рік, протяжність виробок 26,5 км) до 35 млн грн (шахта №1 «Нововолинська» – виробнича потужність 300 тис. т/рік, протяжність виробок 15,2 км). З чого можна зробити висновок, що виручені від продажу матеріалів кошти зможуть покрити більшу частину ліквідаційних витрат.

УДК 621.311

В.П. Розен, проф., **І.М. Шарий**, магістр, **І.В. Яковчук**, магістр, **О.М. Шарий**, магістр, **Т.Ю. Оборонов**, асистент (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

КЛАСИФІКАЦІЯ СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ДИСКРИМІНАНТНОГО АНАЛІЗУ

V.P. Rozen, I.M. Sharyi, I.V. Yakovchuk, O.M. Sharyi, T.Yu. Oboronov (National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)

STATUS SYSTEM CLASSIFICATION OF ELECTRIC PUMP UNIT BASED ON THE DISCRIMINANT ANALYSIS

Розглянуто підхід до вирішення задачі класифікації стану системи електроприводу насосної установки шляхом використання дискримінантного аналізу. Побудована система класифікації на основі даних навчальної вибірки. Включено нову модель системи прийняття рішень щодо визначення стану системи електропривода насосної установки з асинхронним двигуном, що спирається на дискримінантний аналіз. Двовірний простір дискримінантних функцій побудовано на основі критерію, що максимізує відмінності між класами і мінімізує розбіжності для спостережень, що належать одному класу. Створено методики та алгоритми які дозволили здійснити експертні рішення щодо визначення технічного стану насосної установки.

Ключові слова: діагностування; електропривод; дискримінантний аналіз; стан системи; енергоефективність.

Рассмотрен подход к решению задачи классификации состояния системы электропривода насосной установки путем использования дискриминантного анализа. Построена система классификации на основе данных обучающей выборки. Включена новая модель системы принятия решений по определению состояния системы электропривода насосной установки с асинхронным двигателем, которая опирается на дискриминантный анализ. Двухмерное пространство дискриминантных функций построено на основе критерия, который максимизирует различия между классами и минимизирует разногласия для наблюдений, принадлежащих одному классу. Созданы методики и алгоритмы которые позволили осуществить экспертные решения по определению технического состояния насосной установки.

Ключевые слова: диагностирование; электропривод; дискриминантный анализ; состояние системы; энергоэффективность.

The approach to solving the problem of classification of the state of the electric drive system of a pumping unit by using discriminant analysis is considered. A classification system based on training sample data is constructed. A new model of the decision-making system for determining the state of the electric drive system of a pumping unit with an induction motor is based on discriminant analysis. The two-dimensional space of discriminant functions is constructed on the basis of a criterion that maximizes the differences between classes and minimizes disagreements for observations belonging to one class. Methods and algorithms have been created that made it possible to carry out expert decisions to determine the technical condition of the pumping unit.

Keywords: diagnosis; electric drive; discriminant analysis; system state; energy efficiency.

Вступ. Асинхронні двигуни широко застосовуються в різних галузях промисловості. Внаслідок різноманітних причин асинхронні двигуни виходять із ладу й надходять у ремонт. Експлуатація насосних установок з асинхронними двигунами, які знаходяться в незадовільному технічному стані, призводить до збільшення фінансових витрат, зумовлених зростанням електроспоживання. Вартість електроенергії, яку споживає електропривод протягом строку експлуатації, значно перевищує вартість устаткування та витрати на обслуговування і більше ніж в 5 разів перевищує його власну. Плата за електроенергію містить систему надбавок за додатково спожиту реактивну потужність. Плата за реактивну потужність на підприємствах становить до 10% від загальних витрат на електроенергію, і ці витрати мають тенденцію до зростання.

Основними причинами низької енергоефективності та виникнення аварій є недостатній рівень експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму

навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, запізнене виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо.

Своєчасне виявлення місця та ступеню пошкоджень дозволяє уникнути їх розвитку, зменшити час відновлення, скоротити затрати на обслуговування, уникнути простоїв обладнання, підвищити ефективність роботи двигунів та виробничих механізмів. У результаті проведення діагностики та ремонтних операцій відбувається корегування електромагнітних параметрів, які є необхідними для покращення енергоефективності, робочих і пускових характеристик електроприводу насосних установок та визначення післяремонтного паспорта електричної машини.

Аналіз стану питання. Одним з основних завдань діагностики є отримання інформації про технічний стан об'єкта діагностування [1, 2]. Елементом, що обмежує в разі виходу з ладу ресурс і працездатність насосної установки в цілому, є асинхронний двигун (АД). Отримання достовірної інформації про стан АД дозволить запобігти порушенню функціонування насосної установки.

З розвитком і вдосконаленням обчислювальних комплексів та інформаційних технологій розвивається новий напрямок - комп'ютерна діагностика, яка тісно пов'язана з розробкою експертних систем, здатних обробляти не тільки кількісні дані, але і змінні різного роду, виконуючи аналіз поведінки технічних систем і приймаючи експертні рішення. З огляду на це - побудова експертної системи визначення стану електропривода насосної установки на основі аналізу масиву вихідних даних є актуальним завданням.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення рівня адекватності прийняття рішень щодо визначення стану системи електроприводу насосної установки шляхом використання дискримінантного аналізу і створення розділяючої площини, функція якої формується на основі навчальної вибірки.

Результати досліджень. Розділ математичної статистики, який називають дискримінантним аналізом, дозволяє вивчати відмінності між двома і більше класами по одній або декільком змінним одночасно, і на основі знайдених характеристик класів здійснювати ідентифікацію об'єктів з невідомою класовою приналежністю [3, 4]. Тому завдання класифікації стану системи електропривода насосної установки з подальшим дослідженням як властивостей окремих станів, так і відмінностей між ними добре вписуються в модель дискримінантного аналізу.

Апарат дискримінантного аналізу розроблявся багатьма вченими - фахівцями, починаючи з кінця 50 - х років ХХ ст. Дискримінантним аналізом, як і іншими методами багатомірної статистики, займалися П.Ч. Махаланобіса, Р. Фішер, Г. Хотеллінга та інші видатні вчені.

Всі процедури дискримінантного аналізу можна розбити на дві групи і розглядати їх як абсолютно самостійні методи. Перша група процедур дозволяє інтерпретувати відмінності між існуючими класами, друга - проводити класифікацію нових об'єктів в тих випадках, коли завчасно невідомо, до якого з існуючих класів вони належать.

Нехай є безліч одиниць спостереження - генеральна сукупність. Кожна одиниця спостереження характеризується кількома ознаками (змінними) x_{ij} - значення j - ї змінної в i - го об'єкта $i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, p$.

Припустимо, що вся множина об'єктів розбита на кілька підмножин (дві і більше). З кожної підмножини взята вибірка об'ємом n_k , де k - номер підмножини (класу), $k = 1, \dots, q$.

Ознаки, які використовуються для того, щоб відрізнити один клас від іншого, називаються дискримінантними змінними. Кожна з цих змінних повинна вимірюватися або за

інтервальною шкалою, або за шкалою відносин. Інтервальна шкала дозволяє кількісно описати відмінності між властивостями об'єктів. Прикладом такої шкали є календарний час, шкали температур тощо. В якості оцінки положення центру використовується середня величина, мода і медіана.

Шкала відносин - окремий випадок інтервальної шкали. Вона дозволяє співвіднести кількісні характеристики будь - якої властивості у різних об'єктів, наприклад, стаж роботи, заробітна плата, величина податку.

Теоретично число дискримінантних змінних не обмежена, але на практиці їх вибір повинен здійснюватися на підставі логічного аналізу початкової інформації і одного з критеріїв. Кількість об'єктів спостереження повинно перевищувати число дискримінантних змінних, як мінімум, на два, тобто $p < N$. Дискримінантні змінні повинні бути лінійно незалежними. Ще одним припущенням при дискримінантному аналізі є нормальність закону розподілу багатомірної величини, тобто кожна з дискримінантних змінних всередині кожного з розглянутих класів повинна бути підпорядкована нормальному закону розподілу. У разі, коли реальна картина у вибіркових сукупностях відрізняється від висунутих передумов, слід вирішувати питання доцільності використання процедур дискримінантного аналізу для класифікації нових спостережень, так як в цьому випадку ускладнюються розрахунки кожного критерію класифікації.

Перед тим як почати розгляд алгоритму дискримінантного аналізу, звернемося до його геометричної інтерпретації [5].

На рис. 1 зображені об'єкти, що належать двом різним множинам M_1 та M_2 .

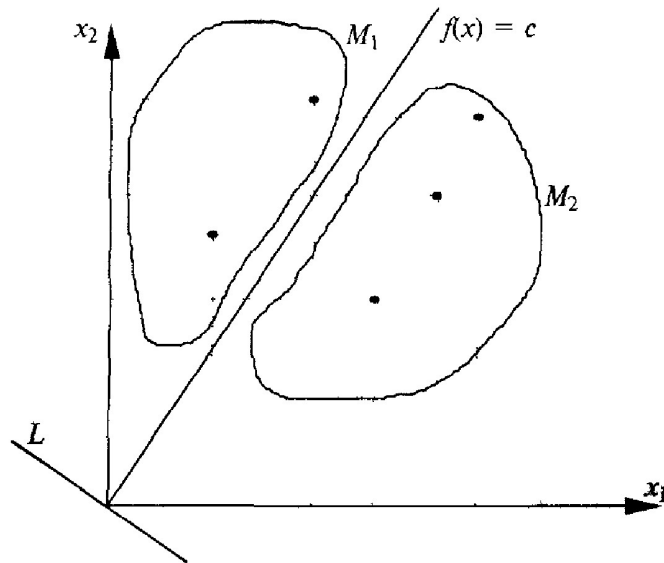


Рис. 1. Геометрична інтерпретація дискримінантної функції і дискримінантних змінних

В даному випадку кожен об'єкт характеризується двома змінними x_1 та x_2 . Якщо розглядати проекції об'єктів (точок) на кожную вісь, то ці множини перетинаються, тобто по кожній змінній окремо деякі об'єкти обох множин мають подібні характеристики. Щоб якнайкраще розділити дві розглянуті множини, потрібно побудувати відповідну лінійну комбінацію змінних x_1 та x_2 . Для двомірного простору це завдання зводиться до визначення нової системи координат. Причому осі L і C повинні бути розташовані таким чином, щоб

проекції об'єктів, що належать різним множинам на вісь L , були максимально розділені. Ось S перпендикулярна осі L і розділяє два "масиви" точок найкращим чином, множини опинилися по різні боки від цієї прямої. При цьому ймовірність помилки класифікації повинна бути мінімальною. Сформульовані умови класифікації повинні бути враховані при визначенні коефіцієнтів a_1 та a_2 наступної функції:

$$f(x) = a_1x_1 + a_2x_2. \quad (1)$$

Функція $f(x)$ називається канонічною дискримінантною функцією, а величини x_1 та x_2 - дискримінантними змінними.

Позначимо x_{ij} - середнє значення j -ї змінної в i -го об'єкта. Тоді для множини M_1 середнє значення функції $\bar{f}_1(x)$ буде дорівнювати:

$$\bar{f}_1(x) = a_1\bar{x}_{11} + a_2\bar{x}_{12}; \quad (2)$$

для множини M_2 середнє значення функції $\bar{f}_2(x)$ наступне:

$$\bar{f}_2(x) = a_1\bar{x}_{21} + a_2\bar{x}_{22}. \quad (3)$$

Геометрична інтерпретація цих функцій - дві паралельні прямі, що проходять через центри класів (множин) (рис. 2).

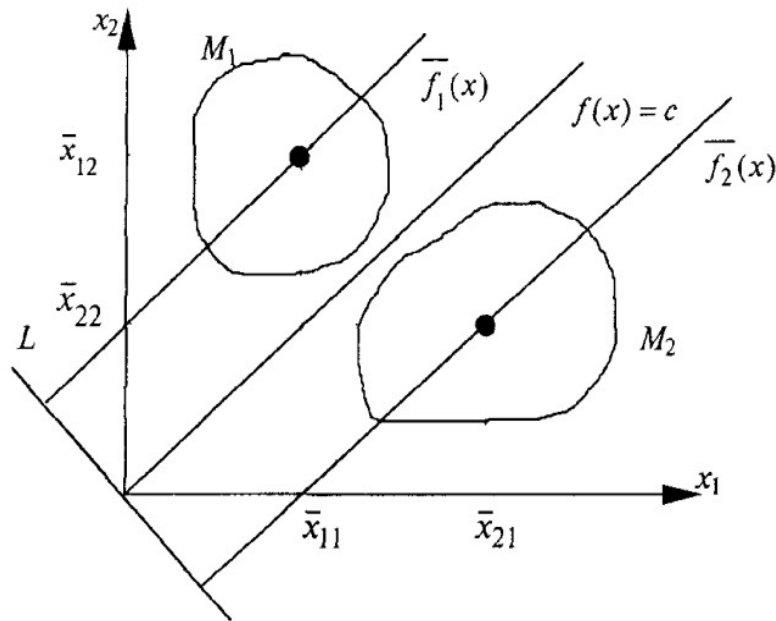


Рис. 2. Центри множин, що розділяються і константа дискримінантності

Дискримінантна функція може бути як лінійною, так і нелінійною. Вибір її виду залежить від геометричного розташування поділюваних класів в просторі дискримінантних змінних [6].

Коефіцієнти дискримінантної функції a_i визначаються таким чином, щоб $\bar{f}_1(x)$ і

$\bar{f}_2(x)$ якомога більше розрізнялися між собою, тобто щоб для двох множин (класів) був максимальним вираз:

$$\bar{f}_1(x) - \bar{f}_2(x) = \sum_{i=1}^{n_1} a_1 \bar{x}_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} a_2 \bar{x}_{2i}. \quad (4)$$

Тоді можна записати наступне:

$$f_{kt}(x) - \bar{f}_k(x) = a_1(\bar{x}_{1kt} - \bar{x}_{1k}) + a_2(\bar{x}_{2kt} - \bar{x}_{2k}) + \dots + a_p(\bar{x}_{pkt} - \bar{x}_{pk}), \quad (5)$$

де k - номер групи; p - число змінних, що характеризують кожне спостереження.

Позначимо дискримінантну функцію $f_{kt}(x)$ як Y_{kt} (k - номер групи, t - номер спостереження в групі). Внутрішньогрупова варіація може бути виміряна сумою квадратів відхилень:

$$\sum_{t=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2. \quad (6)$$

За обох груп в матричній формі це буде виглядати наступним чином:

$$\sum_{t=1}^2 \sum_{k=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2 = A'(X_1'X_1 + X_2'X_2)A. \quad (7)$$

де A - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції; X_1', X_2' - транспоновані матриці відхилень спостережуваних значень початкових змінних від їх середніх величин в першій та другій групі:

$$X_1' = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n_1} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p,1} & x_{p,2} & \dots & x_{p,n_1} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$X_2' = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n_2} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p,1} & x_{p,2} & \dots & x_{p,n_2} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Об'єднана коваріаційна матриця S_* визначається наступним чином:

$$S_* = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} (X_1'X_1 + X_2'X_2), \quad (10)$$

отже, вираз (7) дає оцінку внутрішньогрупової варіації і його можна записати у вигляді:

$$\sum_{t=1}^2 \sum_{k=1}^{n_k} (Y_{kt} - \bar{Y}_k)^2 = A'[(n_1 + n_2 - 2) \cdot S_*]A. \quad (11)$$

Міжгрупова варіація може бути виміряна як:

$$(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)^2 = A'(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' A. \quad (12)$$

При знаходженні коефіцієнтів дискримінантної функції a_j слід виходити з того, що для об'єктів, які розглядаються, внутрішньогрупова варіація повинна бути мінімальною, а міжгрупова – максимальною [6] - [8]. В цьому разі ми досягнемо найкращого поділу двох груп, тобто необхідно, щоб величина F була максимальною:

$$F = \frac{A'(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)'A}{A'[(n_1 + n_2 - 2)S_*]A}. \quad (13)$$

У точці, де функція F досягає максимуму, часткові похідні по a_j дорівнюватимуть нулю. Якщо обчислити часткові похідні:

$$\frac{dF}{da_1}; \frac{dF}{da_2}; \dots; \frac{dF}{da_p} \quad (14)$$

і прирівняти їх до нуля, то після перетворень отримаємо вираз:

$$A = S_*^{-1}(\bar{X}_1 - \bar{X}_2). \quad (15)$$

З цієї формули визначають вектор коеф. дискримінантної функції (A).

Отримані значення коефіцієнтів підставляють в формулу (1) і для кожного об'єкта в обох групах (множини) обчислюють дискримінантні функції, потім знаходять середнє значення для кожної групи. Таким чином, кожне i - е спостереження, яке спочатку описувалося m змінними, буде як би поміщено в одномірний простір, тобто йому буде відповідати одне значення дискримінантної функції, отже, розмірність простору ознак знижується.

Перед тим як приступити безпосередньо до процедури класифікації, потрібно визначити межу, що розділяє в окремому випадку дві розглянуті групи. Такою величиною може бути значення функції, рівновіддалене від \bar{f}_1 та \bar{f}_2 , тобто:

$$C = \frac{1}{2}(\bar{f}_1 + \bar{f}_2). \quad (16)$$

Величина C називається константою дискримінантності. На рис. 1 видно, що об'єкти, розташовані над прямою $f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p = C$, знаходяться ближче до центру множини M_1 і, отже, можуть бути віднесені до першої групи, а об'єкти, розташовані нижче цієї прямої, ближче до центру другої множини, тобто відносяться до другої групи.

Розглянемо приклад використання дискримінантного аналізу для проведення багатовимірної класифікації стану системи електропривода насосної установки. При цьому в якості навчальних будемо використовувати дві вибірки, що належать двом класам (стану роботи): «нормальний» та «аварійний».

Є масив даних (табл. 1) по робочому і аварійного стану системи електроприводу, що включає в себе наступні вихідні дані: середньоквадратичне значення струму (A) і напруги (B) в кожній фазі, варіація частоти мережі живлення (%) і величина несинусоїдальності (%).

Таблиця 1

Вихідні дані до розрахунку

Робочий стан							
I, A	I, A	I, A	U, B	U, B	U, B	$f, \%$	$K, \%$
(1ф)	(2ф)	(3ф)	(1ф)	(2ф)	(3ф)		SIN
470	449	433	5196	4984	4842	6,1	4,4

447	449	469	4964	4987	5182	6,0	5,8
485	467	450	5349	5169	4995	5,9	4,7
455	440	473	5045	4865	5223	5,8	5,5
448	460	434	4972	5090	4829	5,7	6,0
454	443	462	5040	4929	5113	6,0	4,4
434	452	475	4831	5010	5240	6,1	5,4
452	452	460	5021	5009	5093	6,0	4,2
462	485	442	5117	5338	4897	5,7	4,1
451	455	449	5013	5043	4981	5,9	4,1
438	465	462	4870	5146	5107	5,7	4,7
452	439	466	4997	4876	5144	5,8	5,5
448	459	460	4981	5087	5098	5,9	5,3
449	455	467	4981	5049	5167	5,9	4,2
442	463	471	4919	5120	5205	6,2	5,5
454	453	453	5029	5018	5009	6,1	5,4
...

Продовження таблиці 1

Аварійний стан							
<i>I</i> , А	<i>I</i> , А	<i>I</i> , А	<i>U</i> , В	<i>U</i> , В	<i>U</i> , В	<i>f</i> , %	<i>K</i> , %
(1ф)	(2ф)	(3ф)	(1ф)	(2ф)	(3ф)		<i>SIN</i>
565	539	519	4780	4585	4455	12,1	9,1
536	539	563	4567	4588	4768	10,5	8,5
583	561	540	4921	4756	4595	12,6	10,1
546	528	567	4641	4476	4805	11,6	8,7
538	552	521	4574	4682	4442	10,2	10,0
545	532	555	4637	4534	4704	10,6	10,0
521	542	570	4444	4610	4820	10,5	8,4
543	542	552	4619	4608	4686	11,7	8,6
425	446	406	6140	6405	5877	12,0	10,2
416	419	413	6016	6051	5977	12,2	8,2
403	428	425	5844	6175	6129	11,3	10,6
416	404	428	5997	5851	6173	11,7	9,3
413	423	424	5977	6105	6118	11,8	9,1
413	419	430	5978	6058	6200	11,9	10,2
407	426	433	5903	6144	6247	10,1	9,3
418	417	416	6035	6022	6011	10,6	10,2
...

Для зручності запишемо значення вихідних змінних для кожного стану системи електроприводу у вигляді матриць X_1 та X_2 :

$$X_1 = \begin{pmatrix} 470 & 449 & \dots & 4,4 \\ 447 & 449 & \dots & 5,8 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 454 & 453 & \dots & 5,4 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$X_2 = \begin{pmatrix} 565 & 539 & \dots & 9,1 \\ 536 & 539 & \dots & 8,5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 418 & 417 & \dots & 10,2 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Розрахуємо середнє значення кожної змінної в окремих групах для визначення положення центрів цих груп:

Перша група «Робочий стан»:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{11} &= 452; \bar{x}_{21} = 455; \bar{x}_{31} = 457; \\ \bar{x}_{41} &= 5020; \bar{x}_{51} = 5044; \bar{x}_{61} = 5070; \\ \bar{x}_{71} &= 5,9; \bar{x}_{81} = 4,9. \end{aligned} \quad (19)$$

Друга група «Аварійний стан»:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{12} &= 480; \bar{x}_{22} = 482; \bar{x}_{32} = 485; \\ \bar{x}_{42} &= 5317; \bar{x}_{52} = 5353; \bar{x}_{62} = 5375; \\ \bar{x}_{72} &= 11,3; \bar{x}_{82} = 9,3. \end{aligned} \quad (20)$$

Дискримінантна функція $f(x)$ в цьому випадку має вигляд:

$$\begin{aligned} f(x) &= a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \\ &+ a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8. \end{aligned} \quad (21)$$

Коефіцієнти $a_1 \dots a_8$ розраховуються за формулою:

$$A = S_*^{-1}(\bar{X}_1 - \bar{X}_2), \quad (22)$$

де \bar{X}_1, \bar{X}_2 - вектори середніх в першій і другій групі; A - вектор коефіцієнтів; S_*^{-1} - матриця, зворотна спільній коваріаційній матриці.

Для визначення спільної коваріаційної матриці S_* необхідно розрахувати матриці S_1 і S_2 . Кожен елемент цих матриць являє собою різницю між відповідним значенням вихідної змінної x_{ij} і середнім значенням цієї змінної в даній групі \bar{x}_{ik} , де k - номер групи.

Тоді спільна коваріаційна матриця буде дорівнювати:

$$S_* = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2}(S_1 + S_2), \quad (23)$$

де n_1, n_2 - кількість об'єктів першої та другої групи.

$$S_* = \frac{1}{16+16-2} \begin{pmatrix} 2537 & 2153 & \dots & -7,7 \\ 2153 & 2016 & \dots & -6,5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -7,7 & -6,5 & \dots & 0,5 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Зворотна матриця S_*^{-1} буде дорівнювати:

$$S_*^{-1} = \begin{pmatrix} 0,21 & -0,21 & \dots & -0,22 \\ -0,21 & 0,28 & \dots & 0,15 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0,22 & 0,15 & \dots & 2,27 \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Звідси знаходимо вектор коефіцієнтів дискримінантної функції за формулою:

$$A = S_*^{-1}(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \begin{pmatrix} 2,88407 \\ -3,00236 \\ -0,45716 \\ -0,29029 \\ 0,24600 \\ 0,00019 \\ -23,85777 \\ -12,40905 \end{pmatrix}, \quad (26)$$

тобто $a_1 = 2,88407$; $a_2 = -3,00236$; $a_3 = -0,45716$; $a_4 = -0,29029$;
 $a_5 = 0,24600$; $a_6 = 0,00019$; $a_7 = -23,85777$; $a_8 = -12,40905$.

Підставимо отримані значення коефіцієнтів $a_1 \dots a_8$ у формулу (21) і розрахуємо значення дискримінантної функції для кожного масиву вихідних даних:

Для робочого стану:

$$\begin{cases} f_{11} = -669,99798 \\ f_{12} = -701,88519 \\ \dots \\ f_{116} = -695,81859 \\ \bar{f}_1 = -688,39675; \end{cases} \quad (27)$$

Для аварійного стану:

$$\begin{cases} f_{21} = -887,44721 \\ f_{22} = -879,79790 \\ \dots \\ f_{216} = -887,42556 \\ \bar{f}_2 = -896,38718. \end{cases} \quad (28)$$

Тоді константа дискримінантності C буде дорівнювати:

$$C = \frac{1}{2}(\bar{f}_1 + \bar{f}_2) = -792,39197. \quad (29)$$

Після отримання константи дискримінантності можна перевірити правильність визначення стану системи електроприводу насосної установки вже за існуючим масивом вихідних даних, або провести класифікацію нових. Тепер при підстановці нових значень струмів, напруг, відхилень частоти та несинусоїдальності в дискримінантну функцію (21), ми з легкістю можемо класифікувати стан системи електроприводу. Необхідно лише порівняти нову отриману величину з константою дискримінантності.

Якщо $f_n > C$, - система знаходиться у робочому стані, в іншому випадку, коли $f_n < C$, стан системи - аварійний.

Висновки

Застосування статистичного методу на основі дискримінантного аналізу дозволило нам побудувати метод класифікації стану системи електропривода насосної установки, виходячи з масиву даних навчальної вибірки. Двовірний простір дискримінантних функцій побудовано на основі критерію, що максимізує відмінності між класами і мінімізує розбіжності для спостережень, що належать одному класу. На основі вибіркового даних отримані параметри (коефіцієнти $a_1 \dots a_8$) генеральних сукупностей класів, а також знайдені поверхні, що розділяють простір вимірювань на стани системи.

Посилання

- [1] О.И. Осипов, та О.И. Усынин, *Техническая диагностика автоматизированных электроприводов*. Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1991.
- [2] Ю.Н. Печерский, *Распознающие системы в природе, науке и технике*. Кишинев, Россия: Штиинца, 1986.
- [3] С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, та О.В. Староверов, *Классификация многомерных наблюдений*. Москва, Россия: Статистика, 1974.
- [4] Г.С. Кильдишев, та Ю.И. Аболенцев, *Многомерные группировки*. Москва, Россия: Статистика, 1978.
- [5] Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич, Г. Уебе, та М. Шефер, *Многомерный статистический анализ в экономике*. Москва, Россия: ЮНИТИ - ДАНА, 1999.
- [6] Л.Л. Богатырёв, та В.Г. Литвинов, *Диагностирование безопасности энергосистем Урала методами дискриминантного анализа*. Пермь. Россия: институт экономики УрО РАН, 2003.
- [7] С.А. Дубровский, *Прикладной многомерный статистический анализ*. Москва, Россия: Финансы и статистика, 1982.
- [8] Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, та Г.С Лбов, *Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей*. Новосибирск, Россия: Наука, 1985.

УДК 624.04

Гайко Г.І., д.т.н., проф., Бутько М.А., студент магістратури
Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут імені Ігоря

Сікорського», м. Київ, Україна

НАТУРНІ ВИПРОБУВАННЯ ҐРУНТІВ У РАЙОНІ БУДІВНИЦТВА ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ ВІТРЯКІВ

В статті розглядаються методи польових випробувань, що виконуються пенетрометром та крильчаткою з метою визначення меж міцності на стиск та зріз для глинистих ґрунтів. Представлена методика та хід випробувань, а також оцінка результатів польових вимірювань та їх збіжності з результатами, отриманими на стадії «Робочої документації».

This article reviews methods of field testing, that is performed using pocket penetrometer and vane shear tester in order to determine compressive and shear strengths of cohesive soil. Testing methodology is presented as well as assessment of field testing results and their convergence with the results, obtained at the Working Documentation stage.

Будівництво вітрових електрогенеруючих установ у нашій країні робить лише перші кроки, використовуючи досвід та інженерні надбання країн ЄС. Висотна конструкція вітряка, значні згинні моменти, що діють на фундамент, потребують ретельних досліджень ґрунтової основи фундаменту. Проект будівництва 10 електрогенераторних вітряків в Овідіопольському районі Одеської області, який здійснюється зараз, передбачає спорудження 12 буронабивних паль під фундаментом кожного вітряка, що потребувало натурних комплексних досліджень ґрунтів.

Польові випробування проводили з метою визначення механічних властивостей глинистих ґрунтів, зокрема межі міцності на стиснення (за допомогою пенетрометру) та міцності на зрізання (випробування крильчаткою, рис. 1).



Рис. 1. Інструменти для польових випробувань для отримання характеристик глинистих ґрунтів (кишеньковий пенетрометр та крильчатка)

На основі випробувань, за допомоги розрахункових таблиць даних приладів, були отримані скорельовані фізико-механічні властивості ґрунтів. Результати випробувань надали попередню інформацію про структуру та властивості ґрунтів будівельного майданчика, а також утворили базу для подальшого порівняння значень, отриманих типовими методами

інженерних вишукувань.

Розглянемо детальніше кожен із способів випробувань. Для проведення досліджень кишеньковим пенетрометром спочатку відбираємо моноліт ґрунту (керн) за допомогою бурової установки (Рис. 2). Потім зрізається пошкоджена частина ґрунту, яка не придатна для випробувань.



Рис. 2. Керновий моноліт ґрунту

Кишеньковий пенетрометр розроблений як легкий інструмент для використання при польових та лабораторних дослідженнях ґрунтів. Пенетрометр складається з корпусу, пружини, що знаходиться всередині корпусу, і плунжера, на якому нанесена шкала. На плунжері жорстко закріплений наконечник (голка) з міткою, до якої необхідно занурювати наконечник в дослідний зразок ґрунту. При натисканні наконечником приладу зразок ґрунту, виникає опір, під силою якого стискається пружина всередині пенетрометра. Максимальна сила опору фіксується на градуйованій шкалі кільцем. Шкала відкалібрована так, що опір проникнення можна зчитати безпосередньо з пристрою відразу ж після вимірювання.

Результати, отримані під час польових випробувань кишеньковим пенетрометром, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробувань кишеньковим пенетрометром

Глибина відбору	Найменування ґрунту	Межа міцності при стиску q_u визначена випробуванням за допомогою кишенькового пенетрометра, [кН/м ²]
2.0 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, сірий	300 – 370
8.5 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, сірий	250 – 450
10.5 м, 11.5 м, 15.5 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, жовто-бурий	>450
17.5 м, 19.0 м, 21.0 м, 22.5 м, 25.0 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, червоно-бурий	>450
28.5 м, 30.0 м, 31.2 м	Суглинок, карбонатний, зелено-сірий	>450
32.3 м, 32.8 м	Лесовий суглинок, напівтвердий, карбонатний, червоно-сірий	400 – 450
33.5 м	Глина та супісок з прошарками піску	250 – 350

Для проведення випробувань крильчаткою так як і у випробуваннях пенетрометром використовується такий же моноліт ґрунту. Конструкція крильчатки складається з циліндричного тіла, яке містить торсіонну пружину і три змінних лопаті різної площі. Розмір лопаті під час випробувань обирається в залежності від міцності ґрунту, що підлягає випробуванню. Для початку проведення випробування крильчаткою у відібраному моноліті ґрунту занурюють лопатку пристрою на 5-6 см. Потім повертаємо верхню частину приладу за ручку, при цьому створюється кутовий зсув між двома циліндричними частинами. Величина цього зміщення пропорційна прикладеному крутильному моменту. Покази зчитуються зі шкали на корпусі приладу. Результати випробувань крильчаткою на зріз наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробувань крильчаткою

Глибина відбору	Найменування ґрунту	Питоме зчеплення в недренованому стані c_u , одержане випробуванням
-----------------	---------------------	---

		крильчаткою, [кН/м²]
2.0 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, сірий	86
8.5 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, сірий	82
10.5 м, 11.5 м, 15.5 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, жовто-бурий	102 – 200
17.5 м, 19.0 м, 21.0 м, 22.5 м, 25.0 м	Лесовий суглинок, твердий, карбонатний, червоно-бурий	Не вдавлюється, >200
28.5 м, 30.0 м, 31.2 м	Суглинок, карбонатний, зелено-сірий	>200, майже не вдавлюється
32.3 м, 32.8 м	Лесовий суглинок, напівтвердий, карбонатний, червоно-сірий	>200

На основі співвідношень значень межі міцності на стискання q_u (пенетромтр) та питомого зчеплення c_u (крильчатка) $c_u = q_u / 2$, визначене значення питомого зчеплення в недренованому стані c_u за глибиною (значення наведені в таблиці 3).

Таблиця 3

Порівняння результатів, одержаних пенетромтр та крильчаткою

Інтервал глибин	Питоме зчеплення c_u, визначене за формулою $c_u = q_u / 2$, на основі випробувань пенетромтр, [кН/м²]	Питоме зчеплення c_u визначене на основі випробувань крильчаткою, [кН/м²]	Рекомендовані значення c_u, [кН/м²]
2.0 м - 8.5 м	125 - 185	82 – 86	80
8.5 м - 10.5 м	125 - 225	102	100
11.5 м - 15.5 м	>225	200	200
17.5 м - 31.2 м	>225	>200	200
32.3 м - 32.8 м	200 - 225	>200	200
32.8 м - 33.5 м	125 - 175	>200	125

Результати польових випробувань (колонка справа) використовувались в розрахунках носійної здатності паль для кожного шару ґрунтів.

Одержані результати на стадії робочої документації мають достатньо високу збіжність

з результатами натурних випробувань, виконаних на попередній стадії проектування.

Бібліографічний список

1. ДБН А.2.1-1-2014 Інженерні вишукування для будівництва. м. Київ 2014, 124 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація, чинний від : 01.04.1997, 47 с.

УДК 621.31

П.В. Соколовський., аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЯХ

Світова практика використання менеджменту в структурі керування енергетичною галуззю вже давно застосовується керівництвом різних компаній і підкріплений відповідними теоретичними розробками. В Україні ж це відносно новий напрямок в менеджменті енергетики, який не має точного визначально-категоріального ранжування, ефективних методів та інструментів. Для цього необхідно визначити основні складові у вирішенні цього питання, виконати відповідне моделювання бізнес-процесів, провести їх попередній аналіз, а також визначити основні важелі керування ними. В статті описано ключові складові побудови та функціонування бізнес-процесів. Виконано аналіз актуальності використання контролінгу, ризик-менеджменту та програмного забезпечення у регулюванні бізнес-процесів. Визначено та описано основні контролюючі та коригуючі складові бізнес-моделювання.

Ключові слова: віртуальна електрична станція, джерело розподіленої генерації

World practice of management in the management structure of the energy sector have long had the leadership of various companies and supported by appropriate theoretical developments. In Ukraine, a relatively new trend in energy management that does not have an accurate determinant-categorical ranking, effective methods and tools. You must identify the main components in solving this issue, perform the appropriate business process modeling, to their preliminary analysis and to identify the main levers of control. This paper describes the key components of the construction and operation of business processes. The analysis of the use of the urgency of controlling, risk management, and software to regulate the business processes. Defined and described the main control and adjustment component business modeling. Developed a tentative plan for implementation under the concept of Smart Grid energy complex of Ukraine in 2030.

Keywords: power supply company, business process, Smart Grid, information exchange, controlling, risk management

Вступ. Підвищення рівня енергоефективності в Україні з перспективою впровадження нових технологій, згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року», є одним з першочергових напрямків розвитку енергетичного комплексу держави [1, 2].

Визначено пріоритетні напрямки їх реалізації, до яких внесено створення сучасної високоінтелектуальної системи керування і регулювання в структурі енергетичного сектору,

а також розгляд перспектив впровадження нових інформаційних технологій, сучасних систем контролю, керування (Smart Grid Integrated Communications) та розумного обліку (Smart Metering) [3].

Одним з перспективних шляхів вирішення даних задач є застосування так званих «інтелектуальних мереж» (Smart Grid – Self Monitoring Analysis and Reporting Technology) технологія, яка передбачає власний моніторинг і можливість передачі результатів моніторингу до центру керування мережею.

Найбільш масштабні програми та проекти застосування концепції Smart Grid розроблені і успішно здійснюються в США, Канаді, Європейському Союзі, Китаї, Індії, Японії, Австралії, Південній Кореї і по суті є державною політикою технологічного розвитку електроенергетики майбутнього [4, 5].

Серед результатів впровадження зазначених технологій необхідно виділити зниження рівня пікових навантажень і втрат електроенергії в електричних мережах, підвищення надійності роботи енергосистем та ефективності використання енергоресурсів, зменшення негативного впливу об'єктів енергетики на навколишнє середовище тощо. В цих умовах розвиток електроенергетики України потребує формування та впровадження індивідуальної концепції Smart Grid з метою поліпшення якості та ефективності функціонування галузі. Практичне впровадження цієї концепції потребує вирішення організаційних, інформаційних, технічних та економічних заходів [6, 7].

Невід'ємною складовою коректного функціонування інтелектуальної мережі є процес керування бізнес-процесами галузі. До таких тенденцій слід віднести: розширення територіальної розташування об'єктів енергетики, підвищення якості та оперативності надання послуг, зниження витрат підприємств, забезпечення сучасних вимог енергоефективності, перехід до нових моделей функціонування енергетичної галузі.

На цьому етапі побудови інтелектуальної мережі необхідно виділити можливість синтезу «Smart Grid+Green Economy» (зелена економіка). Глобальною тенденцією «зеленої економіки» є підвищення енергоефективності та зниження використання ресурсів для виготовлення продукції за рахунок зниження витрат виробництва і переробки сировини. Головною метою «зеленої економіки» є зменшення впливу на навколишнє середовище, за рахунок застосування високоефективних механізмів керування економічними процесами [8].

Згідно до ініціативи Industry 4.0, суть якої полягає у підвищенні рівня захисту та розширення технологічного потенціалу з застосуванням сучасних Інтернет-технологій у виробничих процесах, впровадження технології Smart Grid стане своєрідним фундаментом [9].

При цьому відбувається посилення вертикальної інтеграції галузі: збільшення підприємств, збільшення ієрархічних рівнів керування і обсягу оброблюваної інформації, необхідність керування великими організаційними обсягами в межах одного бізнес-процесу, посилення централізованого контролю, як з боку керування енергопостачальних компаній, так і з боку держави.

Ці тенденції викликають необхідність уніфікації бізнес-процесів в масштабах енергетичної галузі, створення єдиних класифікаторів та централізованих систем нормативно-довідкової інформації, інтеграції даних в ієрархії управління.

Інтенсивний розвиток нових інформаційних технологій: збільшення обчислювальних потужностей, підвищення пропускної спроможності та якості каналів зв'язку, зростання ролі мобільних пристроїв, використання автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем комерційного обліку електроенергії, розвиток програмних рішень дозволяє задовільнити сучасні вимоги, які полягають в підвищенні оперативності, аналітичності і достовірності

обліку, інтеграції інформаційних систем, як по вертикальній, так і по горизонтальній складовій, оперативної взаємодії з суміжними системами, підвищення обсягу та швидкості оброблюваної інформації, забезпечення захисту інформації.

Не викликає жодних сумнівів, що підвищення ефективності управління може бути здійснено тільки з використанням високопродуктивних інтелектуальних Smart-систем обробки інформації та управління енергетичними процесами.

Метою статті є визначення основних складових функціонування бізнес-процесів в енергетичних ринках та надання пропозицій з точки зору модернізації вітчизняних енергетичних господарств України на рівні обленерго.

Бізнес-процес: поняття, складові особливості. Світова практика використання менеджменту в структурі керування енергетичною галуззю вже давно застосовується керівництвом різних компаній і підкріплений відповідними теоретичними розробками. В Україні ж це відносно новий напрямок в менеджменті енергетики, який не має точного визначально-категоріального ранжування, ефективних методів та інструментів.

Бізнес-процес - це стійка і цілеспрямована сукупність взаємопов'язаних видів діяльності (послідовності операцій), яка за певною технологією перетворює початкову складову (ресурси) на кінцевий результат, який має орієнтовану цінність для споживача (внутрішнього або зовнішнього клієнта) і задовольняє його вимоги [10].

Проведений аналіз показав, що основні критерію терміну «бізнес-процес». Виділені його основні складові [11]:

- 1) наявність чітких цілей та поставлених завдань;
- 2) вихід бізнес-процесу орієнтований на споживача;
- 3) вхід бізнес-процесу представлений різними ресурсами;
- 4) до вихідних результатів бізнес-процесу також відносять товари та послуги;
- 5) системний характер;
- 6) має певну тривалість у часі та вартість;
- 7) є моделлю сукупності операцій або функцій.

У результаті інтеграції наведених вище характерних для бізнес-процесу властивостей розроблено визначення терміну «бізнес-процес», яке буде використано в цій статті: бізнес-процес - динамічна модель системи операцій з перетворення «входи» у «виходи», спрямованих на досягнення мети компанії і задоволення потреб клієнтів [11].

На рис. 1 представлена архітектурна модель Smart Grid, яка показує використання бізнес шару, як однієї з головних складових її структури.

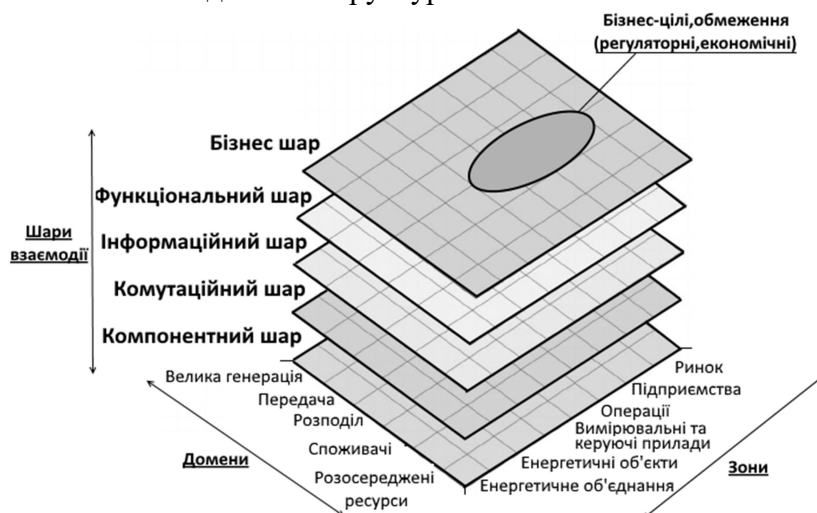


Рисунок 1 – Архітектурна модель Smart Grid

Процеси видобутку, переробки енергоресурсів, транспортування, розподілу і споживання енергії та енергоносіїв протікають практично одночасно. Енергія і енергоносії мають ряд властивостей, що відрізняють їх від продукції інших галузей промисловості (наприклад, неможливість накопичення і пошук браку електроенергії). Все це вимагає розробки методів та інструментів управління бізнес-процесами спеціально для енергетичних підприємств [12].

Дослідниками в області процесного підходу до керування на підприємствах паливно-енергетичного комплексу виділено такі особливості бізнес-процесів підприємств енергетики [13]:

- 1) висока ступінь інтеграції з видобувними підприємствами;
- 2) висока фондомісткість;
- 3) безперервне виробництво;
- 4) висока енергоємність;
- 5) нееластичний попит на продукцію.

Особливості бізнес-процесів енергетичних компаній: високий ступінь інтеграції з розподільними компаніями, вертикальна інтеграція бізнес-процесів видобутку, переробки, транспортування та розподілу готового продукту кінцевому споживачеві, залежність від рівня розвитку транспортної інфраструктури [11].

Залучення додаткових інвестицій в галузі енергетики стане можливим за умов, коли інвестор буде впевнений не тільки в поверненні своїх коштів, а й в отриманні максимального доходу в порівнянні з іншими варіантами вкладення. Забезпечити такі гарантії інвестору можуть лише підприємства, що діють в умовах переважно нецінової конкуренції.

Стандарт менеджменту в енергетиці. Сьогодні ж в Україні швидкими темпами зростає інтерес до вже прийнятих на Заході стандартів менеджменту, проте, в реальній практиці управління існує один дуже показовий момент. Багатьох керівників до сих пір можна поставити в глухий кут прямим питанням про організаційну структуру компанії або про схему існуючих бізнес-процесів [14].

Саме ж поняття "моделювання бізнес-процесів" прийшло в побут більшості аналітиків одночасно з появою на ринку складних програмних продуктів, призначених для комплексної автоматизації управління підприємством. Подібні системи завжди мають на увазі проведення глибокого попереднього обстеження діяльності компанії.

Відповідно до вимог стандарту ІЕС 62325, на ринку електроенергії України має використовуватися UMM (методологія моделювання UN/CEFACT) [15] для опису Представлення бізнес-операцій (Business Operational View – BOV) ISO/ІЕС 14662 стандарту еталонної моделі відкритого електронного обміну даними. Таку методологію слід використовувати з ebXML – технологією побудови електронного бізнесу.

Особливо актуальною є формалізація моделі ринку електроенергії України відповідно до ebIX UML Моделі Європейського енергетичного ринку [16, 17]. Основні бізнес-сфери та бізнес-процеси на ринку електроенергії України мають бути гармонізовані із європейською моделлю ринку електроенергії та відповідати рекомендаціям стандарту ІЕС 62325, в якому визначаються бізнес-сфери, процеси в межах цих сфер та ролі залучених учасників ринку [18].

Комплексні обстеження підприємств завжди є складними і істотно відрізняються від випадку до випадку завданнями. Для вирішення подібних завдань моделювання складних систем існують добре обкатані методології і стандарти на прикладі групи стандартів IDEF

(Integrated DEFinition) розроблена в США за програмою Integrated Computer-Aided Manufacturing. Їх використання дозволяє ефективно представляти і аналізувати моделі діяльності широкого спектру складних систем в різних розрізах. При цьому широта і глибина обстеження процесів в системі визначається самим розробником, що дозволяє не перевантажувати створювану модель зайвими даними. Станом на сьогодні, до сімейства IDEF можна віднести стандарти IDEF0- IDEF[19].

Проілюструємо логічну модель схеми бізнес-процесу, розробленої в рамках стандарту IDEF0 (рис. 2).

Під ресурсами в рамках функціонування моделі згідно стандарту бізнес-процесів IDEF0 розуміються матеріальні, фінансові та інформаційні ресурси, які перетворюються в ході виконання бізнес-процесу. Необхідно підкреслити, що в окремих бізнес-процесах, наприклад, навчання кадрів, на вхід можуть надходити і людські ресурси [20].

Помітна роль в процесі моделювання бізнес-процесів приділяється і так званим механізмам:

- механізми показують, хто, що і за допомогою чого виконує ту чи іншу операцію бізнес-процесу;
- механізмами бізнес-процесу, як правило, є «невитратні ресурси», які використовуються для виконання циклу бізнес-процесу (будівлі і споруди, обладнання, людські ресурси (як структурні підрозділи, так і окремі співробітники)).

Використання зворотного коригування в циклі керування бізнес-процесами дає можливість швидкої адаптації бізнес-процесів до мінливих вимог зовнішнього середовища, що дуже важливо для організацій, що працюють в сфері енергетики. Тому завдання безперервного керування бізнес-процесами - одна з найбільш істотних завдань, правильне рішення якої може принести організаціям величезну вигоду [21].



Рисунок 2 – Логічна схема опису бізнес-процесу в рамках стандарту IDEF0

Керування бізнес-процесами. Цикл керування бізнес-процесами складається з трьох основних етапів (рис. 3).

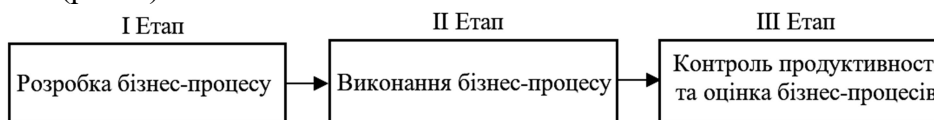


Рисунок 3 – Основні етапи керування бізнес-процесами

Етап 1 - Розробка процесу. На цьому етапі відбувається опис процесів, визначення власників процесів і початкова вдосконалення процесів;

Етап 2 - Виконання процесу. Впровадження оптимізованих процесів в повсякденну діяльність і їх виконання дуже часто вимагає автоматизації процесів з використанням інформаційних систем різних класів;

Етап 3 - Контроль продуктивності і оцінка процесів. На цьому етапі відбувається збір показників результативності процесів і аналіз їх відхилень від запланованих значень.

У багатьох енергетичних компаній часто присутні лише два етапи з циклу керування процесами - Розробка процесу і Виконання процесу. Це означає, що цикл керування «не замкнений», і немає повноцінного контролю ефективності виконання бізнес-процесів [21].

Ризик менеджмент в енергетиці. Паралельно з розвитком електроенергетичного ринку, формування нових структур і впровадження нових ринкових інструментів використання ризик-менеджменту (risk management) стає актуальним для електропостачальних компаній, які супроводжуються операційною та інвестиційною діяльністю [22].

Ризик в електроенергетиці – це об'єктивно-суб'єктивна категорія, що пов'язана з ймовірністю виникнення небажаних подій (загроз) в умовах невизначеності та суперечливості інтересів різних груп суб'єктів ЕР і відображає міру їх втрат (збитків) від порушення надійного режиму електропостачання внаслідок неузгоджених дій цих суб'єктів.

В сучасних умовах розвитку електроенергетики України, впливовим джерелом можливості виникнення якісно нових ризиків є ймовірність зіткнення суперечливих інтересів різних груп суб'єктів ЕР у процесі обґрунтування рішень по розвитку галузі [23].

Згідно [24] суб'єктами (учасниками) ЕР є:

- 1) виробники електроенергії – енергетичні компанії з вертикально-інтегрованою структурою, генеруючі компанії, незалежні виробники електроенергії;
- 2) постачальники електроенергії – вертикально-інтегровані компанії, компанії, які здійснюють транспорт (передачу) енергії, компанії-дистриб'ютори, які здійснюють розподіл енергії, енергозбутові організації;
- 3) незалежні комерсанти – брокери (забезпечують посередницькі послуги при укладенні контрактів), дилери (купують і перепродають електроенергію);
- 4) споживачі електроенергії різних груп та категорій.

Керування ризиками компаній електроенергетики пов'язано перш за все з інвестиційними процесом і має такі особливості: складність галузі для оцінки сторонніми інвесторами; специфічність ризиків; специфічність фінансових механізмів.

Значна кількість інформації, якою необхідно оперувати для виявлення ризиків і керування ними, робить актуальним використання інформаційно-аналітичних систем ризик-менеджменту.

У міру формування відповідних потреб власників компаній, а також зростання компетенцій фахівців механізм керування ризиками буде впроваджений у багатьох компаніях електроенергетичного сектора (вірніше, інтегрований в систему керування).

Визначення «інтегрований» щодо ризик-менеджменту означає формування набору елементів керування ризиками, як окремої підсистеми керування діяльністю компанії, яка існує поряд з такими загальноприйнятими процесами, як фінансово-економічне керування (бюджетування), стратегічне керування.

Мета впровадження інтегрованого ризик-менеджменту - оптимальне співвідношення між ризиком і прибутковістю в масштабі всієї компанії відповідно до толерантністю до ризику. Головним принципом побудови такої системи є комплексний облік ризику при прийнятті

рішень в рамках як планування діяльності, так і оцінки результатів діяльності щодо різних часових горизонтів, а також організаційних одиниць і конкретних керівників [22].

Реалізація системи ризик-менеджменту в масштабі компанії передбачає [25]:

- організація ризик-менеджменту (формування спеціальних функцій і процедур в керування компанією і забезпечення їх виконання);
- формування необхідного методологічного забезпечення діяльності з керування ризиками, в тому числі для оцінки схильності до ризику, декомпозиції ризику, а також оцінки ризиків, розробка сценаріїв і стрес-тестування;
- розробку інформаційно-аналітичних систем ризик-менеджменту і їх практичну реалізацію.

Система керування ризиками повинна базуватися на наступних принципах [26]:

- цілеспрямоване постійне усвідомлення і відстеження ризиків;
- оцінка ймовірності та наслідків виникнення тієї чи іншої негативної ситуацію;
- формування і постійне оновлення інструментарію керування ризиками;
- встановлення лімітів ризику (максимально точне визначення меж збитку);
- розробка рекомендацій щодо формування стратегії і ефективного розподілу ресурсів з урахуванням ступеня ризику;
- повнота і своєчасність відображення величин ризиків в системах управлінської інформації (інформаційних системах).

Контролінг-як невід’ємна складова функціонування. Контролінг - це особливий вид управлінської діяльності, який поєднує власне контроль і додатково аналіз, і дає початок новому етапу планово-управлінського циклу. Особливістю контролінгу є його спрямованість на перспективу, на пошук шляхів подальшого розвитку компанії і вдосконалення бізнес-процесів на базі аналізу ключових показників результативності [21].

Якщо розглядати енергетичні активи підприємства як центр відповідальності, зрозуміло, що саме його можна віднести до центру витрат. Оскільки у фокусі наукових інтересів автора лежить застосування методів контролінгу в керування енергетичним господарством підприємств, що не займаються виробничою діяльністю, то енергетичні господарства будемо вважати центрами довільних витрат, результати функціонування яких не пов’язані з результатами діяльності підприємства. Основною ціллю підприємства у цій сфері є мінімізація витрат на виробництво, передачу та споживання енергії, що є тактичною ціллю підприємства, спрямованою на реалізацію стратегічних цілей, підпорядкованих загальному вектору сталого розвитку підприємства [27].

На сучасних підприємствах все частіше застосовується енергетичний менеджмент як новий підхід в керування енергетичним господарством. Він представляє собою комплексний підхід до вирішення загальних енергетичних проблем організації, таких як мінімізація енергетичних витрат, досягнення надійного енергетичного постачання, зниження споживання енергоресурсів, оцінки найбільшої ефективності та застосування енергетичного досвіду у повсякденній роботі [28].

Взаємодію енергетичного менеджменту та контролінгу можна представити за допомогою схеми зображеної на рис. 5.



Рисунок 5 – Взаємозв'язок енергетичного менеджменту та контролінгу

Оскільки основною функцією енергоменеджерів підприємства є функція керування, їм необхідна підтримка з боку керівництва організації. Зазвичай, така підтримка може здійснюватися неофіційно, шляхом тимчасової підтримки необхідних заходів з підвищення енергоефективності менеджментом підприємства. Однак, якщо його увага у певний момент зосереджується на вирішенні інших проблем підприємства, заходи енергетичного менеджменту можуть залишитися без належної підтримки та просування.

У такому випадку саме служба контролінгу, створена на підприємстві, дозволить розширити повноваження енергоменеджера, оскільки за будь-яких умов вона зможе забезпечити зв'язок між енергоменеджером та керівництвом. Метою контролінгу в процесі керування енергетичним господарством підприємства стане удосконалення діяльності підприємства за рахунок отримання конкурентних переваг шляхом систематичного запровадження ефективних енергетичних програм, зниження витрат шляхом використання альтернативних джерел енергії та енергозберігаючих технологій, зниження підприємницьких ризиків тощо [27].

Програмне забезпечення керування бізнес-процесами. На основі результатів, отриманих у процесі керування ефективністю бізнес-процесів, підприємства можуть визначити ступінь ефективності удосконалення бізнес-процесів, які підтримуються інформаційними системами.

Платформа контролінгу бізнес-процесів повинна забезпечувати проведення моніторингу бізнес-процесів підприємства у відповідності з ходом їх виконання в різних інформаційних системах. У той же час, вона повинна дозволяти вести облік ручних операцій, які не підтримуються інформаційними системами. Керування продуктивністю процесами за допомогою платформи контролінгу бізнес-процесів повинно дозволяти проводити моніторинг ключових показників результативності та попереджувати про наявність відхилень від планових показників. Це буде сприяти своєчасному впровадженню контрзаходів, направлених на підвищення якості завдань, які формуються в рамках бізнес-процесів і які здійснюють прямий вплив на операційний результат. Таким чином, безперервний моніторинг реально здійснюваних процесів буде сприяти подоланню розриву між стратегічним та оперативним керування [28].

Програмні продукти, які належать до інструментів аналітичної та методичної підтримки в процесі планування, контролю, аналізу та прийняття управлінських рішень, зокрема, системи On-line Analytical Processing (OLAP) та Data Warehouse.

Програмні продукти з контролінгу бізнес процесів, пропонувані на ринку такими компаніями, як IDS Scheer AG (продукт ARIS PPM) і Hewlett-Packard (продукт HP Open View Business Process Insight), є інструментом для аналізу, оцінки та моніторингу працюючих

процесів компанії. Програми надають засоби попередження, що показують поточну продуктивність бізнес-процесів. Інтегрована система раннього попередження відстежує всі працюючі процеси і негайно видає повідомлення в разі відхилень від планових значень. Таким чином, менеджери процесів можуть реагувати на результати подій, що відбуваються протягом часу, близького до реального [29].

Аналізуючи структури розвитку енергетичних комплексів розвинених країн ЄС, слід виділити пріоритетні заходи (кроки) щодо запровадження та розвитку ефективних моделей бізнес-процесів в Україні, як невід'ємну частину концепції інтелектуальних мереж Smart Grid.

Висновки. Перехід до використання енергетикою України архітектурної моделі Smart Grid передбачає виконання ефективного керування у сфері бізнес-процесів, як однієї з головних її складових.

Визначено перспективність використання бізнес-процесів, які характеризуються тривалістю виконання і ступенем загальних змін в структурі функціонування енергетичних компаній. Відповідно до цього виділено короткострокові і довгострокові бізнес-процеси.

Аналіз показав, що однією з передумов впровадження в Україні нової моделі функціонування ринку електроенергії для забезпечення її ефективного функціонування є впровадження ефективних міжнародних стандартів, а саме стандартів серії ІЕС 62325. Приведено орієнтовний план впровадження заходів згідно концепції Smart Grid на період з 2020-2030 роки.

Відкривається перспектива щодо створення до 2030 року науково-аналітичного центру досліджень галузі енергетики України, як головного органу підтримання економічної та енергетичної стабільності держави у вирішенні питань ефективності бізнес-процесів, керування попитом та впровадження нових технологій.

Список використаної літератури

1. Форсайт та побудова стратегії соціально-економічного розвитку України на середньостроковому (до 2020 року) і довгостроковому (до 2030 року) часових горизонтах [Текст] / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки; Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; Інститут прикладного системного аналізу МОН України і НАН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку; Фондація «Аграрна наддержава». — Київ : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Вид-во «Політехніка». – 2016. – 184 с.

2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року (доопрацьована), схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.05.2016 № 418-р та доручення Кабінету Міністрів України від 22.07.2016 № 22882/59/1-15 – [Електронний ресурс]: режим доступу: zakon.rada.gov.ua.

3. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України: монографія / за заг. ред. А. К. Шидловського. – К. : Укр. енцикл. знання. – 2005. – 512 с.

4. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы [Текст] : [монография] / [Блинов И. В. и др.] ; под общ. ред. акад. НАН Украины А. В. Кириленко ; Нац. акад. наук Украины, Ин-т электродинамики. - Киев : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.

5. Денисюк С. П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах / С. П. Денисюк // Енергетика, – 2014. – №1. – С. 7-21.

6. Довгалюк О. М. Перспективи впровадження технологій SMART GRID в енергетиці України / О. М. Довгалюк, О. А. Тарадіна // Международная научная конференция MicroCAD : Секція №10 - Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології - НТУ "ХПИ". – 2014.
7. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк // Техн. Електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 52–67.
8. KennetM. WhatGreen Economics? An age of globaltransformation – An Age of Green Economics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.greeneconomics.org.uk.
9. Industry 4.0 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://industry40.ee>
10. Искусство разработки и реализации стратегии: новое видение: Монография / Под ред. С. С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во СИБПРИНТ. – 2008. – 219 с.
11. Остроухова Н. Г. Бизнес-процессы предприятий ТЭК: понятие, содержание, классификация / Н. Г. Остроухова // Сибирская финансовая школа. – Сибирская академия финансов и банковского дела. – 2012. – №1/90. – С. 118–122.
12. Остроухова Н. Г. Особенности реинжиниринга бизнес-процессов на предприятиях энергетики / Н. Г. Остроухова // Интернет-журнал “НАУКОВЕДЕНИЕ” – 2013. – №16.
13. Кириллов А. М. Методологические аспекты развития бизнес-процессов в нефтеперерабатывающей промышленности и оценка их эффективности: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05/ А. М. Кириллов; [Место защиты: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского]. – Нижний Новгород. – 2007. – 23 с.
14. Верников Г. Описание стандарта IDEF0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.insapov.ru/idef0-standard-description>.
15. ENTSO-E's Modelling Methodology (EMM). [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edilibrary/work%20products/general/Pages/default.aspx>;
16. ebIX UML Model for the European Energy Market. [Online] <http://www.ebix.org/dropbox/EEM2011.A.zip>;
17. Harmonised Electricity Role Model. [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edilibrary/work%20products/general/Pages/default.aspx>
18. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко // Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–53.
19. Коптелов А. Разработка системы контроллинга бизнес-процессов для энергетических компаний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://businessprocess.narod.ru/index24.htm>
20. Методология IDEF (Integrated DEFinition) моделирования бизнес-процессов
21. Чернов С. С. Методический подход к моделированию бизнес-процессов управляющей компании/ С. С. Чернов, А. Ю. Перминов, В. М. Кузичев// Проблемы современной экономики. – 2009. – №2. – 10 с.
22. Усков А. Е. Эффективность бизнес-процессов в электросетевой компании/ А. Е. Усков, Б. И. Шевченко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-biznes-protsessov-v-elektrosetevoy-kompanii>
23. Караєва Н. В. Сучасні ризики суб'єктів електроенергетичного ринку в умовах реформування енергетики України / Н. В. Караєва, І. І. Гусєва. // Ефективна економіка. – 2010. – № 1. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_1_8.

24. Гительман Л. Д. Эффективная энергокомпания: Экономика. Менеджмент. Реформирование./ Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников. //М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». – 2002. – 544 с.
25. Бюлер К. Обуздание риска / К. Бюлер, Г. Притч // Вестник McKinsey. – 2004. – № 1(6).
26. Свириденко О. Риск-менеджмент в электроэнергетике // Энергорынок. – 2007. – № 4 (41).
27. Пудичева Г. О. Контролінг в системі - енергетичним господарством підприємства [Текст] / Г. О. Пудичева // Вісник соціально-економічних досліджень. – 2013. – №3. – С. 83-89.
28. Фалько С. Особенности контроллинга / С. Фалько // Банковский менеджмент. – 2010. – № 9. – С. 13 –18.
29. Володькін К. С. Контролінг бізнес-процесів в системі управління підприємством / К. С. Володькін // Формування ринкової економіки : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана» ; редкол.: О. О. Беляєв (відп. ред.) [та ін.]. – Київ : КНЕУ. – 2010. – № 24. – С. 266–274.

УДК

Лосєва В.І., магістрант, **Денисюк С.П.**, д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ

У статті розглянуто особливості енергопостачання мегаполісу, приведено концепцію Smart City та Smart Grid. Описано основні елементи комплексного підходу визначення рівня енергоспоживання багатоповерхової будівлі з використанням кластерного аналізу. Зазначено основні метрики та показники кластерного аналізу, необхідні умови його проведення.

Вступ. Україна, яка споживає у загальному балансі більше 60–70 % імпортних енергоресурсів, є однією з енергозалежних країн Європи [1]. Цьому сприяє не тільки їх відсутність, а й неефективне використання, як у виробничій сфері, так і в житлово-комунальній. Для вирішення питань з підвищеної залежності від імпорту енергоресурсів та дефіциту енергетичних ресурсів діє Директива 2012/27 ЕУ європейського парламенту та ради від 25 жовтня 2012 р. «Про енергоефективність».

Для моніторингу та контролю використання енергоресурсів в світовій практиці використовують концепцію «розумного» міста (Smart City), що включає «розумне» енергопостачання (інтелектуальну мережеву систему Smart Grid), «розумну» середу, «розумний» транспорт, «розумний» будинок та «розумне» керування [8-9].

Аналіз стану питання. В Україні, як і в більшості європейських країн, понад 30 % кінцевої енергії споживається будинками. На сьогодні це найбільший сектор національної економіки з точки зору енергоспоживання, який потребує всебічної модернізації і автоматизації та цілковитого моніторингу і контролю.

На разі в Україні діє стандарт ДСТУ Б EN 15232:2011 «Енергоефективність будівель. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями» від 20.09.2011 [3]. Цей стандарт призначений для розробки залежностей і методів оцінки впливу технічних засобів автоматизованих систем управління технологічним процесом і технічного обслуговування будівель на енергетичну ефективність і споживання енергії в будівлях, встановлює методи оцінки факторів економії енергії, які можуть бути використані при енергетичній оцінці будівель для розрахунку енергетичної ефективності технічних систем будівлі, таких як системи опалення, охолодження, вентиляції та освітлення. Враховує, що при експлуатації будівель за допомогою автоматичного управління будівлями і менеджменту будівель енергоспоживання будівель може бути знижено. Цей стандарт можливо застосовувати як для існуючих, так і при будівництві нових або реконструйованих будівель.

Однією з головних складових «розумного» міста (Smart City) є інтелектуальна мережева система енергопостачання Smart Grid, яка має певні особливості, а саме:

- доступність - забезпечення споживачів електроенергією в залежності від того, коли і де вона їм необхідна, і в залежності від оплачуваної якості;
- надійність - можливість протистояння фізичним і інформаційним негативним впливам без тотальних відключень або високих витрат на відновлювальні роботи, максимально швидке відновлення (самовідновлення);
- економічність - оптимізація тарифів на електричну енергію для споживачів і зниження загальносистемних витрат;

- ефективність - максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів і технологій при виробництві, передачі розподілі та споживанні електроенергії;
- органічність з навколишнім середовищем - зниження негативних впливів на навколишнє середовище;
- безпека - недопущення ситуацій в електроенергетиці, небезпечних для людей і навколишнього середовища.

На стадії технологічного проектування Smart Grid повинні бути вирішені ключові завдання формування нового образу «розумного» міста - його зручність і привабливість для жителів (соціальну ефективність), забезпечення надійності і безпеки інфраструктурного життєзабезпечення (технологічну ефективність) і зниження витрат (економічну ефективність) [2].

Основною складовою великого міста – мегаполісу – є багатоповерхові будівлі. Тому доцільним та необхідним кроком є аналіз рівня енергетичного використання та споживання багатоповерхової будівлі. Розташування приміщень різного призначення в будівлі різних типів та конструкції вимагає проведення кластеризації, як поповерхово (враховуючи дві координати: x та y) (див рис.1 а), так і пошарово (враховуючи три координати: x , y та z) (див рис.1 б). На рис. 1 а кожний шар відображає наявність споживачів, які розташовані на одному поверсі.

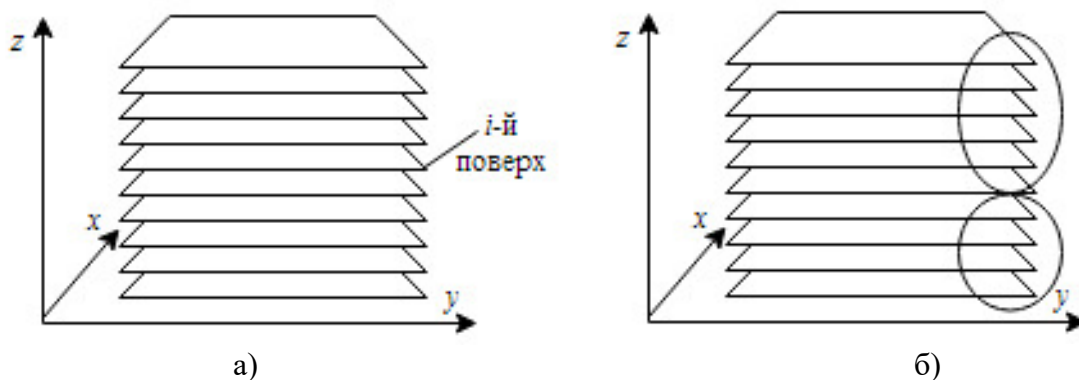


Рис. 1 – Кластеризація багатоповерхової будівлі: а) поповерхово; б) пошарово

Мета роботи. Метою даного дослідження є розробка основних елементів комплексного підходу з використанням кластеризації об'єктів до визначення рівня енергоспоживання багатоповерхової будівлі як основної складової мегаполісу.

Результати дослідження.

На сьогоднішній день в містах України є велика кількість різноманітних багатоповерхових будівель, які можна розділити за типами: житлові будинки, офісні будівлі, торгово-розважальні центри, суміщення житлової та офісної площі і т.д. Кожна будівля в залежності від призначення має свої особливості та певний набір характеристик, які показані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри та характеристики будівлі

Параметри будівлі	Характеристики будівлі
Кількість поверхів	від 7 до 28 поверхів
Тип системи енергопостачання	централізоване/децентралізоване
Технічне оснащення	ліфтові та насосні установки, сигналізації різних типів та ін.
Рівень автоматизації	наявність систем керування та системи енергетичного менеджменту і т.д.
Теплофізична конструкція будівлі	наявність утеплення, суміщення будинків та ін.
Конфігурація будівлі	наявність двоярусних квартир, підземного паркінгу, вертолїтного майданчику, парку на даху і т.д.
Рівень енергоспоживання	наявність в будівлі котелень, пралень, торговельних майданчиків, спортивних залів та ін.
Потенціал енергозбереження	визначається після проведення енергетичного аудиту будівлі
Розташування	в залежності від регіону, міста, частини міста

Така кількість різних характеристик будівель вимагає комплексного підходу, виникає необхідність у аналізі в тривимірному просторі. Доцільним кроком у аналізованні є проведення кластеризації багатоповерхової будівлі, враховуючи можливість проведення кластеризації як поповерхово (враховуючи дві координати: x та y), так і пошарово (враховуючи три координати: x , y та z). Кластеризація передбачає угруповання зон однакоого призначення та енергоспоживання.

Для проведення кластеризації (кластерного аналізу) необхідне виконання низки умов для вихідних даних [5]:

- об'єкти не повинні корелювати між собою;
- розподіл об'єктів має бути близьким до нормального;
- об'єкти повинні відповідати вимозі стійкості, під якою розуміється відсутність впливу на їх значення випадкових чинників;
- вибірка об'єктів повинна бути однорідною.

Для перевірки першої умови проведемо кореляційний аналіз [6], для цього розраховуємо коефіцієнт кореляції, за яким визначимо тісноту зв'язку між вибіркою факторів характеристик будівлі.

Коефіцієнт кореляції розраховуємо за наступною формулою:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \cdot \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}}, \quad (1.1)$$

де x – відповідно значення першого фактору; y – значення другого фактору.

Для визначення тісноти зв'язку між факторами скористаємося даними, наведеними у таблиці 2.

Таблиця 2 - Величина коефіцієнта кореляції і тіснота зв'язку за шкалою Чеддока

Коефіцієнт кореляції	Тіснота зв'язку
1,00	Зв'язок функціональний
0,90 – 0,99	Дуже сильний
0,70 – 0,89	Сильний
0,50 – 0,69	Значний
0,3 – 0,49	Помірний
0,10 – 0,29	Слабкий
0,00	Зв'язок відсутній

Для кластерного аналізу необхідно, щоб тіснота зв'язку між факторами варіювалась в межах від 0,00 – 0,15. Саме даний діапазон задовольнить вимозі першої умови, тому фактори, які мають кореляційний зв'язок більш ніж 0,15 необхідно виключити.

Кластерний аналіз доцільно проводити за методом К-середніх [4]. Перевагою даного методу є те, що кількість кластерів задається в якості початкової умови, тобто є змога уточнити кількість поверхів або кількість шарів.

В якості метрики визначення відстані між двома факторами x та y обрана відстань Евкліда, яка розраховується за наступною формулою:

$$\rho(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (1.2)$$

де x_i та y_i – значення i -го фактору; n – кількість факторів.

Після того, як розраховано відстань між факторами, розраховуємо центроїди кожного з кластерів за наступною формулою:

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.3)$$

де μ_i – центроїд i -го кластера; x_i – i -й фактор; n – кількість факторів, що входять до i -го кластера.

Таким чином, алгоритм К-середніх полягає в порівнянні Евклідової відстані кожних двох факторів з центроїдом кожного кластера та знаходженні найбільш схожої метрики на кожній ітерації.

Кластерний аналіз завершено, коли μ_i не змінюється [7]: $\mu_i^{\text{крок } t} = \mu_i^{\text{крок } t+1}$.

Результатом кластерного аналізу є однорідне групування параметрів, за якими можна визначити внутрішню структуру даних, адже основною метою даного аналізу – знаходження груп схожих параметрів [4]. Також отримуємо кількість об'єктів, що входять до кожного кластеру та середнє значенні на кластер, за яким в подальшому

формується діапазон – визначається найменше та найбільше значення. В якості результату можна отримати діапазон енергоспоживання (електро-, тепло-, газо-, водоспоживання) з мінімальним та максимальним значенням на задану кількість кластерів. Наведемо умови для проведення кластеризації 9-поверхової житлової будівлі, параметри якої представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри будівлі

Параметри будівлі	Характеристики будівлі
Кількість поверхів	9
Тип системи енергопостачання	централізоване; газопостачання відсутнє
Технічне оснащення	наявні 3 ліфтові установки на під'їзд
Рівень автоматизації	–
Теплофізична конструкція будівлі	будівля без утеплення, наявні металопластикові вікна
Конфігурація будівлі	9-поверхова будівля з підвальним приміщенням
Рівень енергоспоживання	Вказано на рис. 1
Розташування	м. Київ

Обрана вибірка даних з енергоспоживання будівлі містить в своєму складі 180 факторів (об'єктів) (див. рис. 1). Дані по енергоспоживання враховують використання як електричної, так і теплової енергії.

Дані були отримані після проведення енергетичного аудиту.

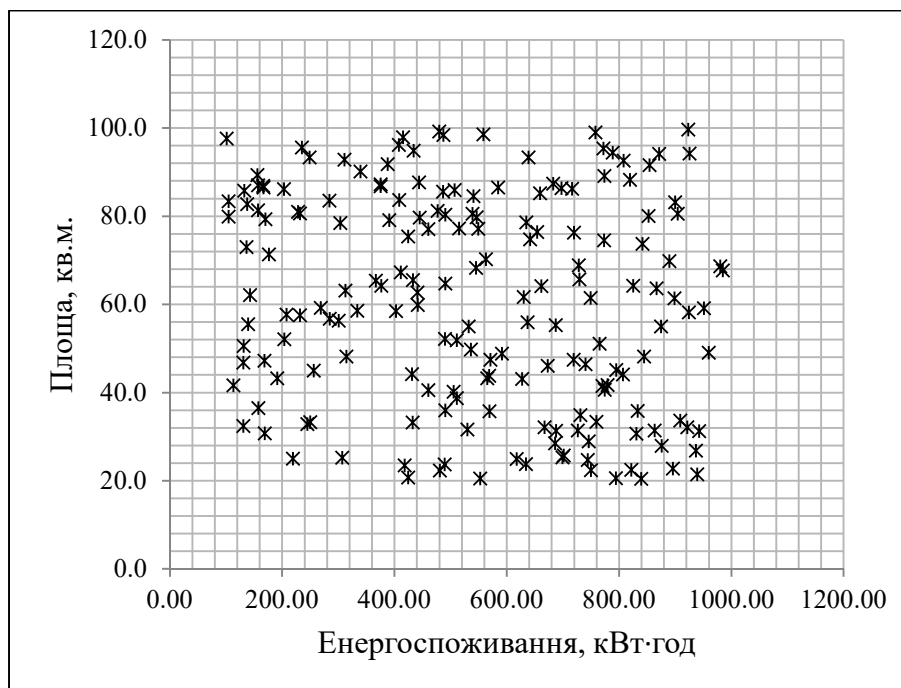


Рис. 2. – Діаграма вибірки даних

З діаграми вибірки даних чіткого розподілення на угруповання не спостерігається, але можна сказати, що вибірка є однорідною та розподіл є близьким до нормального, тобто для проведення кластерного аналізу виконуються наступні

вимоги [5]:

- розподіл об'єктів має бути близьким до нормального;
- вибірка об'єктів повинна бути однорідною.

Для перевірки, чи мають дані з вибірки кореляційний зв'язок, проведемо кореляційний аналіз, для цього розрахуємо коефіцієнт кореляції, за яким визначимо тісноту зв'язку між даними вибірки вихідних даних (див. рис. 1). Коефіцієнт кореляції розраховуємо за формулою 1.1.

Результати кореляційного аналізу представлені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати кореляційного аналізу.

	Енергоспоживання	Площа	Місяць
Енергоспоживання	1	0,0017823	0,097588
Площа	0,001782	1	0,0008553
Місяць	0,097588	0,0008553	1

За результатами проведення аналізу можна стверджувати, що кореляційний зв'язок повністю відсутній між площею квартир та місяцем енергоспоживання, також зв'язок відсутній між енергоспоживанням та площею квартир (це можна пояснити наступним чином: площа квартири є сталою величиною, а енергоспоживання залежить від технічного оснащення квартири, кількості проживаючих і т.д.), слабкий зв'язок наявний між енергоспоживанням та місяцем.

В результаті для проведення кластерного аналізу обрано наступні фактори: 1 - енергоспоживання квартир; 2 - площа квартир.

Кластерний аналіз проводимо поповерхово, тому в якості початкової умови задаємо кількість кластерів рівну кількості поверхів та розраховуємо Евклідову відстані за формулою 1.2.

Результати кластерного аналізу представлені у таблиці 5.

Таблиця 5 – Результати кластерного аналізу (евклідова відстані під діагоналлю; квадрати відстані над діагоналлю)

	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	Кластер 6	Кластер 7	Кластер 8	Кластер 9
Кластер 1	0	11153,39	47187,14	83327,01	122268,2	20081,6	181421,6	261664,8	71166,1
Кластер 2	105,61	0	12458,22	33508,97	59564,8	61166,8	102609,1	164772,8	138666,4
Кластер 3	217,23	111,62	0	5103,41	17541	128834,8	43559,9	86615,9	234251,9
Кластер 4	288,66	183,05	71,44	0	3721,5	185221,6	18843,6	49670	308506,9
Кластер 5	349,67	244,06	132,44	61	0	241452,6	5816,7	26199,7	379996,3
Кластер 6	141,71	247,32	358,94	430,37	491,4	0	322221,6	426724,3	15640
Кластер 7	425,94	320,33	208,71	137,27	76,3	567,6	0	7326,6	479841,4
Кластер 8	511,53	405,92	294,31	222,87	161,9	653,2	85,6	0	605753,3

Кластер 9	266,77	372,38	484	555,43	616,4	125,1	692,7	778,3	0
-----------	--------	--------	-----	--------	-------	-------	-------	-------	---

Кожний кластер має свої характеристики (таблиця 6). До основних характеристик кластеру можна віднести розмір кластеру або кількість об'єктів на кластер (кількість об'єктів у кластерах може бути неоднакова) та середнє значення на кластер. За середніми значеннями можна визначити діапазон – мінімальне та максимальне значення – кластерів.

Таблиця 6 – Характеристика кластерів

	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4	Кластер 5	Кластер 6	Кластер 7	Кластер 8	Кластер 9
Кількість об'єктів	24	30	14	15	17	20	17	17	27
Середнє значення	471,30	522,91	634,53	705,97	766,97	275,59	843,24	928,84	250,53

Висновки.

Кластеризація є необхідним кроком при визначення рівня енергоспоживання багатоповерхової будівлі.

Поверховий (двовимірний) кластерний аналіз надає можливість оцінити рівень енергоспоживання відносно кожного приміщення у будівлі, пошаровий (тривимірний) аналіз надає можливість оцінити рівень енергоспоживання відносно зон однакового призначення та місця розташування приміщень відносно один одного та будівлі.

В результаті проведеної кластеризації отримуємо можливий діапазон енергоспоживання від 250,53 до 928,84 кВт·год на кожен квартиру. Можна припустити, що нижній рівень споживання можливий в літній період року, а вищий – в зимовий. Тобто даний діапазон дає можливість розрахувати необхідне енергозабезпечення для 9-поверхової будівлі протягом року.

Література

1. Офіційний сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України [Електронний ресурс]. URL <http://minregion.gov.ua>
2. Энергоэффективный мегаполис – Smart City «Новая Москва»/под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского – М.: ИД «Энергия», 2015. — 76 стр.
3. ДСТУ Б EN 15232:2011 Енергоефективність будівель. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями (EN 15232:2007, IDT)
4. Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
5. Олдендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ / Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ.; Под. ред. И. С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.
6. Макарова Н.В. Статистика в Excel : учеб. пособие / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
7. Теория вероятностей [Електронний ресурс]. URL <http://statistica.ru/theory/klasterizatsiya-metod-k-srednikh/>

8. US Department of Energy. Smart Grid system report, August 2014 [Електронний ресурс]. URL <https://energy.gov/oe/downloads/2014-smart-grid-system-report-august-2014>
9. Smart Grids European Technology Platform. National and Regional Smart Grids initiatives in Europe, May 2016 [Електронний ресурс]. URL http://www.smartgrids.eu/ETP_Documents

УДК 621.3.048.2

Побігайло В.А. к.т.н. доцент

Панасюк В.В. магістр

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОБМЕЖЕННЯ КОМУТАЦІЙНИХ ПЕРЕНАПРУГ

В статті представлено огляд сучасних методів та засобів обмеження комутаційних перенапруг.

Ключові слова: ізоляція, електроустаткування, перенапряга, перенавантаження, трансформатор, засоби захисту.

Стан ізоляції електроустаткування, що визначає надійність роботи і безпеку його обслуговування, багато в чому залежить від перенапружень, що впливають на неї. Разом з атмосферними перенапруженнями і перенапруженнями, обумовленими однофазними замиканнями на землю в мережах з ізольованою нейтраллю, істотний вплив на ізоляцію електроустаткування роблять комутаційні перенапруження, особливо в установках з частими комутаціями, обладнаних вакуумними вимикачами.

Ця проблема найбільш актуальна для елементів промислових мережі. Головними причинами перенапружень на ізоляції окремого приєднання при комутації навантаження являються зріз струму і повторні запалення дуги. Зріз струму характерний для вимикачів будь-якого типу (маломасляних, електромагнітних, повітряних, вакуумних, елегазових), що застосовується нині.

У вакуумних вимикачах причиною зрізу струму є нестійкість дуги при малих струмах, оскільки вона горить в парах металу контактів. Окрім величини струму, на перенапруження при зрізі, впливають індуктивність навантаження (чи потужність) і ємність приєднання (довжина повітряної або кабельної лінії). Аналіз результатів вимірів показав, що із зростанням номінальної потужності електродвигунів, що відключаються, середні і максимальні КП зменшуються. Це пояснюється, в основному, зниженням хвильового опору обмоток.

Перенапруження, що поширюються на мережу, нижче перенапружень на навантаженні, що обумовлено шунтуючою дією ємності живлячої мережі. Параметри кабелю, двигуна і вимикача є визначальними, параметри зовнішньої мережі (до вимикача) на формування КП впливають трохи. Збільшення ємності системи кабель - електродвигун і активно-індуктивного опору кабелю призводить до зменшення амплітуди, крутизни і числа імпульсів КП при повторних запаленнях дуги у вимикачі.

Прийнято вважати, що при значній довжині приєднання перенапружень із-за зрізу струму у вимикачі взагалі не виникає. Наявність навіть невеликого активного

навантаження на вторинній стороні силового трансформатора, що відключається, також виключає виникнення перенапружень унаслідок зрізу.

Першим досвідченим засобом обмеження КП стали вентильні розрядники, але, маючи великі габарити, вентильні розрядники (РВМГ, РВМК, РВМКГ, РВРД) не змогли забезпечити надійне обмеження комутаційних перенапружень. Останніми роками, як в Україні, так і за кордоном в електричні мережі активно впроваджують нелінійні обмежувачі перенапружень (ОПН).

ОПН є нелінійним резистором на основі ZnO з високим коефіцієнтом нелінійності, завдяки чому при номінальній фазній напрузі він пропускає досить малий по величині струм 1 мА. При збільшенні напруги опір ОПН різко зменшується, а струм, що протікає через нього, росте. За даними каталогів продукції ряду найбільших фірм, працюючих в області виробництва електротехнічних продуктів, рівень обмеження перенапружень нелійними обмежувачами типу ОПН КР/TEL і ОПН РТ/TEL складає (2,8 - 3,6) Уф.

Поширеним засобом захисту двигунів і трансформаторів від КП, являється під'єднання RC-ланцюжків між комутаційним апаратом (КА) і навантаженням. RC-ланцюжок складається з конденсаторів 0,1 - 0,5 мкФ і резисторів 25 - 100 Ом з'єднаних послідовно. Конденсатори зменшують хвильовий опір ланцюга навантаження, знижуючи тим самим перенапруження, викликані зрізом струму, а резистори сприяють загасанню високочастотного струму, регулюють дію на інші фази і разом з конденсаторами зменшують вірогідність повторного запалення дуги у КА. Рівень обмеження перенапружень RC-ланцюжками складає (1,8 - 2,4) Уф. Таким чином, для глибокого обмеження перенапружень, найбільш ефективним способом захисту є застосування RC-ланцюжків, але при цьому слід чітко визначити, в яких випадках необхідно глибоке обмеження перенапружень. Так, наприклад, електродвигун з індивідуальною компенсацією не вимагає ніяких заходів захисту

Висновки

Визначальними чинниками при вибиранні засобів захисту від комутаційних перенапружень являються допустимий рівень перенапружень для кожного типу устаткування і умови електробезпеки.

Список використаної літератури

1. Александров, Г. Теория применения ОПН для ограничения перенапряжений [Текст] / Г. Александров // Новости электротехники. — 2001.-№6.
2. Бикфорд, Дж. П. Основы теории перенапряжений в электрических сетях / Дж. П. Бикфорд и др. // - М.: Энергоиздат, 1981. — 168 с.
3. Гандулин, Ф.А. Перенапряжения в сетях 6 - 35 кВ / Ф.А. Гандулин, В.Г. Гольдштейн, А. А. Дульзон, Ф.Х. Халило // - М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 192 с.

Побигайло В.А. к.т.н. доцент

Панасюк В.В. магистр

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОГРАНИЧЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

В статье представлен обзор современных методов и средств ограничения коммутационных перенапряжений.

Ключевые слова: изоляция, электрооборудования, перенапряжение, перегрузка, трансформатор, средства защиты.

Pobihaylo V.A Ph.D. docent

Panasyuk V.V. master

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

REVIEW OF METHODS AND LIMITATIONSSWITCHING OVERVOLTAGE

This article provides an overview of modern methods and means of limiting switching surges.

Keywords: insulation, electrical equipment, overvoltage, overload, transformer, means of protection.

Referens:

1. Aleksandrov, G. Theory of the use of arrester for limiting overvoltages [Text] / G. Aleksandrov // News of electrical engineering. - 2001.-№6.
2. Bickford, JG. P. Fundamentals of the theory of overvoltages in electric networks / JP Bickford et al. // М.: Energoizdat, 1981. - 168 p.
3. Gandulin, F.A. Overvoltages in the networks of 6 - 35 kV / FA. Gandulin, V.G. Goldstein, A. A. Dulzon, F.Kh. Khalilo in the // - М.: Energoatomizdat. - 1989. - 192 p.

УДК 621.3.048.2

Федосенко М.М. к.т.н., доцент

Сухін А.М. магістр

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

В статті розглянуто проблему оцінювання точності визначення показників надійності елементів розподільних електричних мереж та можливого впливу використовуваних математичних моделей на прийняття рішень з вибору оптимальних точок розмикання схеми, виходячи з мінімуму втрат або недоотпуску електричної енергії споживачам.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, системи електропостачання, математичні моделі, показники надійності, оптимізація, вихідні дані, похибка, достовірність,.

Для експлуатаційних організацій становлять інтерес задачі і методи здійснення оптимізації режимів розподільних електричних мереж без додаткових капіталовкладень. До таких задач відноситься проблема визначення оптимальних точок розмикання (ТР) з використанням методу дискретного покоординатного спуску.

Відомо, що в міських розподільних мережах напругою 6-10кВ найчастіше використовують розімкнені резервовані петльові схеми (рисунок 1). У процесі оптимізації відшукують такі місця ТР, при яких в мережі будуть мати місце найменші втрати потужності ΔP_c або найменший очікуваний недоотпуск електроенергії ΔW_n , який для ланцюга від джерела живлення (ДЖ) визначається за формулою:

$$\Delta W_n = (\sum_{j=1}^k P_j)(\sum_{i=1}^n \omega_i) \tau_B \quad (1)$$

де P_j – навантаження j -го трансформаторного пункту (ТП); ω_i – параметр потоку відмов i -ї лінії; τ_B – час включення резервного живлення; j, i – відповідно, число трансформаторних пунктів та ліній.

ДЖ 1

ДЖ 2

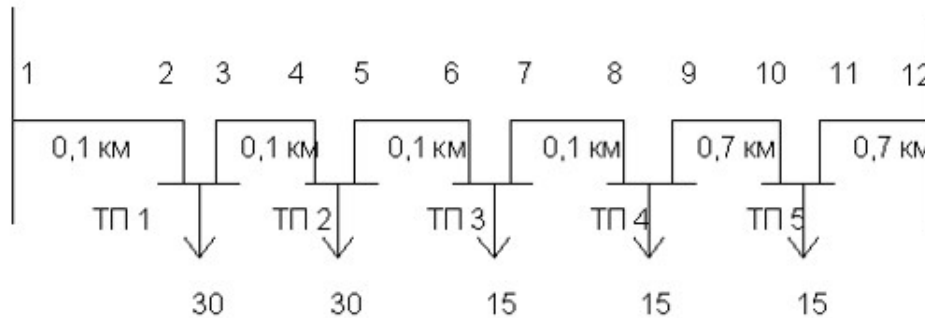


Рисунок 1 - Умовне зображення ділянки міської мережі 6-10кВ

Застосовувані в наш час методи та програми чисельної оцінки та оптимізації надійності міських розподільних мереж потребують використання показників, що визначаються для умов конкретного об'єкта, з урахуванням вибірки наявних статистичних даних обмеженого об'єму. Цим об'ємом визначається точність вихідних показників.

Задача даної роботи – дослідити вплив похибок визначення вихідних показників надійності і навантажень на точність знаходження величини очікуваного недоотпуску електроенергії ΔW_H , яка є цільовою функцією, та вплив прийнятих розрахункових моделей на стійкість оптимального варіанту конфігурації схеми розподільної мережі.

Для вирішення першої частини задачі – виявлення впливу точності ω_i і τ_B на розрахункову величину ΔW_H , відповідно до [1] числа дослідів, при яких величина похибки δ_{ω} , δ_{τ} не перебільшить заданої з довірчою вірогідністю 0,95. Необхідне число спостережень виявлено для експоненціального закону розподілу.

Значення розрахункових навантажень ТП приймаються на основі одиничних вимірів в мережі. При цьому в розрахунок вноситься помилка визначення середньорічного навантаження через випадковий характер останнього. Закон розподілу навантаження прийнятий нормальним з коефіцієнтом варіації γ_p , рівним 0,25. Закон розподілу помилки визначення середніх значень ω_i і τ_B прийнятий нормальним.

Моделювання значень вихідних показників надійності та навантажень в межах довірчого інтервалу здійснювалось як для кожного з показників окремо при постійному рівні останніх, так і для сумісного урахування факторів. Результати розрахунків приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Коефіцієнти варіацій оцінок ΔW_H для допустимих рівнів помилок $\delta_{\omega\tau}$ і різної кількості дослідів.

Варіант	Змінні параметри	Коефіцієнти варіації оцінки ΔW_H				
		M=20	M=40	M=100	M=400	M=1000
		$\delta_{\omega\tau} = 0.5$	$\delta_{\omega\tau} = 0.3$	$\delta_{\omega\tau} = 0.2$	$\delta_{\omega\tau} = 0.1$	$\delta_{\omega\tau} = 0.05$
1	ω	0.28	0.21	0.12	0.07	0.04
2	τ_B	0.22	0.16	0.1	0.06	0.04
3	ω, τ_B	0.36	0.26	0.16	0.09	0.06

4	ω, P	0.28	0.21	0.13	0.08	0.05
5	τ_B, P	0.22	0.17	0.11	0.07	0.05
6	ω, τ_B, P	0.36	0.26	0.17	0.1	0.07

На рисунку 2 наведено криві залежності можливої похибки розрахунку $\delta(\Delta W_H)$ від об'єму статистичних даних показників надійності для кожного з варіантів моделювання. Номер кривої відповідає номеру варіанту згідно таблиці 1.

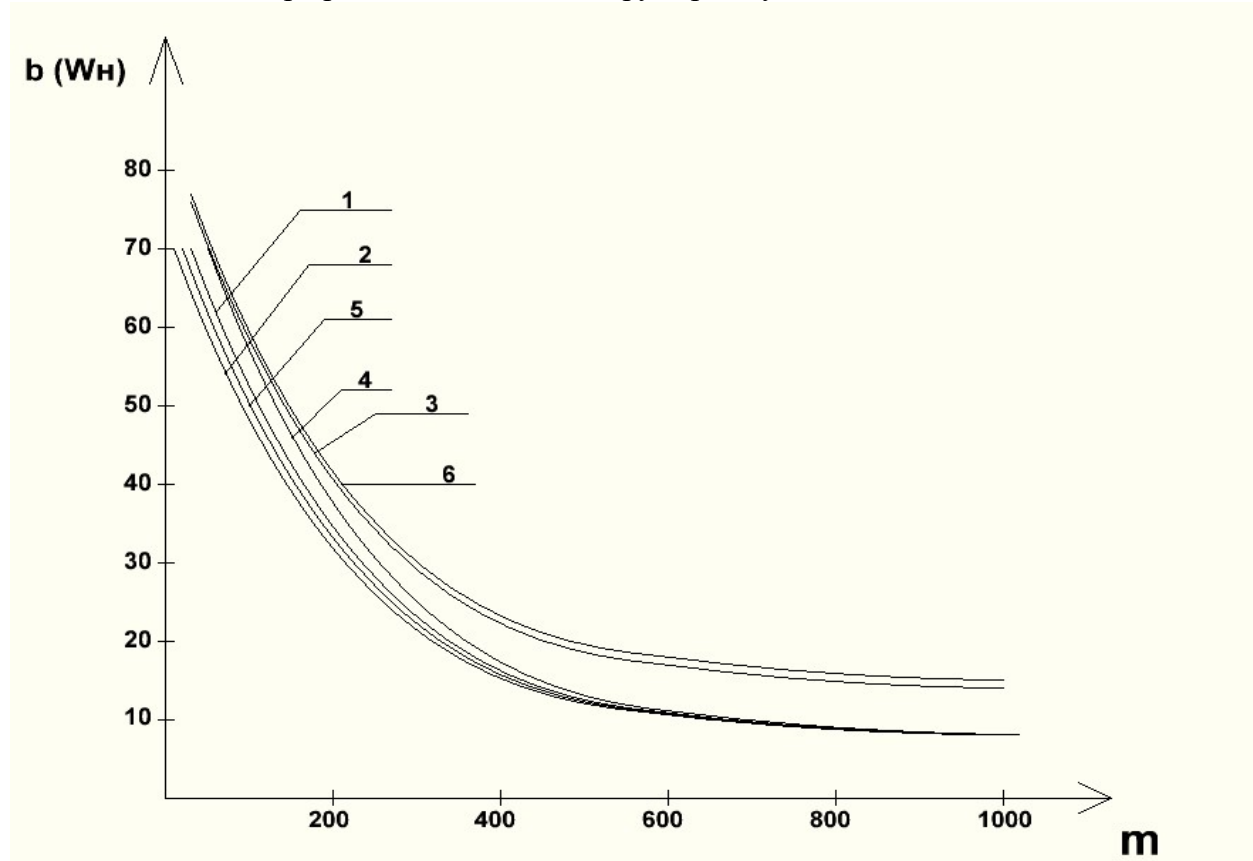


Рисунок 2 - Криві залежності можливої похибки розрахунку $\delta(\Delta W_H)$

Отримані залежності можуть бути використані при визначенні об'єму інформації, необхідної для оцінки ΔW_H з заданою точністю, чи при вирішенні зворотної задачі – за існуючим обсягом статистичних даних оцінити можливу похибку розрахунку. Так, при числі дослідів $m=100$ можлива помилка 35% і більше, при $m=1000$ похибка з вірогідністю 0,95 не буде перевищувати 15%. Число спостережень $m=400$ можна рахувати граничним, оскільки подальше збільшення об'єму інформації не призводить до відчутного збільшення точності розрахунку. Практично, для отримання результатів розрахунку з похибкою 15%-20% достатньо для розподільної мережі, складом 500-2000 ТП, опрацювати статистику пошкоджень кабельних ліній, отриману протягом одного-трьох років спостережень. Зручно для ліній необхідний об'єм спостережень визначати в кілометро-годинах, відповідно до підходу, описаному в (1).

Друга задача полягає в оцінюванні можливого впливу використовуваних математичних моделей на прийняття рішень з вибору оптимальних точок розмикання схеми, виходячи з мінімуму втрат або недоотпуску електричної енергії споживачам, стійкості оптимального варіанту конфігурації схеми, отриманого за середніми значеннями показників надійності, або за допомогою рівнянь регресії для ряду факторів.

При перенесенні ТР відбуваються змінення значень обох критеріїв. При цьому можливі ситуації, в яких місця оптимальних ТР за обома критеріями співпадають, а в загальному випадку – ні. В такому разі необхідно використовувати метод послідовних поступок, за яким, якщо, при вирішенні задачі спільної оптимізації, покращення одного з критеріїв супроводжується погіршенням іншого показника, важливим пунктом є вибір поступки Δ , що враховує відносну значущість критеріїв, здебільшого за економічними показниками, або за ступенем важливості.

Значний вплив на прийняття рішень має достовірність моделі та точність завдання вихідних показників, що визначають цільову функцію. Так, при розрахунку очікуваного недоотпуску можливо або використання середніх значень ω_i і τ_B , або урахування залежності одного або обох враховуваних показників надійності від індивідуальних чинників. Дослідження підтверджують залежність часу включення резервного живлення від числа ТП в напівланцюзі, а параметру потоку відмов лінії від її довжини.

Проведені розрахунки свідчать, що урахування обраних типів моделей ω_i і τ_B впливає не тільки на кількісну оцінку ΔW_n , а й на положення точок розмикання, на вірогідність прийнятого рішення. Таким чином, розрахунок за середніми вихідними показниками надійності може призвести до неповної і навіть фіктивної оптимізації за умови мінімуму ΔW_n .

Наведемо приклад покрокового розрахунку ΔP_c і ΔW_n ділянки мережі, представленої на рисунку 1, для наступних варіантів розрахункових моделей (таблиця 2):

- 1 - середні значення вихідних показників надійності;
- 2 – врахування наявної залежності ω_i та середнє значення τ_B ;
- 3 – врахування наявної залежності τ_B та середнє значення ω_i ;
- 4 – врахування наявності залежностей ω_i і τ_B .

Таблиця 2 - Варіанти розглянутих моделей показників надійності

Вари- ант	ω		τ_B	τ_B
	вар.складова ω' 1/км-год	пост.складова ω'' 1/год	вар.складова τ_B' год./ТП	пост.складова τ_B'' год.
1	0	0,04	0	1,0
2	0,10	0,01	0	1,0
3	0	0,04	0,1	0,3
4	0,10	0,01	0,1	0,3

Критерієм, що характеризує відхилення від оптимального варіанту, викликане моделями вихідних показників надійності, прийнято змінення конфігурації схеми і відносне змінення цільової функції в результаті оптимізації:

$$\delta(\Delta W_n) = \frac{\Delta W_{н.исх} - \Delta W_{н.опт}}{\Delta W_{н.исх}}$$

Де $\Delta W_{н.исх}$, $\Delta W_{н.опт}$ – величини очікуваного недоотпуску в вихідному та оптимальному стані, знайдених по (1).

Варіанти прийнятих вихідних показників надійності навантажень, для яких виконується оптимізація схеми, а також показників впливу цих змінень, наведені в таблиці 3

Таблиця 3 - Результати оптимізації схеми для розглянутих варіантів змінень вихідних показників надійності і навантажень

Варіант	τ'_b , год/ТП	τ''_b , год	ω' , 1/км*год	ω'' , 1/год	γ_p	Зміни схеми	$\delta(\Delta W_n)$
1	0,15	1,88	0,062	0,051	-	0	0,532
2	0	1,88	0,062	0,051	-	1	0,289
3	0,06	1,88	0,062	0,051	-	0	0,432
4	0,3	1,88	0,062	0,051	-	0	0,568
5	0,3	0	0,062	0,051	-	0	0,618
6	0,3	1,88	0,031	0,051	-	1	0,585
7	0,3	1,88	0,124	0,102	-	0	0,588
8	0,3	1,88	0	0,051	-	1	0,608
9	0,3	1,88	0,062	0,051	0,25	1	0,618
10	0,3	1,88	0,062	0,051	0,12	1	0,594

В табл. 3 конфігурація оптимальної схеми варіанту 1 прийнята в якості вихідної. Випадки зміни схеми у відповідній графі таблиці розглянутих варіантів позначені одиницею, τ''_b – свободний член рівняння регресії τ_b на число ТП, τ'_b – коефіцієнт при змінній цього рівняння, ω'' і ω' – те саме, у відповідності для рівняння регресії ω на довжину ділянки лінії.

Висновок. У наведеному прикладі, при визначенні оцінки ΔW_n доцільно застосовувати середні значення вихідних показників надійності, оскільки йдеться про очікуваний недоотпуск електроенергії, реальне значення якого може суттєво відрізнитись від розрахункового. Але можливий вплив спрощення моделей на прийняття рішень щодо вибору ТР зменшує ефективність самих рішень. Тому при оптимізації необхідно враховувати зазначені залежності ω_i і τ_b від впливових факторів.

Список використаної літератури

1. В.В. Зорин, И.В. Недин, Н.Н. Федосенко, О выборе схем распределительных сетей – М.: Энергоиздат, 1987- 5с.
2. Фурман И.Я. Анализ надежности с учетом неравномерности “Методические исследования надежности систем энергопотребления” – Выпуск 3, 1975- 132с
3. Гарбер Г.Е. Методы расчета надежности и резервов предприятий. “Научно-экономический обзор” – М.: Энергоиздат, 1972 – 15с

УДК

Федосенко Н.Н. к.т.н., доцент

Сухин А.М. магистр

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрено проблему оценивания точности определения показателей надежности элементов распределительных электрических сетей и возможного влияния используемых математических моделей на принятие решений по выбору оптимальных точек размыкания схем, исходя из минимума потерь и недоотпуска электрической энергии потребителям.

Ключевые слова: распределительные электрические сети, математические модели, показатели надежности, исходные данные, погрешность, достоверность,

системы электроснабжения.

Fedosenko M.M. Ph.D., docent

Suhin A.M. master

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

INFLUENCE THE ACCURACY AND RELIABILITY SOURCE DATA THE VALUES OF INDICATORS OF RELIABILITY ON A CHOICE OF OPTIMAL SCHEMES OF DISTRIBUTION NETWORKS

In the article the problem of estimation accuracy performance reliability of electric distribution networks and the possible impact of the mathematical models used to make decisions on choosing the best breaking points scheme, based on a minimum loss electricity consumers.

Key words: Electric distribution network, electricity, mathematical models, reliability, optimization, raw data, error, reliability.

Referens:

1. V.V. Zorin, I.V. Nedin, N.N. Fedosenko, On the choice of schemes for distribution networks - М.: Energoizdat, 1987-5с.
2. Furman And, I am. Analysis of reliability taking into account the unevenness "Methodological studies of the reliability of energy consumption systems" - Issue 3, 1975-132с
3. G.Garber Methods for calculating the reliability and reserves of enterprises. "Scientific and economic review" - М.: Energoizdat, 1972 - 15с

УДК 621.3.048.2

Яременко А.Г., студент-магістрант,

Притискач І.В., к.т.н., ст.викладач

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ДЕФЕКТІВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

В статті представлена функціональна структура системи аналізу дефектів силового трансформатора з використання штучної нейронної мережі топології багатошаровий перцептрон для визначення його технічного стану.

Ключові слова: силовий трансформатор, діагностування стану, нейронна мережа, діагностичний параметр, обробка даних.

This article shows the functional structure of the defects analysis of power transformer using artificial neural network multilayer perceptron topology to determine its technical condition.

Вступ. У даний час в електроенергетиці найбільш часто застосовується стратегія управління технічним станом електрообладнання на основі планово-попереджувальних ремонтів. Така стратегія забезпечує підтримання необхідного рівня надійності електрообладнання, але має серйозний недолік – при плануванні

технічного огляду фактичний стан електрообладнання практично не враховується. У сучасному світі стає очевидним, що для підвищення ефективності функціонування підприємства актуальним є перехід до більш прогресивної стратегії забезпечення експлуатаційної надійності на основі виконання ремонтних заходів, які проводяться за фактичним станом електрообладнання. В основу такої стратегії закладена достовірна і оперативна інформація про технічний стан електрообладнання. Сучасний рівень розвитку засобів вимірювання дає змогу отримувати інформацію про значення більшості параметрів електрообладнання безпосередньо в процесі його експлуатації під навантаженням.

Аналіз стану питання. Проблема вдосконалення систем ідентифікації технічного стану силових трансформаторів є досить значущою в нинішній економічній ситуації. Дослідженню проблем, пов'язаних з розробкою подібних систем присвячена велика кількість робіт.

Вдосконалення автоматизованих систем ідентифікації технічного стану силових трансформаторів приділено увагу в роботі Танфільєва Д.В. [1]. В даній роботі розроблено моделі та адаптивні алгоритми достовірної ідентифікації дефектів, що розвиваються, і їх видів в силових маслonaповнених трансформаторах за статистикою хроматографічного аналізу розчинених газів, засновані на теорії розпізнавання образів і штучних нейронних мереж.

В науковій роботі Нусса С.В. [2] розроблено теоретичні основи створення нейромережевої моделі автоматизованої системи ідентифікації технічного стану технологічного обладнання, в тому числі і силових трансформаторів.

Описані вище автоматизовані системи ідентифікації технічного стану є локальними, вони створені для оцінки технічного стану окремих вузлів і елементів певного виду обладнання або націлені на виявлення тільки певних видів дефектів. Ці автоматизовані системи досить «жорсткі», розширення їх бази знань, з метою виконати контроль і оцінку технічного стану інших вузлів або інших видів обладнання, неможливо. Необхідна розробка нових підходів до ідентифікації технічного стану обладнання.

Метою роботи є розробка функціональної структури системи умовного виявлення аномалій для діагностування дефектів силового трансформатора на основі штучної нейронної мережі, з метою підвищення надійності роботи і продовження терміну експлуатації силового трансформатора.

Матеріали і результати досліджень

Проаналізувавши стан питання, представимо функціональну структуру системи аналізу дефектів силового трансформатора на основі штучної мережі. В основу системи закладено принцип модульності. Функціональна структура буде складатися з наступних модулів (рис.1):

- модуль реєстрації параметрів;
- модуль попередньої обробки даних;
- модуль нейронних структур.

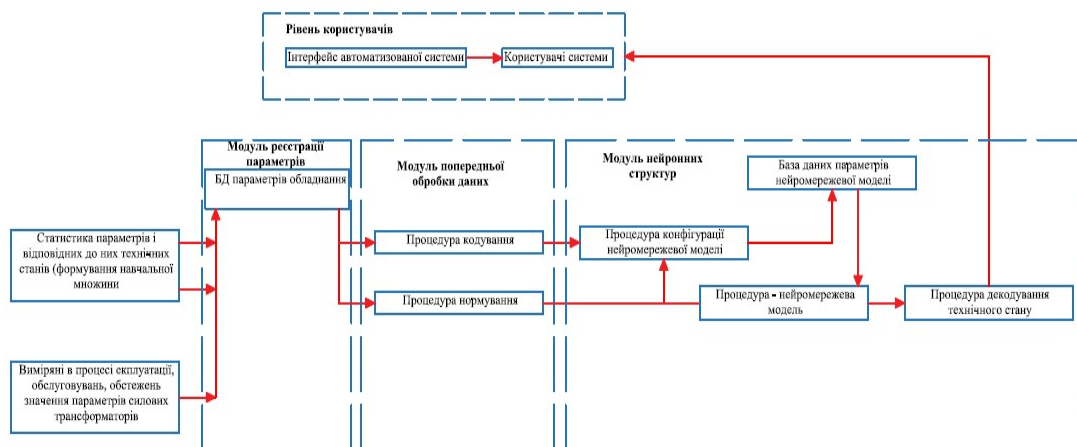


Рисунок 1 - Функціональна структура системи аналізу дефектів силового трансформатора

Для роботи системи діагностування дефектів силового трансформатора необхідні дані, на основі яких виконується аналіз технічного стану силового трансформатора. Перелік параметрів, які характеризують технічний стан регламентується в нормативно-технічній документації для кожного конкретного виду електрообладнання [3]. Сучасні засоби вимірювання в поєднанні з мікропроцесорної технікою дозволяє проводити вимірювання параметрів трансформатора в режимі реального часу під час його експлуатації. За допомогою засобів вимірювання виконується збір даних, що є першим етапом роботи системи діагностування. Обробка первинних даних здійснюється за допомогою модуля реєстрації параметрів.

Основою модуля реєстрації параметрів є база даних вимірних параметрів та паспортних характеристик трансформаторів. Ця база даних містить інформацію про структуру вузлів і систем трансформатора, параметри процесу функціонування та можливий технічний стану обладнання. Зважаючи на вимоги до структури такої бази даних вибрано реляційну модель організації даних (рис.2). Перелік таблиць включає:

- List_and_Specifications - таблиця для зберігання переліку встановлених на підприємстві силових трансформаторів, яка містить основні паспортні характеристики;
- Lis_of_systems_and_components - таблиця, яка містить перелік систем і вузлів одиниць контрольованих трансформаторів;
- Registered_data - таблиця даних, що забезпечує зберігання зареєстрованих технічних параметрів вузла або системи;
- Values_set - таблиця даних, що містить еталонну множину значень технічних параметрів з відповідними їм технічними станами, що використовуються в якості вхідних даних в алгоритмі навчання нейромережевої моделі.

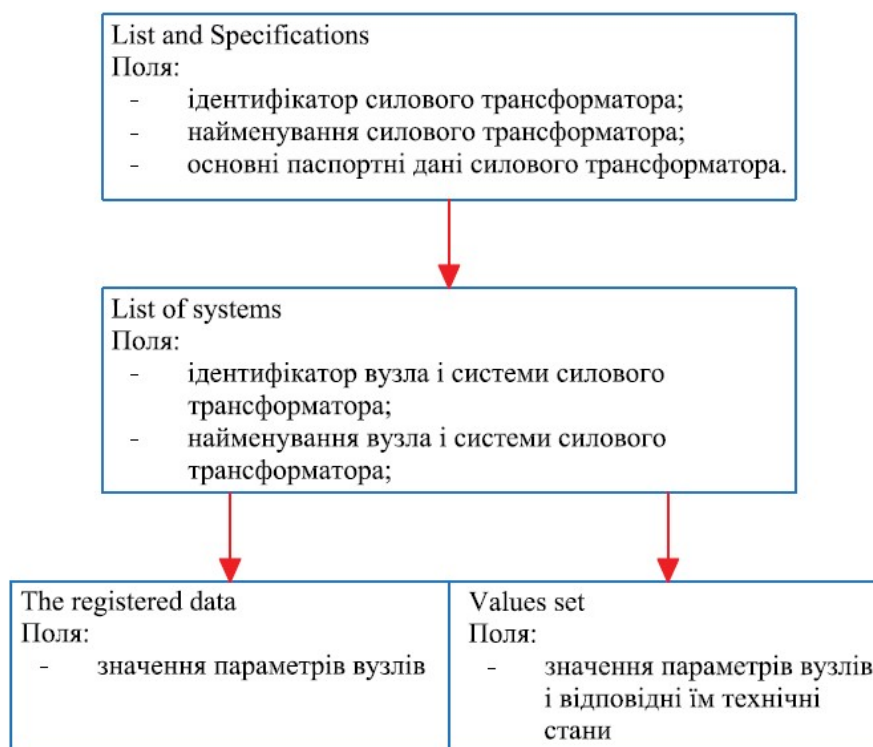


Рисунок 2 - Структура взаємозв'язку таблиць даних баз даних параметрів силових трансформаторів

Після формування бази даних інформація надходить на модуль попередньої обробки даних, який виконує процедури кодування і нормування інформації для нейромережевої моделі.

Застосування лінійного нормування параметрів силових трансформаторів доцільно, коли значення змінної x , щільно заповнюють певний інтервал. Спосіб нормування передбачає два етапи.

Перший етап - розрахунок середнього значення та дисперсії для значень діагностичних параметрів силового трансформатора:

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P x_i},$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{P-1} \sum_{i=1}^P (x_i - \bar{X}_i)^2.$$

де x_i – значення параметра силового трансформатора;

p – кількість виміряних параметрів;

\bar{X} – середнє значення для діагностичних параметрів;

σ^2 - середньоквадратичне відхилення.

Другий етап - масштабування за допомогою вирахування середнього значення і діленням результату на значення середньоквадратичного відхилення:

$$\tilde{X}_i = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma^2}.$$

де \bar{X} - середнє значення для діагностичних параметрів;

σ^2 - середньоквадратичне відхилення;

x_i - значення параметра силового трансформатора.

Вищевказаний вираз не приводить гарантовано нормовану величину до інтервалу $[0; 1]$, більш того, максимальний розкид значень заздалегідь не відомий. Але, оскільки вимог до інтервалу вхідних значень нейромережевої моделі не пред'являється, цей недолік є не суттєвим. Отже, застосування даного способу є доцільним при нормуванні значень вхідних параметрів силових трансформаторів в автоматизованій системі ідентифікації технічного стану технологічного обладнання. Дання моделі ідентифікації стану силового трансформатора обрана нейромережева модель топології багатошаровий перцептрон (рис.3).

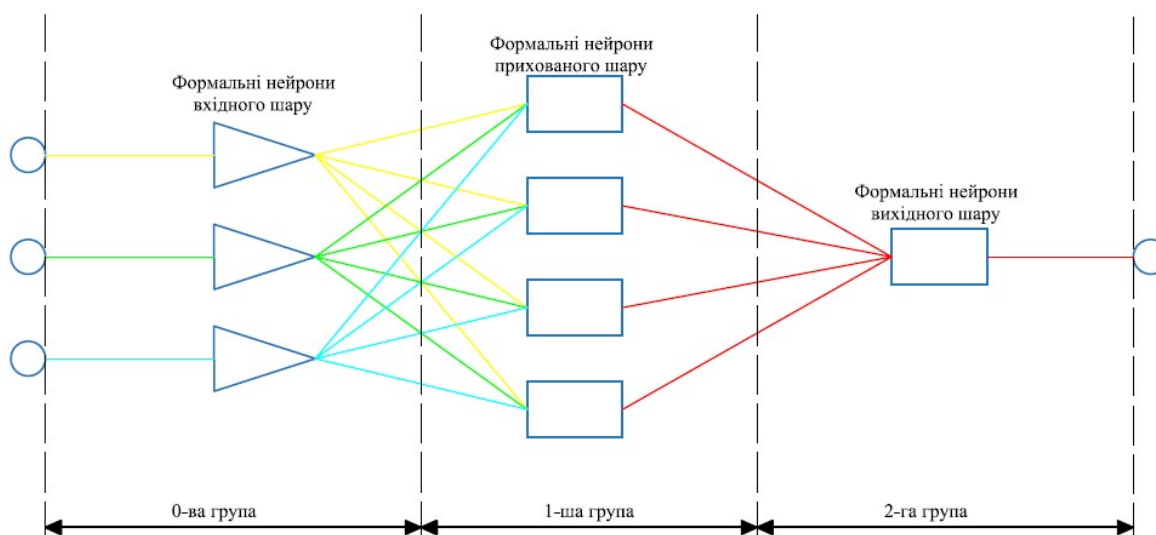


Рисунок 3 – Нейронна структура – багатошаровий перцептрон

Одна група нейронів в мережі відповідає за сприймання вхідних сигналів – вхідний шар. Формальні нейрони вхідного шару мають один вхід з одиничним ваговим коефіцієнтом і не мають функції активації (тобто вихід цих нейронів дорівнює входу). Вони призначені тільки для сприймання вхідного сигналу і передачі його в мережу. Друга група нейронів забезпечує кінцеву обробку та видачу результату перетворення вхідного сигналу в нейронній мережі – вихідний шар. Інші групи нейронів забезпечують проміжну обробку вхідного сигналу – приховані шари.

Математична модель багатошарового перцептрона описується наступним виразом:

$$S_{j,l} = \sum_{i=1}^{n(i)} w_{i,j,l} \cdot Y_{j,(l-1)} \pm w_{0,j,l},$$

$$Y_{j,l} = f(S_{j,l}),$$

де $n(i)$ – число входів нейронів;

$Y_{j,l}$ – вхідний сигнал нейрона j в шарі l ;

$w_{i,j,l}$ – i -ий ваговий коефіцієнт синапсу нейрону j в шарі l ;

$w_{0,j,l}$ – величина зміщення j нейрону шару l ;

$S_{j,l}$ – результат сумування в адаптивному суматорі нейрону j в шарі l .

Рішення задачі ідентифікації технічного стану силових трансформаторів на базі багатошарового перцептрона зводиться до визначення оптимальних значень

вагових коефіцієнтів нейронів мережі.

Як метод діагностування силового трансформатора прийнято тепловізійне обстеження (ТВО). Для оцінки технічного стану силового трансформатора вибрано такі параметри:

- ΔT - перевищення температури, яке визначається як різниця між виміряною температурою нагріву і температурою навколишнього повітря;

- δT - надлишкова температура, яка визначається як перевищення встановленої температури контрольованого вузла над температурою аналогічних вузлів інших фаз, що знаходяться в однакових умовах;

- $k_D = \frac{\Delta T_{KC}}{\Delta T_{III}}$ - коефіцієнт дефектності, що є відношенням виміряного перевищення

температури контактного з'єднання до перевищення температури, виміряного на цілому ділянці шини (проводу), що розташовується на відстані від контактного з'єднання на відстані не менше одного метра.

В якості ознак виберемо такі величини:

- середнє значення виміряних температур вузлів силового трансформатора, при ТВО визначається за наступною формулою:

$$M(T) = \sqrt{\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P T_i};$$

- максимальне значення температури вузлів силового трансформатора T_{max} , серед множини значень виміряних за певний проміжок часу;

- дисперсія відхилення значень температури вузлів силового трансформатора від центру розподілу значень $D(T)$, визначається наступним чином:

$$D(T) = \frac{1}{P-1} \sum_{i=1}^P (T_i - M(T))^2.$$

- коефіцієнт кореляції діагностичного параметру з навантаженням $r_{T,S}$, що визначається за формулою:

$$r_{T,S} = \frac{\sum_i T_i \cdot S_i}{\sum T_i}.$$

Після збору даних і їх обробки результуючі дані представляють набір даних $N \times D$, можна записати вектор даних, який ми отримуємо на вході:

$X_i = \{\Delta T_i, \delta T_i, i \in A; \Delta T_j, k_{Dj}, j \in B\}$, де N – кількість вимірів за добу, D – кількість точок вимірів. В нашому випадку їх дві – A і B . Для A – це точки, для яких задані параметри ΔT та δT , B – точки для яких задані параметри ΔT і k_D . Отже D можна визначити як $D=(A+B)$. Сумарний об'єм даних буде дорівнювати $2 \times N \times D$. На виході отримуємо набір даних X який визначається як $X = [X_1, X_2, \dots, X_N]$.

В результаті на вхід нейронної мережі подаються вектори X_1 і X_2 для двох точок вимірів A і B . На виході отримуємо результат – вектор ознак Y , який містить остаточний висновок про технічний стан силового трансформатора.

Для роботи нейронної мережі зручно використовувати таблиці баз даних. Покладемо в основу бази даних параметрів нейромережевої моделі таблиці наступного призначення:

- Tab_id зберігає загальний опис мережі, унікальний ідентифікатор мережі, ключ приналежності до певного типу електротехнічного обладнання з довідника типів

обладнання;

- Tab_layer використовується для опису шарів нейронної мережі;
- Tab_n_neur визначає кількість нейронів в шарі і зберігає значення вагових коефіцієнтів зміщення $m > 0$ для кожного нейрона.
- Tab_w зберігає значення вагових коефіцієнтів кожного з нейронів.

Ієрархію нейромережевої моделі топології багатошаровий перцептрон опишемо через відповідні зв'язки між таблицями даних в базі даних (рис. 4).

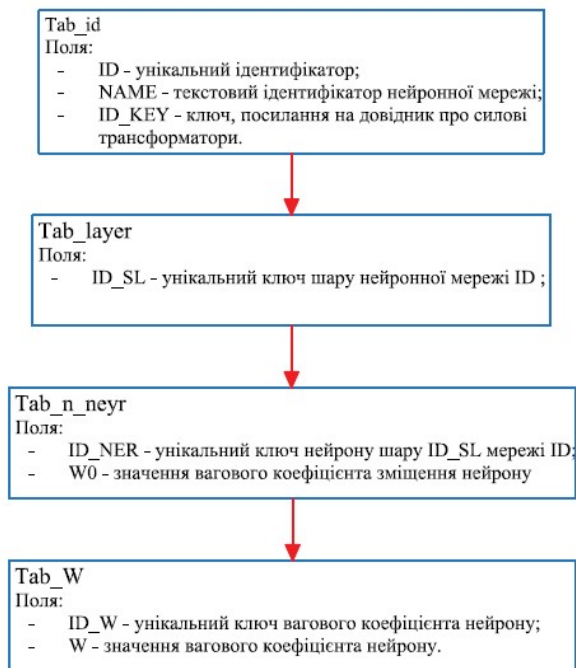


Рисунок 4 - Взаємозв'язок таблиць даних в нейромережевій моделі

Описана вище структура бази даних дозволяє сформувати багатошаровий перцептрон будь-якої конфігурації і в подальшому забезпечує зберігання його параметрів, що визначають правила класифікації технічних станів силових трансформаторів. З урахуванням запропонованих структур баз даних параметрів нейромережевої моделі, може бути реалізована відповідна структура програмної частини автоматизованої системи ідентифікації технічного стану силових трансформаторів.

Висновок: У даній статті запропонована функціональна структура системи аналізу дефектів силового трансформатора на основі штучної нейронної мережі. За наявності достатнього обсягу даних для навчання, запропонована система діагностування дасть змогу достовірно оцінювати технічний стан силових трансформаторів. Перевагою запропонованої структури є модульність, що дасть змогу в подальшому застосовувати її для діагностування інших видів обладнання.

Список використаної літератури:

1. Танфильева Д.В., Разработка моделей диагностирования и оценки состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. Новосибирск, 2012 г – 192с

2. Нусс С.В., Идентификация технического состояния технологического оборудования на основе нейросетевой модели, Пермь, 2009 г – 148с
3. Цареградцев В.Г. Редукция размеров нейросети не приводит к повышению обобщающих способностей: Материалы XII Всероссийского семинара «Информатика и ее приложения», Краеоярск:КГТУ, 2004. - 196с.
4. Диагностирование электрооборудования электрических систем.: Учеб. Пособие/ В.М. Кутин, В.И. Брейтбурд. - К.: УМК ВО, 2001. - 104с.
5. Роберт Каллан. Основные концепции нейронных сетей.- М.: Вильяме, 2009.-384 с.

Яременко А. Г., студент-магистрант,
Прытыскач И.В., к.т.н., ст.преподаватель
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье представлена функциональная структура системы анализа дефектов силового трансформатора с использованием искусственной нейронной сети топологии многослойный персептрон для определения его технического состояния.

Ключевые слова: силовой трансформатор, диагностирования состояния, нейронная сеть, диагностический параметр, обработка данных.

Yaremenko A., master students,
Prytyskach I., Ph.D., senior lecturer
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE POWER TRANSFORMERS DEFECTS ANALYSIS SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The paper presents the functional structure of the system for analyzing defects in a power transformer using an artificial neural network of the topology of a multilayer perceptron to determine its technical state.

Keywords: power transformer, state diagnostics, neural network, diagnostic parameter, data processing.

УДК 621.316.1

ПОПОВ В.А., Д.Т.Н. ПРОФ.

РОМАНЮК Р.А., МАГИСТР

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Аннотация

При решении задач планирования режимов в существующих системах электроснабжения неизбежно сталкиваются с необходимостью учета неопределенности информации. Более того, значимость данного фактора усиливается в предположении появления в структуре электрических сетей источников распределенной генерации, особенно, если они ориентированы на использование возобновляемой энергии. При этом очевидно, что эффективность и характер воздействия на режимы электрических сетей внедряемых источников генерации во многом зависят от их параметров и мест локализации. В этих условиях практический интерес представляет сравнительная оценка различных вариантов внедрения средств распределенной генерации с точки зрения их влияния на такие показатели режима электрической сети как потери и качество электроэнергии, надежность электроснабжения. Так как указанные показатели имеют различную физическую природу, то невозможно их представить единой комплексной характеристикой, например, экономического характера. В связи с этим в статье для выбора оптимального варианта применения распределенной генерации осуществлена модификация одного из методов многокритериального сравнения альтернатив для условий, когда ряд режимных характеристик представлены нечеткими количественными и качественными величинами в виде нечетких множеств.

Ключевые слова: распределенная генерация, неопределенность информации, многокритериальное сравнение альтернатив.

Введение

Широкое применение распределенной генерации является сегодня общепринятой тенденцией развития современной электроэнергетики. Вместе с тем реализация подобных проектов часто сталкивается со значительными организационными и техническими сложностями, отсутствием необходимого правового и нормативного обеспечения, что в ряде случаев может спровоцировать определенный конфликт интересов между потенциальными инвесторами и энергокомпаниями. Помимо этого внедрение распределенной генерации требует значительных инвестиций, где помимо средств на приобретение и монтаж самого генерирующего оборудования необходимо учитывать и затраты, связанные с выполнением выдаваемых энергокомпаниями технических условий на подключение данных устройств к электрическим сетям энергосистемы, которые во многих случаях бывают необоснованно усложненными. Это объясняется тем, что энергокомпаниями опасаются возможности негативного влияния подключаемого оборудования на режимы находящихся под их оперативным контролем электрических сетей, усложнения управления их работой. В связи с этим при определении точечных решений относительно применения распределенной генерации, интерес представляет выбор из

ряда альтернативных вариантов того, который помимо интересов инвестора будет учитывать характер и степень влияния подключаемых генерирующих источников на технико-экономические показатели работы существующих электрических сетей.

Традиционно в качестве основных показателей, характеризующих эффективность работы электрических сетей, рассматриваются: величина потерь электрической энергии, надежность электроснабжения и качество электрической энергии. Все перечисленные показатели имеют различную физическую природу и единицы измерения. Более того, при этом отсутствует нормативный показатель, характеризующий качество электрической энергии в плане соблюдения нормируемых уровней отклонения напряжения, а согласно стандартам IEEE надежность электроснабжения отражается рядом показателей. Все это делает невозможным использование единого критерия экономического характера достаточно адекватно отражающего последствия применения распределенной генерации на режимы электрических сетей для возможности технико-экономического сравнения различных вариантов их применения. Указанные обстоятельства требуют применения в данном случае методов многокритериального сравнения альтернатив.

Помимо этого опыт эксплуатации отечественных энергосистем показывает, что в настоящее время объективная оценка указанных выше показателей режима невозможна без учета объективно существующей неопределенности информации, особенно когда речь идет о распределительных электрических сетях [1]. В значительной мере это связано с отсутствием необходимых данных для достоверной оценки электрических нагрузок как отдельных потребителей, так и узлов сети в целом, которые лежат в основе определения указанных показателей режима. Дополнительно неопределенность информации усиливается вследствие появления в структуре распределительных сетей альтернативных источников энергии, функционирование которых зависит от многих труднопрогнозируемых внешних факторов. Таким образом, корректный учет неопределенности информации, особенно в современных системах электроснабжения с интегрированными в них разнообразными по своей природе источниками распределенной генерации, является принципиальным условием для возможности адекватного определения широкого спектра показателей, отражающих различные технико-экономические характеристики работы данных систем.

Цель и задачи

Учитывая приведенные соображения, основной целью данных исследований является постановка и решение двух взаимосвязанных задач. Первая из них заключается в разработке общей методики моделирования нагрузок узлов распределительной сети и определения на их основе таких показателей режима как потери электрической энергии, ожидаемая величина недоотпущенной электроэнергии, а также оценки режима напряжений в условиях применения распределенной генерации. Вторая задача связана с адаптацией одного из методов многокритериального сравнения альтернатив к условиям, когда оценочные характеристики альтернативных вариантов внедрения средств распределенной генерации заданы нечеткими величинами количественного и качественного характера.

Материал и результаты исследований

В ряде проведенных исследований было показано, каким образом неопределенность информации может быть эффективно учтена, в частности, при моделировании режимов электрических сетей, в том числе в условиях наличия в их структуре альтернативных источников энергии. Для данной цели предлагается использовать математический аппарат теории нечетких множеств. В этом случае, как, например, показано в работах [2, 3], значения нагрузок могут быть представлены

нечеткими числами, в частности, L - R типа [4]. Очевидно, что при этом и все вычисляемые на их основе интегральные показатели (например, такие, как потери мощности и электрической энергии) также будут описываться аналогичными нечеткими числами.

В исследованиях представленных в [5] продемонстрировано, каким образом вопросы надежности электроснабжения могут быть учтены при использовании средств распределенной генерации. Говорить о повышении надежности электроснабжения в указанных условиях целесообразно только в том случае, если имеется техническая возможность задействовать в послеаварийном режиме генерирующие источники для электроснабжения определенной выделенной нагрузки. Очевидно, что реализация подобных проектов чаще всего требует применения достаточно дорогостоящих автоматических коммутационных аппаратов типа реклоузеров. Более того, количество и размещение указанных аппаратов должно быть тщательно согласовано с существующей стратегией секционирования распределительной сети. В этих условиях эффект от внедрения распределенной генерации может быть оценен определенным удельным показателем, отражающим степень изменения некоторой интегральной характеристики надежности (например, ожидаемой величины недоотпущенной электроэнергии) на единицу вложенных средств. В условиях существующего информационного обеспечения указанная характеристика (которая определяется на основании значения средних значений нагрузок узлов сети), скорее всего, будет иметь нечеткий характер и, следовательно, также может быть представлена нечетким множеством, в частности, L - R типа (рис.).

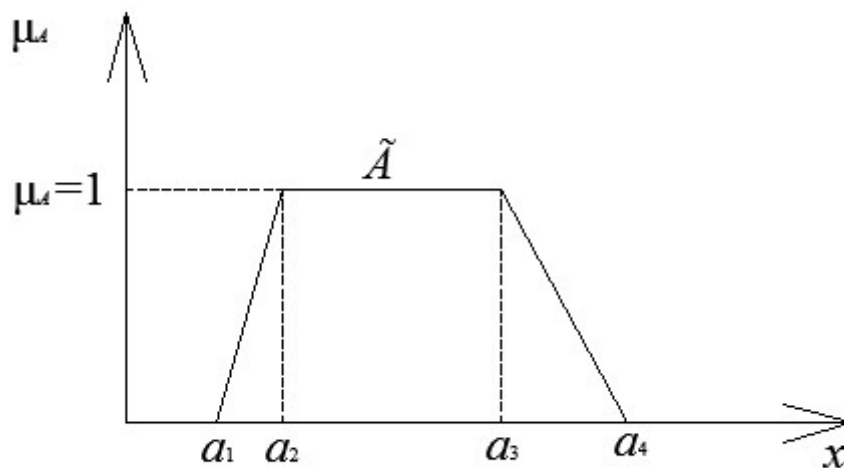


Рисунок Характеристики трапециевидальной функции принадлежности

Для оценки качества электрической энергии, в частности, допустимости отклонений напряжения не существует объективной количественной оценки. С другой стороны, появление в структуре систем электроснабжения источников распределенной генерации, может принципиально различно повлиять на режим напряжений, в зависимости от параметров интегрируемых источников, их режимов работы и точек подключения в электрические сети. Подключение генерирующих источников может разгрузить распределительные сети и, тем самым, снизив в них потери напряжения, обеспечит допустимые уровни их отклонений на зажимах электроприемников, даже, если в исходном режиме данные требования и не соблюдались. В отдельных случаях для достижения положительного эффекта необходимо изменить параметры работы

средств централизованного регулирования напряжения. И, наконец, возможны ситуации, когда распределенная генерация, даже при корректировке режимов работы средств регулирования напряжения, приводит к появлению недопустимых отклонений напряжения у некоторых групп потребителей, в частности по причине нарушения однородности графиков нагрузок отдельных распределительных линий, что не позволяет выбрать приемлемый закон регулирования напряжения. В связи с этим для оценки влияния распределенной генерации на режим напряжений могут быть использованы определенные лингвистические оценки, задаваемые экспертным путем и описываемые соответствующими функциями принадлежности, формируемыми, например, по аналогии с [6].

Таким образом, на стадии сравнения альтернативных вариантов применения распределенной генерации складывается ситуация при которой любая альтернатива будет характеризоваться тремя оценочными характеристиками (целевыми функциями) и при этом каждая них будет представлена нечеткими величинами с трапециевидальными функциями принадлежности. В этих условиях возникает необходимость в разработке метода многокритериального сравнения альтернатив при нечетком задании исходных данных. Ниже рассмотрена процедура адаптации метода VIKOR [7] к указанным условиям.

Первоначально исходные данные представляются в форме, так называемой, матрицы решений, где строки соответствуют рассматриваемым альтернативам, а столбцы отражают критерии (частные целевые функции C_1, \dots, C_n), значения которых заносятся в соответствующие ячейки.

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1n} \\ A_2 & \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{matrix} \quad (1)$$

При этом все оценки альтернатив будут характеризоваться нечеткими величинами (рис), которые описываются следующим образом

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } x \in (a_1, a_2) \\ \mu_A, & \text{если } x \in (a_2, a_3) \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } x \in (a_3, a_4) \\ 0, & \text{если } x \in (-\infty, a_1) \cup (a_4, \infty). \end{cases} \quad (2)$$

Проводим нормализацию значений рассматриваемых критериев, учитывая правила выполнения арифметических операций с нечеткими числами [8], что осуществляется следующим образом

- для критериев предполагающих максимизацию

$$\tilde{V}_{ij} = \left(\frac{a_{ij1}}{m_i}, \frac{a_{ij2}}{m_i}, \frac{a_{ij3}}{m_i}, \frac{a_{ij4}}{m_i}, \mu_{ij} \right), \quad (3)$$

где $m_i = \max_i a_{ij4}$;

- для критериев требующих минимизации

$$\tilde{V}_{ij} = \left(\frac{n_i}{a_{ij4}}, \frac{n_i}{a_{ij3}}, \frac{n_i}{a_{ij2}}, \frac{n_i}{a_{ij1}}, \mu_{ij} \right), \quad (4)$$

где $n_i = \min_i a_{ij1}$.

Определяем наилучшее (\tilde{V}_i^+) и наихудшее (\tilde{V}_i^-) значения для всех рассматриваемых целевых функций (критериев) $i = 1, \dots, m$, учитывая их характер (т.е. принимая во внимание подлежит ли данный критерий максимизации или минимизации).

Для всех элементов нормализованной матрицы решений, элементы которой определены в соответствии с (1), (2) находим детерминированные аналоги, представляемые центрами тяжести соответствующих нечетких множеств, на основе следующих выражений

$$y_a = \frac{\mu_a \left(\frac{a_3 - a_2}{a_4 - a_1} \right) + 2}{6}, \quad (5)$$

$$x_a = \frac{y_a (a_2 + a_3) + (a_1 + a_4)(\mu_a - y_a)}{2\mu_a}. \quad (6)$$

Вычисляем расстояния между всеми элементами матрицы решений относительно наилучшего и наихудшего решений. При этом исходим из того, что расстояние между двумя нечеткими числами \tilde{A} и \tilde{B} находится в соответствии с формулой

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\frac{(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2}{2}}. \quad (7)$$

Определяем показатели S_j и R_j [7], характеризующие, соответственно, групповую полезность и индивидуальные потери и которые при рассматриваемой форме представления исходной информации могут быть вычислены следующим образом

$$S_j = \sum_{i=1}^n [d(\tilde{V}_i^+, \tilde{V}_{ij}) / d(\tilde{V}_i^+, \tilde{V}_i^-)], \quad (8)$$

$$R_j = \max_i [d(\tilde{V}_i^+, \tilde{V}_{ij}) / d(\tilde{V}_i^+, \tilde{V}_i^-)] \quad (9)$$

Вычисляем характеристику $Q_j, j = 1, \dots, m$ на основе выражения

$$Q_j = \begin{cases} \frac{R_j - R^+}{R^- - R^+} & \text{если } S^+ = S^- \\ \frac{S_j - S^+}{S^- - S^+} & \text{если } R^+ = R^- \\ \eta \frac{(S_j - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1 - \eta) \frac{(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (10)$$

где $S^+ = \min_j S_j$, $S^- = \max_j S_j$, $R^+ = \min_j R_j$, $R^- = \max_j R_j$, η - показатель, определяющий относительный вес стратегии выбора компромиссного решения согласно идеологии характеристик S или R . При отсутствии конкретных соображений принимается $\eta = 0,5$.

Ранжируем альтернативы, основываясь на вычисленных значениях Q_j , полагая, что лучшей альтернативе соответствует наименьшая величина данного показателя. Полученные результаты позволяют в дальнейшем проверить (и при необходимости скорректировать) ранжирование альтернатив согласно условиям наличия необходимой стабильности решения и приемлемого различия между альтернативами [7] в соответствии со стандартным алгоритмом метода VIKOR.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, для получения объективных и достоверных результатов при моделировании режимов распределительных сетей и принятия решений с использованием полученных при этом характеристик необходим учет неопределенности исходной информации, связанной с отсутствием необходимой информационной базы, появлением в структуре сетей альтернативных источников энергии с труднопрогнозируемыми выходными характеристиками. Во-вторых, эффективным математическим аппаратом для учета неопределенности количественной информации и возможности использования лингвистических оценок при определении параметров режимов распределительных сетей служит теория нечетких множеств. В третьих, показано, что проведенная в работе модификация метода VIKOR позволяет осуществить ранжирование альтернативных вариантов применения распределенной генерации при нечетком задании показателей, характеризующих влияние интегрируемых в электрические сети генерирующих источников на потери электрической энергии, надежность электроснабжения и качество электрической энергии (в плане допустимости отклонений напряжения), соблюдая при этом правила выполнения арифметических операций над нечеткими множествами и выполняя присущее данному методу требования оценки оптимальности альтернатив на основе вычисляемого расстояния до идеального решения.

Список использованной литературы

1. Праховник А.В. Совершенствование информационного обеспечения задач моделирования и управления режимами СЭС в условиях реформирования электроэнергетики. Требования и общие принципы организации баз данных для решения задач моделирования и оптимизации режимов в современных системах электроснабжения [Текст]/ Праховник А.В., Попов В.А., Ткаченко В.В., Луцько О.С. // Энергетика: економіка, технології, екологія N 1, 2010, стор. 42 – 47.
2. Попов В.А. Совершенствование информационного обеспечения задач

моделирования и управления режимами СЭС в условиях реформирования электроэнергетики. Принципы учета неопределенности исходной информации при моделировании нагрузок в распределительных сетях [Текст]/ Попов В.А., Ярмолюк Е.С., Саид Банузаде Сахрагард, Журавлев А.А. // Энергетика: економіка, технології, екологія N 1, 2011, стор. 61 – 65.

3. Попов В.А. Евристичний алгоритм моделювання режимів інтегрованих систем електропостачання у врахуванням невизначеності вихідної інформації, Праці Інституту електродинаміки НАН України Збірник наукових праць [Текст]/ Попов В.А., Ярмолюк О.С. Спеціальний випуск, 2012, стор. 40 – 47.

4. Dubois, D. “Fundamentals of Fuzzy sets” [Text] Dubois, D., and Prade, H., Kluwer Academic Publishers, (2000) Boston.

5. Попов В.А. Особенности анализа надежности воздушных распределительных сетей с источниками распределенной генерации [Текст]/ Попов В.А., Ткаченко В.В., Саид Сахрагард, Журавлев А.А.// Восточно-Европейский журнал передовых технологий N 3/8 (75), 2015, стор. 26-32.

6. Wei Shih-Hua., Fuzzy risk analysis based on interval-valued fuzzy numbers, Expert Systems with Applications [Text]/ Wei Shih-Hua, Chen Shyi-Ming, (2009) 362, pp.285–2299.

7. Opricovic S. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS [Text]/ Opricovic S., Tzeng G.H. // European Journal of Operational Research, 156; 2004, p. 445-55.

8. Kauffmann A. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications [Text]/ Kauffmann A., Gupta M.M., New York: Van Nostrand Reinhold, (1991).

ВРАХУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІЙ ОЦІНЦІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

При вирішенні задач планування режимів в існуючих системах електропостачання неминуче стикаються з необхідністю врахування невизначеності інформації. Більш того, значимість даного чинника посилюється в припущенні появи в структурі електричних мереж джерел розосередженої генерації, особливо, якщо вони орієнтовані на використання відновлюваної енергії. При цьому очевидно, що ефективність і характер впливу на режими електричних мереж зазначених джерел генерації багато в чому залежать від їх параметрів і місць локалізації. У цих умовах практичний інтерес представляє порівняльна оцінка різних варіантів впровадження засобів розосередженої генерації з точки зору їх впливу на такі показники режиму електричної мережі як втрати і якість електроенергії, надійність електропостачання. Оскільки вказані показники мають різну фізичну природу, то неможливо їх представити єдиною комплексною характеристикою, наприклад, економічного характеру. У зв'язку з цим в статті для вибору оптимального варіанту застосування розосередженої генерації здійснена модифікація одного з методів багатокритеріального порівняння альтернатив для умов, коли ряд режимних характеристик представлені нечіткими кількісними і якісними величинами у вигляді нечітких множин.

Ключові слова: розосереджена генерація, невизначеність інформації, багатокритеріальне порівняння альтернатив.

POPOV V.A., Ph.D. PROF.

ROMANIUK R.A., MASTER

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

TAKING INTO ACCOUNT OF THE INFORMATION UNCERTAINTY IN THE MULTICRITERIA EVALUATION OF ALTERNATIVES OF DISTRIBUTED GENERATION INTEGRATION

In solving problems of planning modes of operation in the existing distribution systems one will inevitably face the necessity of accounting information uncertainty. Moreover, the significance of this factor is enhanced in the case of appearance of distributed generation sources, particularly if they are focused on the use of renewable energy, in the structure of electrical networks. It is obvious that the effectiveness and the impact on the electric networks modes of operation indicators (such as energy losses, voltage profile, reliability) implemented sources of generation are largely dependent on their settings and locations. At the same time, taking into account the different physical nature and dimension of aforementioned characteristics, they can not be represented by a single integral indicator. Taking this circumstance into account a modification of one of the methods of multi-criteria comparison of alternatives is developed in this article to select the optimal variant of the use of distributed generation performed for conditions when a number of modes of operation characteristics are given as a fuzzy quantitative and qualitative variables in the form of fuzzy sets.

Keywords: distributed generation, uncertainty of information, multicriteria comparison of alternatives.

References

1. Prakhovnik A.V. Improving information support simulation and control SES regimes in terms of electricity reform. The requirements and general principles of database solutions to the problems of modeling and optimization in modern power supply systems [Text] / Prakhovnik A.V., Popov V.A., Tkachenko V.V., Lutsk O.S. // *Energetics: ekonomika, tehnologii, ekologiya* N 1, 2010 Side. 42 - 47.
2. Popov V.A. Improving information support simulation and control SES regimes in terms of electricity reform. Accounting for uncertainty of initial information for modeling loads in distribution systems [Text] / Popov V.A., Yarmolyuk E.S., Said Banuzade Sahragard, Zhuravlev A.A. // *Energetics: ekonomika, tehnologii, ekologiya* N 1, 2011 Side. 61 - 65.
3. Popov V.A. Evristichny algorithm modelyuvannya rezhimiv integrovanih systems elektropostachannya in urahuvannyam nevznachenosti vihidnoï Informácie, Pratsi Institutu elektrodinamiki National Academy of Sciences of Ukraine Zbirnik Naukova Pratsen [Text] / Popov V.A., Yarmolyuk E.S. // *Key infrastructure Spetsialny* 2012, sided. 40 - 47.
4. Dubois, D. "Fundamentals of Fuzzy sets" [Text] Dubois, D., and Prade, H., Kluwer Academic Publishers, (2000) Boston.
5. Popov V.A. Features of the analysis of air distribution networks reliability of sources of distributed generation [Text] / Popov V.A., Tkachenko V.V., Said Sahragard, Zhuravlev A.A. // *Eastern European advanced technology magazine* N 3/8 (75) 2015 Side. 26-32.
6. Wei Shih-Hua., Fuzzy risk analysis based on interval-valued fuzzy numbers, *Expert Systems with Applications* [Text]/ Wei Shih-Hua, Chen Shyi-Ming, (2009) 362, pp.285– 2299.

7. Opricovic S. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS [Text]/ Opricovic S., Tzeng G.H. // European Journal of Operational Research, 156; 2004, p. 445-55.
8. Kauffmann A. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications [Text]/ Kauffmann A., Gupta M.M., New York: Van Nostrand Reinhold, (1991).

УДК 620.9

Ковальчук А.М. к.т.н., доцент

Волков Д.О. магістрант

Сірик М.О. магістрант

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ НА ЇЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

У статті розглянуто вплив управління інженерними системами будівлі на загальний рівень енергетичної ефективності будівлі та забезпечення комфортних умов. Приведено вірогідні та найпоширеніші методи досягнення максимальної ефективності інженерних систем.

Kovalchuk A.M. Ph. D. in technical sciences, associate professor

Volkov D.O. master`s degree student

Siryk M.O. master`s degree student

THE IMPACT OF STRUCTURE BUILDINGS ENGINEERING SYSTEMS ON ITS ENERGY EFFICIENCY.

The article discusses the impact of management engineering systems of the building at the overall energy efficiency of the building and provide comfort. Detected likely and most common methods of achieving maximum efficiency engineering systems.

Вступ та аналіз стану питання.

На сьогоднішній день людина, у середньому, проводить приблизно 70% свого часу в будівлях. Очевидно, що лівова частка енергоспоживання припадає на їх обслуговування. За різними даними вона становить 37-42% усієї первинної енергії, котра використовується в світі. З кожним днем цей показник зростає, адже будуються нові житлові будинки та офісні приміщення, які не можуть обійтися без споживання теплової та електричної енергії.

За рахунок підвищення темпу росту споживання з'являється вірогідність можливого дефіциту енергетичних ресурсів. Обмеженість існуючих та слабкий прогрес енергетичних джерел, що розвиваються, призводить до значного підвищення їх вартості.

Саме тому наявна тенденція проведення різного типу дій, спрямованих на зниження енергоспоживання. Для об'єктів будівельної індустрії основним є впровадження нових енергозберігаючих технологій і матеріалів, для загального підвищення енергоефективності.

Зменшення споживання енергії першочергово досягається за рахунок зниження теплових втрат будівлі та зниження кількості нераціонально використаної енергії. Зниження теплових втрат будівлі доцільно враховувати на етапах проектування,

створення та експлуатації будівельних матеріалів. Таким чином для нових будинків основою є правильний проект.

Але у ситуації, коли об'єкт вже створено, тобто збудовано та оснащено інженерними системами, необхідно працювати з уже існуючим фондом обладнання.

Активний розвиток комп'ютерних технологій відкрив новий напрямок зменшення рівня енергоспоживання – інтелектуальне управління інженерними системами будівлі.

Мета роботи

Розглянути сучасний концептуальний підхід до проектування енергоефективних будинків. Дослідити переваги впровадження сучасних інтелектуальних систем у існуючі будинки з метою покращення енергетичної ефективності.

Концептуальні особистості інтелектуальної системи управління будівлями.

Концепція інтелектуальної будівлі полягає в створенні єдиної взаємозалежної системи управління всіма інженерними системами будівлі, яка забезпечує комфортне і безпечне місце існування всередині будівлі, з обов'язковою мінімізацією витрат на підтримку цього середовища.

В основі цього мають бути закладені комплексні узгоджені між собою інтелектуальні пристрої і системи, які мають забезпечувати оптимізацію енергоспоживання будівлі. Така концепція автоматизації будівель відома як «Smart buildings».

Концепція, як зазначалося, включає систему управління. Ця система управління будівлею повинна бути повністю відкритою, тобто не повинно існувати обмежень на її розширення і модернізацію. Компоненти системи – як програмні, так і апаратні – не повинні бути прив'язані до якогось одного виробника.

Концепції інтелектуальної будівлі включають, як правило, два основних аспекти. Перший, це обов'язкова інтеграція всіх інженерних систем і систем безпеки будівлі на базі єдиної Системи Управління Будівлею (СУБ, BMS - Building Management System). У сучасній СУБ, що має відкриту архітектуру, кожна з вхідних в неї систем працює в оптимальному (найкращому) режимі за рахунок взаємо обміну даними з іншими системами будівлі, що в підсумку дозволяє максимізувати ефективність роботи як кожної з систем, так і всієї системи в цілому. Крім цього, в професійно побудованій архітектурі СУБ можна скоротити число компонентів систем, відмовившись від ряду її дублюючих елементів. Як показує наша і світова практика, інтегрована система управління будівлею, в кінцевому підсумку, дозволяє оптимізувати витрати на будівництво і скоротити щомісячні експлуатаційні витрати і витрати на амортизацію обладнання.

Другий аспект полягає в тому, що за рахунок інтеграції всіх систем будівлі підвищується не тільки економічність будівлі, але і його комфортність, оскільки інтелектуальні модулі систем життєзабезпечення максимально можливо підлаштовують роботу обладнання під потреби людини.

Сучасну інтелектуальну систему управління будівлею необхідно створювати до етапу проектування інженерних систем об'єкта, а не після, тобто всі внутрішні інженерні системи будівлі проектуються на базі вже розробленого проекту системи управління будівлею.

Ідея впровадження таких систем у будівлях полягає у забезпеченні комфортних умов у приміщеннях, зменшення викидів CO₂ у атмосферу та досягнення ефекту з енергозбереження без участі людського фактору у цьому процесі. У наш час впровадження цих систем є дуже актуальним, з точки зору ефективного використання

паливно-енергетичних ресурсів на порозі можливої енергетичної кризи.

Інтелектуальна система управління будівель включає в себе різноманітні вимірювальні перетворювачі, контролери управління, агрегати, виконавчі органи, елементи комутації. У якості вимірювальних перетворювачів є різні термостати, датчики та сенсори, які створюють певні сигнали і передають їх до контролерів управління, які в свою чергу обробляють отриману інформацію і передають сигнали щодо регулювання роботи агрегатів та виконавчих органів системи. Агрегатами та виконавчими органами слугують насоси, компресори, бойлери, частотні перетворювачі, вентилятори, калорифери, системи охолодження та кондиціонування, світильники, жалюзійні решітки, засувки, клапани тощо.

Проте досягнення максимального ефекту з енергозбереження за допомогою інтелектуальних систем управління є можливим тільки за рахунок комплексного підходу. Енергоефективні режими роботи досягаються не тільки при використанні енергоефективного обладнання, але й за умов їх узгодженої роботи. Інженерні системи та мережі, які виконують функцію життєзабезпечення будівель умовно поділяють на:

- система опалення;
- система вентиляції та кондиціонування;
- система електрозабезпечення;
- система освітлення;
- системи водопостачання та водовідведення;
- слабострумні мережі (системи безпеки, зв'язку, аудіо та відео);
- система управління інженерними системами.

За умов ефективної роботи такої системи та відповідного налаштування є можливим досягнення ефекту з енергозбереження до 30%.

Звичайно, повністю виключити людину з управління будинком неможливо або економічно невиправдано. Хтось повинен проводити огляд і контроль систем, що не були автоматизовані, а також реагувати і усувати аварійні ситуації, які не можуть бути усунені автоматикою.

Система інтелектуалізації розширює і доповнює можливості служби експлуатації при зменшенні витрачених людино-годин, замінюючи їх недорогим машинним часом.

Сучасний підхід до проектування будинку

У випадку існуючого будинку, коли уже наявні усі енергетичні системи, скорочуються можливості реалізувати на практиці весь потенціал наявного енергетичного обладнання та огорожувальних конструкцій з точки зору підвищення рівня енергоефективності. Наприклад, строк служби огорожувальних конструкцій є найдовшим серед усіх інженерних систем, тому необхідно максимально уважно і правильно спроектувати такий елемент. Через це правильний їх підбір і розрахунок структури є надзвичайно важливим етапом.

Створення повної моделі об'єкта та дослідження його «поведінки» на етапі проектування відкриває широкі можливості оптимізації.

Як зазначалося, зменшення використання енергії першочергово досягається за рахунок зменшення теплових втрат будівлі. Однією з найважливіших задач при проектуванні енергоефективних будівель залишається збільшення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій. Але також необхідно враховувати фактори, котрі, на перший погляд, можуть здаватися несуттєвими.

До допоміжних факторів зокрема слід віднести:

- Орієнтацію будинку за сторонами світу

Адже вплив сонячної інсоляції та повітряних потоків на використання енергії для забезпечення комфортних умов (опалення, освітлення і т.д.) є досить суттєвим

- Врахування теплоємності матеріалів огорожувальних конструкцій

Розрахунок того, як вестимуть себе ті чи інші матеріали у разі відсутності джерел опалення є суттєвим з точки зору забезпечення контролю рівня енергоспоживання та підтриманням комфортних умов для споживача.

Моделювання дозволить оптимізувати структуру та функціональний контент всіх підсистем об'єкта дослідження, гармонізувати режими роботи енергетичного обладнання за критеріями енергоефективності, екологічності, комфортності і розробити варіанти втілення об'єкта в життя за різних умов фінансування.

З точки зору сучасної науки, завдання проектування енергоефективних будівель відноситься до так званих завдань "системного аналізу" або завданням "дослідження операцій", пошук вирішення яких пов'язаний з вибором альтернативи і вимагає аналізу складної інформації різної фізичної природи. Мета методів системного аналізу або дослідження операцій - попереднє кількісне обґрунтування оптимальних рішень. Оптимальними тут називаються рішення, які з тих чи інших обставин краще всіх інших.

Дослідження операцій включає в себе три основні напрями:

- Побудова математичної моделі, тобто опис процесу на мові математики;
- Вибір цільової функції. Це дослідження включає в себе визначення обмежуючих умов і формулювання оптимізаційної задачі;
- Рішення поставленої оптимізаційної задачі.

Відповідно до методології системного аналізу математичну модель теплового режиму будівлі як єдиної теплоенергетичної системи доцільно представити у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей, більш зручних для вивчення:

- Математичної моделі теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю;
- Математичної моделі тепло акумуляційних характеристик оболонки будівлі;
- Математичної моделі теплоенергетичного балансу приміщень будівлі.

Математично промодельовавши теплові режими будівлі при використанні різного роду матеріалів та їх комбінацій, можливо знайти найдоцільніший для заданих умов проект.

Висновки

Таким чином для зменшення споживання енергії будинками необхідно ще на етапі їх створення врахувати усі фактори, що безпосередньо впливають на використання енергоресурсів. Досягти це можливо шляхом правильного і детального проектування об'єкта, а вже потім моделювання створеного проекту

Але вище сказане є лише основою для правильного функціонування і мінімального споживання ресурсів будівлею в цілому. Слід враховувати і взаємодію усіх систем об'єкта, адже їх злагоджена робота – запорука досягнення найвищого рівня енергоефективності.

Перелік опрацьованих джерел

1. Conant A et al (2004) Comprehensive diagnostic and improvement tools for HVAC-system installations in light commercial buildings. Proctor Engineering Group. Final Report. 31 Oct 2004. NETL. DE-FC26-01NT41256

2. Dieckmann J, Roth K, Brodrick J (2007) Emerging technologies—magnetic refrigeration. ASHRAE J 74–76
3. Earle L, Sparr B (2015) Managing plug loads with advanced power strips. Home Energy 32(4)
4. CRRC (Cool Roof Rating Council) (2015) . Accessed 15 Sept 2015
5. DOE (Department of Energy) (2015) Energy saver—types of insulation.. Accessed 20 Sept 2015
6. ERI@N (Energy Research Institute at the Nanyang) (2013) Technological University (NTU), Singapore
7. Happold B (2016) Transparent insulation, updated 22 March 2016.
8. Levolut (2012) The cold facts about hot offices, 22 Feb 2012. Accessed 20 Feb 2016
9. NFRC (National Fenestration Rating Council) (2012) Accessed: 21 Feb 2016
10. Urban B, Roth K (2010) Guidelines for selecting cool roofs. U.S. Department of Energy. Retrieved 3 Nov 2015
11. ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель»
12. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції
13. Боженко М. Ф., Сало В. П. Джерела теплостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб. – К. ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2004. – 192 с. – ISBN 966-622-156-X.
14. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование. Справочник / Г. В. Русланов, М. Я. Розкин, Э. Л. Ямпольский. – К.: Будівельник, 1983. – 272 с.
15. Щербатюк Б. І. Енергоощадні системи опалення будинків: Навч. посібн. – Львів: Видавництво «Львівська політехніка», 2003. – 112 с. – ISBN 966-553-276-6. – 360 прим.
16. Комп’ютерне моделювання тепловтрат будинку: Метод. вказівки до викон. лаб. роботи з дисципліни для студ. спец. «Енергетичний менеджмент» / Уклад.: В. І. Дешко, Шовкалюк М.М. Кріпак І.А. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2009. – 39 с.
17. Програмний продукт «Енергетичний паспорт будинку». Версія 1.2. Керівництво користувача 482.02495431.00001-01 34 01-1 – К.: ДНДІБК, 2010 – 34 с.
18. Справочник по теплоснабжению и вентиляции / Щекин Р. В., Бем Г. Е., Корневский С. М. и др.: в 2-х кн. – К. : Будівельник, 1976. – 416 с. –75000 экз. В.И. Ливчак. Энергоаудит и энергетическая паспортизация жилых зданий – путь стимулирования энергосбережения. / АВОК. – 2002. - №1 – с. 2-7.

УДК 519.2:620.98+621.31

Є.В. Міщенко, науковий керівник к.н.т , В.О. Костюк

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ 03056, Україна

**КОМБІНОВАНА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНА СИСТЕМА ПІДПРИЄМСТВА НА
ОСНОВІ МІНІМЕРЕЖІ ІЗ СУБОПТИМАЛЬНИМИ ТЕХНІКО-
ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ**

В статті розглядаються питання вибору субоптимальних компоновальних рішень ЕПС гібридного типу для обраного галузевого об'єкта з використанням інструментальних засобів на основі генетичних алгоритмів, а також даних про добові балансові графіки електроспоживання і генерування. Розроблена модель електропостачання об'єкту для співставного аналізу зокрема цінкових розрахунків за умов мінливого характеру технологічних та ринкових економічних параметрів.

HYBRID SUPPLY SYSTEM OF A PRODUCTION SITE BASED ON MINIGRID DESIGN WITH SUBOPTIMAL TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS

The article deals with the choice of layout suboptimal decisions EPS hybrid type for the selected object using industry tools based on genetic algorithms, and data on daily charts balance power consumption and generation. The model of power supply facility for comparative analysis including price calculations for the rapidly changing nature of technology and market economic parameters.

Вступ. З огляду на проблему енергетичної безпеки країни та окремих її регіонів, особливої ваги набувають питання інтеграції джерел децентралізованого електропостачання до (традиційної) електроенергетичної системи централізованого електропостачання. Системи електропостачання локальних галузевих об'єктів, побудовані на основі комбінованих енергетичних установок, що розглядаються у цій статті, слід віднести до засобів децентралізованого електропостачання.

Аналіз стану питання

Завдання та мета дослідження. Продемонструвати результати ефективного застосування сучасних інструментальних програмних засобів для розв'язування прикладних задач – пошуку раціональних проектних рішень енергопостачальних систем з використанням декількох технологій на основі енергії відновлюваних джерел та інтерпретувати результати техніко-економічних показників

Методики, матеріали і результати дослідження. Системи енергопостачання споживачів з використанням технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) є привабливими за дотримання економічних умов, що гарантують виробнику або власникові об'єкта пільгові умови господарювання та збуту виробленої електроенергії [1]. Сучасні інструментальні програмно-інформаційні засоби [2] дають змогу продемонструвати результати ефективного розв'язування прикладних задач – пошуку раціональних проектних рішень енергопостачальних систем (ЕПС) на основі мікро- та мінімережі [3,4], тобто визначити структуру *гібридної* ЕПС та інтерпретувати результати техніко-економічних розрахунків.

За допомогою моделювання [2] шляхом програмної реалізації генетичних алгоритмів (GA, [5]), можуть бути отримані оптимальні, або дуже близькі до оптимальних конфігураційні рішення комбінованої ЕПС – із використанням компонентів відомих світових чи національних виробників електротехнічного обладнання. Числові значення техніко-економічних параметрів та експлуатаційних характеристик цих компонентів вміщено до бази даних. Чисельні результати моделювання проаналізовані шляхом співставлення ефективності GA порівняно з результатами використання звичайного перебору варіантів – тобто отриманих шляхом оцінювання всіх можливих/прийнятних проектних рішень.

За допомогою програмно-інформаційного комплексу (ПК) iNOGA отримано розв'язки багатокритеріальної оптимізаційної задачі (БОЗ) пошуку субоптимальної

структури ЕПС для підприємства хімічної галузі, розташованого у місті Каховка. Використовуються критерії: мінімуму приведеної вартості *NPC* (*Net Present Cost*) та еквівалентного обсягу викидів *LCE* (*Level of Carbon Emission*), також мінімуму незадоволеного попиту *UL* (*Unmet Load*).

Прогнозні фінансово-економічні дані, взяті за основу для тестування моделі засобами ПІК iNOGA відображені в таблиці 1.

Таблиця 1

Номінальне значення дисконту, %	15,0	Розрахунковий термін експлуатації, років	25,0
Прогнозний середній показник інфляції, %	7,0	Частка кредитних коштів, %	50,0
Вартість монтажу, €	400,0	Відсоткова кредитна ставка, %	9,0
Поточні витрати, % від кап. вартості/рік	2,0	Термін виплати кредиту, років	5,0

З метою організації розрахункового експерименту використані дані типового графіка електричних навантажень електроприймачів об'єкта (підприємства хімічної галузі) із річним обсягом споживання, що не перевищує 5000 кВт·год/рік, географічне розташування якого знаходиться в місті Каховка поблизу річки Дніпро. Для обрання обладнання вітроелектричного агрегату та сонячних фотомодулів інструментальні засоби ПІК iNOGA забезпечують уведення статистичних даних щодо вітрового та сонячного потенціалу, виміряного в околиці місця розташування об'єкта електропостачання. Для застосування умов збуту надлишку виробленої електроенергії за пільговими «зеленими» тарифами згідно з вимогами українського законодавства, проектну середньозважену ціну тарифу визначено на рівні 0,13 Євро/кВт·год з одночасною можливістю закупівлі дефіциту електроенергії з ЕМ на договірних умовах за тарифом 0,0462 Євро/кВт·год.

На рис. 1 і рис. 2 наведено розрахункові дані для конфігураційного варіанту відповідно до обраного розв'язку оптимізаційної задачі, одержаного шляхом одноцільового пошуку за одним із критеріїв – *NPC* чи *LCE*; для цих двох обраних критеріїв варіант зображено на рис. 1 номером «3» (третій із кращих розв'язків, рекомендованих алгоритмом ранжування розв'язків моделі, що його виконує ПІК iNOGA).

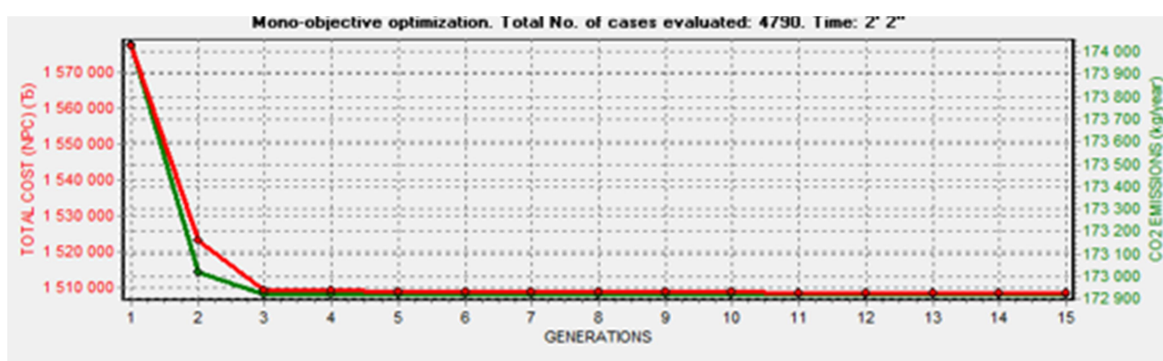


Рис. 1 – Субоптимальні конфігурації КЕУ, ранжовані за одним критерієм (*NPC* або *LCE*)



a)

b)

Рис. 2 – Модельні розрахункові дані: а) капітальні витрати на облаштування КЕУ за проектом; б) – річний розрахунковий баланс КЕУ, в кВт·год/рік

Розрахункові значення фінансово-економічних показників варіанту електропостачальної системи на основі КЕУ відображені у таблиці 2, а на рис.3 зображено криву кумулятивного дисконтованого грошового потоку, в тис. Євро.

Таблиця 2

Початковий обсяг інвестицій (кап.вартість), тис.Євро	2188,77
Кредитні зобов'язання, тис.Євро	281,36
Приведені витрати на е/енергію, куплену з електромережі (від постачальника), тис.Євро	411,62
Надходження від збуту е/енергії, тис.Євро	1306,78
Ефективна приведена вартість проекту, тис.Євро	1509,12
Співставна приведена вартість за проектом постачання 100% обсягу електроенергії з розподільної мережі протягом розрахункового терміну експлуатації (25 років), тис.Євро	3401,08
Приведена нормована собівартість, Євро/кВт·год	0,05

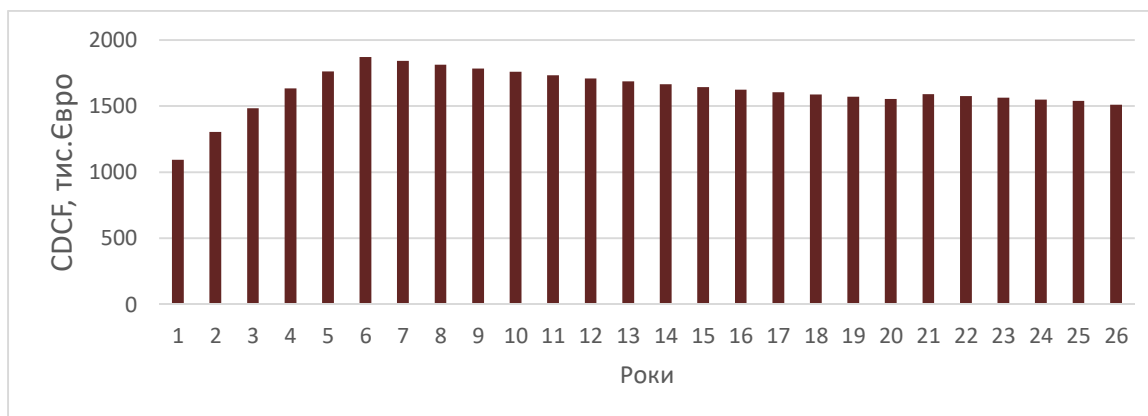


Рис.3 – Кумулятивний дисконтований грошовий потік проектного варіанту

Комерційна версія програми iNOGA2.2-PRO+ дає змогу проаналізувати обсягові показники у вигляді автоматично сформованих діаграм, де відображаються залежності

з бігом часу, із бажаним відповідно до вибору дослідника відображенням усереднених значень відповідно обраного масштабу часу (рис.3) - погодинно, помісячно, також сукупні річні обсяги (див. рис. 2 б)).

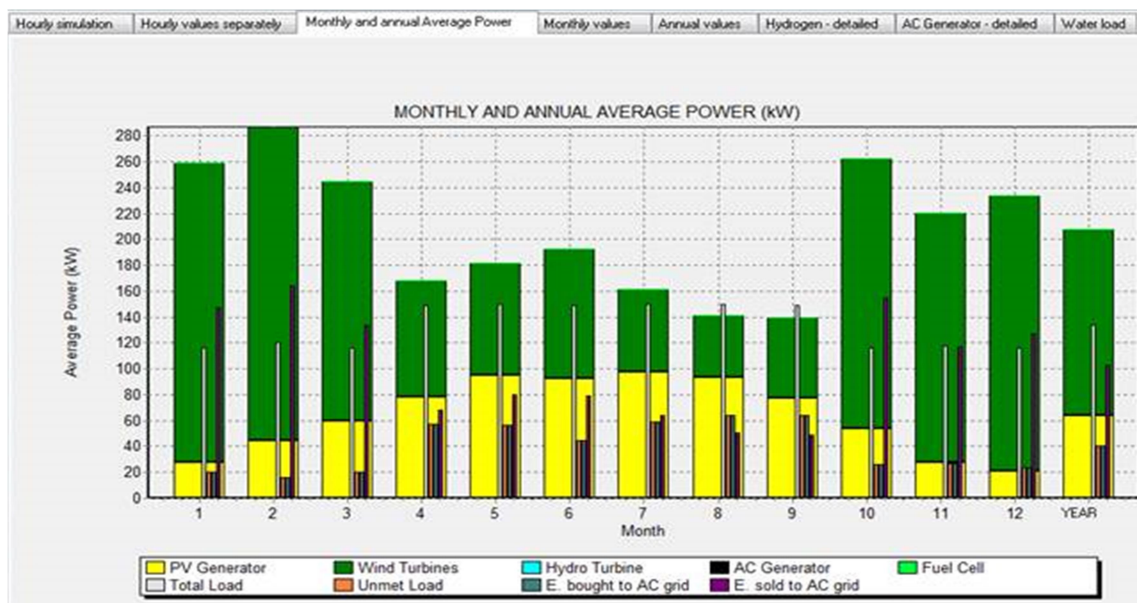


Рис.4 – Потужність генерування та споживання електричної енергії в системі електропостачання на основі КЕУ, кВт: середня щомісячна та середньорічна.
«Примітка. Малі гідротурбіни та паливні елементи не входять до складу розрахункового варіанту КЕУ»

Висновки. Варіантні розрахунки субоптимальних компоновальних рішень ЕПС, отримані за допомогою інструментальних засобів ПІК забезпечують практичну можливість вибору компромісних техніко-економічних варіантів реалізації проекту ЕПС на основі аналізу грошових потоків та умов фінансування інвестиційного проекту.

Основним спрямуванням таких програмних інструментів є сприяння розвитку електротехнічного матеріального виробництва, просування продукції національних виробників, обладнання придатного для конструювання й упровадження об'єктів малої енергетики в умовах реального конкурентного ринку та з урахуванням норм чинного законодавства у сфері електроенергетики.

Література.

- 1 Закон України Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] / Відомості Верховної Ради (ВВР)-2013, N 51, ст.714-Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5485-17>
2. Dufo-Lopez R, Bernal-Agustín JL, Contreras J. Optimization of control strategies for stand-alone renewable energy systems with hydrogen storage // Renewable Energy 2007. – No.32(7). – P.1102–1126.
3. Попов В.А. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей / В.А. Попов, Е.С. Ярмолюк, П.А. Замковой // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2014. – № 2/2 (68). – С. 61–68.
4. Костюк В.О. Прикладні задачі застосування гібридних моделей для оптимізації локальних електропостачальних систем з власною генерацією/ В.О. Костюк, Т. М.

Базюк // Энергетика: економіка, технології, екологія. № 3– 2016». К.: НТУУ КПІ, 2016. – с.51 - 60 .

5. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. (2006) Генетические алгоритмы. Учебное пособие. Москва: Физматлит

УДК 621.316.11

В.А. Попов, к.т.н., доц., В.В. Ткаченко, к.т.н., доц., Е.С. Ярмолюк, к.т.н., ст. преп., А.А. Журавлев, ст. преп., В. Воробель, студ.

Институт энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «КПИ», ул. Борщаговская, 115, Киев, 03056, Украина

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Ключевые слова: воздушные распределительные сети, коммутационные аппараты, надежность электроснабжения, эвристический алгоритм дискретной оптимизации.

Введение. В современном обществе потребители предъявляют все более жесткие требования электроснабжающим организациям в плане гарантии получения в любой момент времени электроэнергии в требуемом объеме и стандартного качества.

Общемировая статистика демонстрирует, что в электроэнергетической отрасли, с точки зрения надежности, наиболее уязвимым звеном является сектор, связанный с распределением электрической энергии [1]. Здесь, в свою очередь, основная масса отказов в электроснабжении приходится на распределительные сети и, в первую очередь, на воздушные линии (ВЛ) напряжением 6...10 кВ.

В последние годы промышленность начала выпускать широкий спектр современного коммутационного и защитного оборудование, комплексное и корректное применение которого может существенно повысить надежность работы распределительных сетей. Вместе с тем, учитывая стоимостные характеристики современных технических средств, обоснование их применения требует тщательного технико-экономического обоснования. Решение данной задачи в значительной мере затруднялось тем, что до последнего времени в Украине не существовали официально утвержденные показатели и подходы к оценке показателей надежности электроснабжения.

Принятые НКРЭКУ Украины в 2011-2015 годах документы частично решают указанную проблему. Согласно постановлению [2] для электросетевых компаний (ЭСК) являются отчетными, характеризующими длительные отказы в электроснабжении потребителей, следующие интегральные показатели надежности электроснабжения:

- *SAIFI* – индекс средней частоты перерывов электроснабжения (откл./год);
- *SAIDI* – индекс средней длительности перерывов электроснабжения (час/год);
- *ENS* – расчетный объем недоотпуска электроэнергии (кВт*час/год).

Кроме этого величина показателя *SAIDI* нормируется для городских и сельских населенных пунктов [3] и является основой для вычисления одной из составляющих корректирования необходимого дохода от выполнения энергокомпаниями деятельности по передаче электроэнергии местными (локальными) электрическими сетями [4].

Представленные выше показатели надежности базируются на стандартах *IEEE* [5] и, в принципе, отвечают практике большинства индустриально развитых стран мира. Однако принятие указанных выше документов следует рассматривать только как

первый шаг по пути решения исключительно важной и технически сложной для отечественной электроэнергетики задачи обеспечения надлежащего уровня надежности электроснабжения.

Задача оценка надежности распределительных сетей обладает определенными принципиальными сложностями, что объясняется рядом факторов. Прежде всего, сегодня можно выделить несколько характерных вариантов построения ВЛ: по магистральным схемам в виде линий с ответвлениями, сети могут быть нерезервируемыми и с возможностью ручного или автоматического ввода резервного питания. Помимо этого в распределительные сети, судя по зарубежному опыту, в последнее время начинают активно интегрироваться источники распределенной генерации. Достаточно широк сейчас спектр коммутационных и защитных аппаратов, которые, по крайней мере, теоретически могут применяться в распределительных линиях как индивидуально, так и в различных комбинациях. Очевидно, что в зависимости от конкретного набора применяемого коммутационного оборудования и его локализации сеть по-разному будет реагировать на возможные повреждения различного характера, в частности, устойчивые и неустойчивые. Поэтому создаваемая модель для оценки надежности должна иметь возможность корректно учитывать все перечисленные выше особенности построения сетей и их оснащения техническими средствами.

В работе [6] было обосновано использование эффективного (с вычислительной точки зрения) и адекватного (с позиций достижения оптимального решения) эвристического алгоритма решения задачи дискретной оптимизации применительно к выбору оптимального состава и мест размещения широкого спектра защитно-коммутационных (секционирующих) устройств (СУ) в воздушных распределительных сетях. В данном алгоритме решение на каждом шаге оптимизационного процесса принимается на основании анализа выражения

$$\max \left\{ \frac{\Delta NRI^L(x_n^k)}{\Delta C^L(x_n^k)} \right\}. \quad (1)$$

В (1) $\Delta NRI^L(x_n^k)$ – нормированный обобщенный показатель повышения надежности (*normalized reliability index*) на L -ой итерации при установке в k -ом месте линии СУ n -го вида (x_n^k), определяемый, например, как

$$\begin{aligned} \Delta NRI^L(x_n^k) = & w_{SAIDI} \frac{SAIDI^{L-1} - SAIDI^L(x_n^k)}{SAIDI^{L-1}} + \\ & + w_{SAIFI} \frac{SAIFI^{L-1} - SAIFI^L(x_n^k)}{SAIFI^{L-1}} + w_{ENS} \frac{ENS^{L-1} - ENS^L(x_n^k)}{ENS^{L-1}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $SAIDI^{L-1}$, $SAIFI^{L-1}$, ENS^{L-1} – значения соответствующих показателей надежности, полученные в результате установки СУ на предыдущей ($L-1$)-ой итерации, w_{SAIDI} , w_{SAIFI} , w_{ENS} ($w_{SAIDI} + w_{SAIFI} + w_{ENS} = 1$) – весовые коэффициенты указанных показателей надежности.

Показатель $\Delta C^L(x_n^k)$ отражает относительное приращение затрат на повышение надежности после установки в линии x_n^k -го СУ, и вычисляется следующим образом:

– если предполагается установка нового СУ, то

$$\Delta C^L(x_n^k) = C(x_n) / C_{MIN},$$

где $C(x_n)$ – стоимость СУ n -го вида, C_{MIN} – стоимость наиболее дешевого СУ из всех включенных в дискретную последовательность планируемых к использованию СУ;

– если рассматривается замена СУ $(n-1)$ -го вида на ближайшее более эффективное и дорогое устройство из дискретной последовательности, то

$$\Delta C^L(x_n^k) = (C(x_n) - C(x_{n-1})) / C_{MIN}.$$

Предложенный для решения данной задачи алгоритм, базирующийся на методе нормированных функций и относящийся к так называемому классу «greedy» алгоритмов [7], обеспечивает получение квазиоптимального решений за относительно небольшое число шагов и, таким образом, лишен недостатков, характерных для точных методов дискретной оптимизации, поскольку при этом проблемы дискретности, нелинейности и многомерности не входят в противоречие [8]. При этом на начальном этапе реализации данного алгоритма должна быть сформирована дискретная последовательность переменных, формируемая из видов принятых к размещению в конкретных элементах линии СУ (указанное оборудование размещается в порядке возрастания его потенциального воздействия на показатели надежности и, соответственно, его стоимости).

В рамках представленной методологии решения задачи выбора оптимальных состава и мест размещения СУ могут быть рассмотрены различные ее постановки (модели оптимизации).

Первая модель предусматривает использование в качестве целевой функции (ЦФ) выражение вида (1) при определении нормированного показателя повышения надежности согласно (2) и наличии ограничений на используемый ресурс

$$C(\mathbf{x}) \leq C_{\max},$$

где C_{\max} – характеризует величину максимальных допустимых инвестиций или предельное количество устанавливаемых СУ конкретного типа. При этом ограничения на ресурс могут рассматриваться как функция от длины линии (например, 1 разъединитель на m километров длины), или суммарной средней нагрузки линии (например, 1 реклоузер на k кВт присоединенной нагрузки). Данная модель может быть использована для определения количественных значений нормируемых регулирующим органом (например, НКРЭКУ) показателей надежности электроснабжения потребителей для конкретных энергосистем.

Вторая модель предполагает использование ЦФ вида (1) при наличии ограничений на величины показателей надежности, используемых в (2)

$$\begin{cases} SAIFI(\mathbf{x}) \leq SAIFI_{\max}; \\ SAIDI(\mathbf{x}) \leq SAIDI_{\max}; \\ ENS(\mathbf{x}) \leq ENS_{\max}. \end{cases}$$

Данная модель может быть применена для оценки затрат на повышение надежности при условии удовлетворения установленных ограничений.

Третья модель включает ЦФ вида (1) при определении нормированного показателя повышения надежности согласно (2) и наличии ограничений на используемый ресурс (аналогично первой модели) и на значения показателей надежности, используемых в выражении (2) (аналогично второй модели)

$$\begin{cases} C(\mathbf{x}) \leq C_{\max}; \\ SAIFI(\mathbf{x}) \leq SAIFI_{\max}; \\ SAIDI(\mathbf{x}) \leq SAIDI_{\max}; \\ ENS(\mathbf{x}) \leq ENS_{\max}. \end{cases}$$

В данном случае реализуется наиболее целесообразная (с точки зрения практики) постановка задачи размещения в сети СУ в пределах конкретного РЭС или ПЭС. Ее решение позволит электроснабжающей организации либо выйти на заданные величины нормируемых показателей надежности в пределах ограничений на ресурс, либо укажет на невозможность решения данной задачи и, как следствие, необходимость поиска и применения других технических средств (например, использование самонесущих изолированных проводов для уменьшения параметра потока отказов, или указателей короткого замыкания для сокращения длительности времени поиска и локализации повреждения) или организационных мероприятий (например, увеличение количества и квалификации персонала, обслуживающего электрические сети).

Четвертая модель включает ЦФ вида (1) при определении нормированного показателя повышения надежности согласно (2) и отсутствии материальных (в том числе и финансовых) и технологических ограничений. В данном случае ограничением может являться вычислительный ресурс (например, предельное количество итераций). Данная модель носит, скорее теоретический или исследовательский характер и может быть использована для:

- оценки эффективности использования тех или иных СУ, которая должна выразиться в формировании для конкретных объектов правил-рекомендаций типа «Установка предохранителя-разъединителя в начале ответвления целесообразна, если длина ответвления превышает n километров» (например, по аналогии с [9], где предлагаются эвристические правила размещения в линиях предохранителей и реклоузеров);
- анализа влияния весовых коэффициентов, используемых в (2), на принятие решений относительно оптимального размещения в сети отдельных видов СУ.

Целью данной статьи является анализ влияния весовых коэффициентов показателей надежности на результаты решения оптимизационной задачи при условии, что величины весовых коэффициентов показателей надежности задаются лицом принимающим решения (ЛПР) и являются фиксированными на всех итерациях оптимизационной задачи.

На рис. 1 представлена схема (ЦП – центр питания, УН – узел нагрузки), а в таблице 1 – параметры узлов нагрузки тестовой воздушной распределительной линии (где ТПЭ – точка продажи электроэнергии [2]).

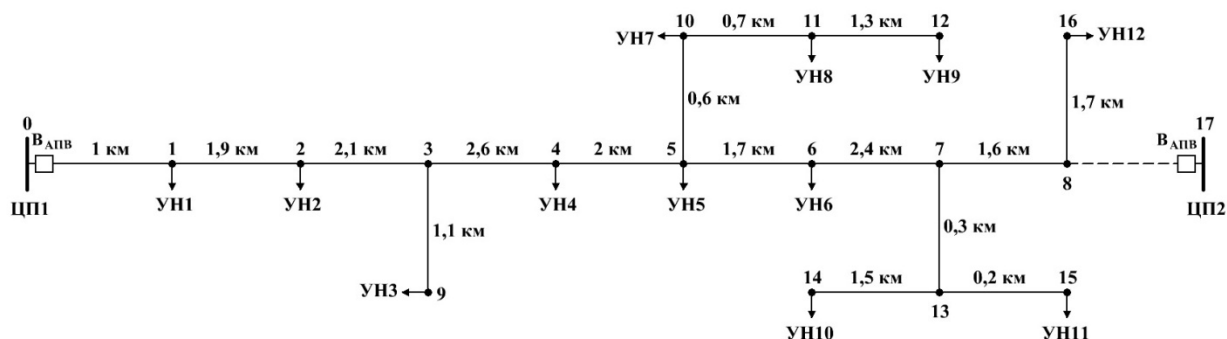


Рисунок 1 – Схема тестовой воздушной распределительной линии

Таблиця 1 – Параметри узлов нагрузки тестовой линии

Узел линии	1	2	4	5	6	9	10	11	12	14	15	16
Узел нагрузки	1	2	4	5	6	3	7	8	9	10	11	12
Нагрузка (кВт)	40	150	35	145	120	75	105	90	35	25	125	85
Количество ТПЭ	18	14	1	10	25	18	16	23	11	2	24	10

Считаем, что в рассматриваемой линии существует возможность получения резервного питания, однако предназначенный для данной цели разъединитель, установленный в точке подключения резервного питания (ТПРП) в начале участка 8–17, является старого типа и находится в отключенном и неработоспособном состоянии. Поэтому при необходимости использования этой резервной связи требуется замена указанного разъединителя на новый работоспособный коммутационный аппарат.

Определяем возможные места размещения СУ в линии:

- в начале и конце участка магистрали при наличии коммутационного аппарата в ТПРП;
- в начале участка магистрали при отсутствии коммутационного аппарата в ТПРП;
- в начале участка ответвления независимо от наличия или отсутствия ТПРП.

Цель оптимизационной задачи сформулируем следующим образом – выбрать вид, количество и места размещения СУ в линии, представленной на рис. 1, добившись при этом максимального повышения надежности электроснабжения при минимуме затрат за фиксированное число итераций оптимизационного процесса.

Рассматривались следующие дискретные последовательности планируемых к использованию СУ:

- на участках магистрали – разъединитель (P_{py}), реклоузер ($P_{ек}$);
- на участках ответвлений – разъединитель (P_{py}), предохранитель-разъединитель (П-Р);
- в ТПРП – разъединитель (P_{py}), выключатель нагрузки (ВН-Р), реклоузер ($P_{ек}$).

Заданное количество итераций оптимизационной задачи – 9.

Рассматривались три варианта решения оптимизационной задачи:

1. Весовые коэффициенты:

- $w_{ENS}=0,33$;
- $w_{SAIDI}=0,33$;
- $w_{SAIFI}=0,34$.

Такое соотношение весовых коэффициентов соответствует случаю, когда ЛПР не отдает предпочтения ни одному из участвующих в расчетах показателей надежности. Однако при этом, коэффициент относительной важности критериев, характеризующих уменьшение длительности отключений, будет иметь значение

$$w_{Rdt} = w_{SAIDI} + w_{ENS} = 0,66,$$

а коэффициент относительной важности критериев, отражающих снижение частоты отключений, тогда будет равен

$$w_{Tf} = w_{SAIFI} = 0,34.$$

Из этого следует, что при указанном соотношении весовых коэффициентов, уменьшению длительности отключений уделяется почти в 2 раза больше внимания, чем

снижению частоты отключений.

Результаты решения представлены на рис. 2 (в скобках указан номер итерации на которой был зафиксировано в линии конкретное СУ).

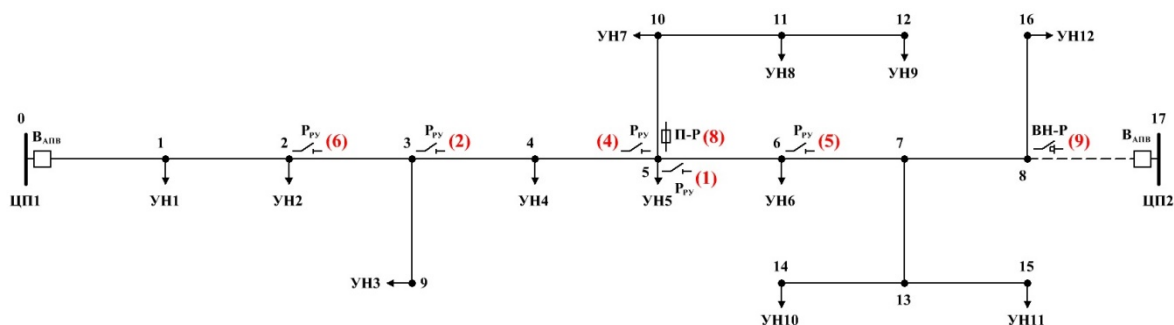


Рисунок 2 – Оптимальное размещение СУ при значениях весовых коэффициентов ($w_{SAIFI}=0,34$; $w_{SAIDI}=0,33$; $w_{ENS}=0,33$)

2. Весовые коэффициенты:

- $w_{ENS}=0,25$;
- $w_{SAIDI}=0,25$;
- $w_{SAIFI}=0,50$.

При таком соотношении весовых коэффициентов $w_{Rdt} = 0,5$ и $w_{Tf} = 0,5$, т.е. уделяется одинаковое внимание как уменьшению длительности отключений, так и снижению частоты отключений.

Результаты решения представлены на рис. 3.

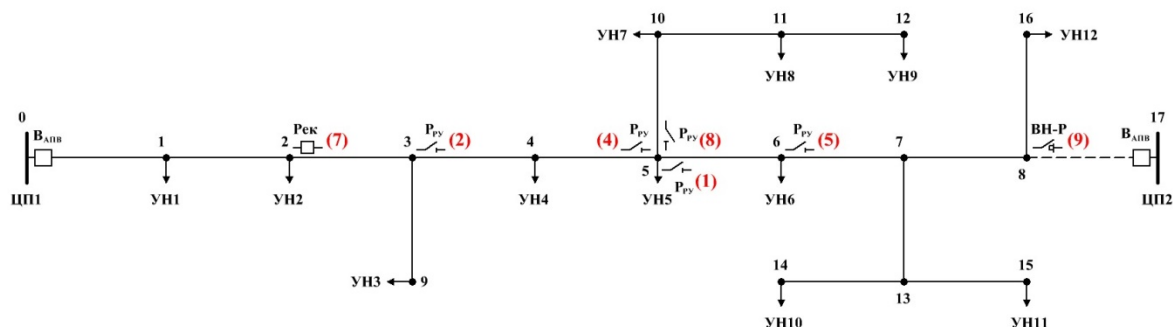


Рисунок 3 – Оптимальное размещение СУ при значениях весовых коэффициентов ($w_{SAIFI}=0,5$; $w_{SAIDI}=0,25$; $w_{ENS}=0,25$)

3. Весовые коэффициенты:

- $w_{ENS} = 0,17$;
- $w_{SAIDI} = 0,17$;
- $w_{SAIFI} = 0,66$.

В этом случае $w_{Rdt} = 0,34$ и $w_{Tf} = 0,66$, т.е. уделяется почти в 2 раза больше внимания снижению частоты отключений.

Результаты решения представлены на рис. 4.

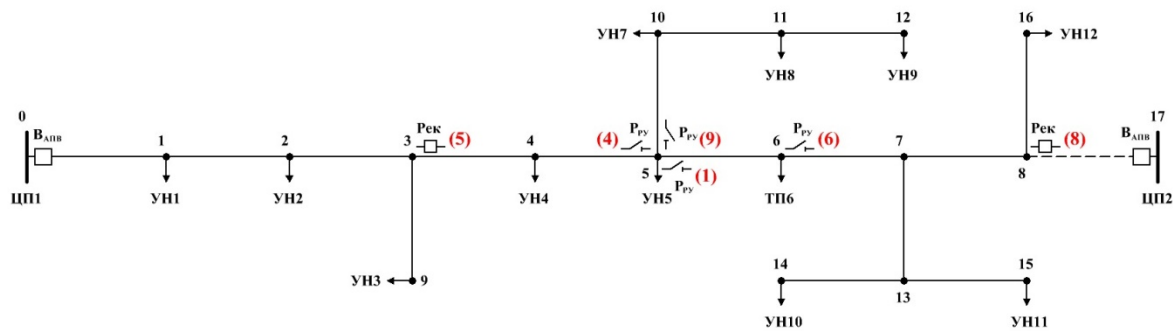


Рисунок 4 – Оптимальное размещение СУ при значениях весовых коэффициентов ($w_{SAIFI}=0,66$; $w_{SAIDI}=0,17$; $w_{ENS}=0,17$)

Аналізуючи отримані результати можна зробити наступні висновки:

- А. При фіксованих на всіх ітераціях значеннях весових коефіцієнтів на прийняття рішення щодо розміщення в лінії найбільш ефективних СУ реклоузерів впливає величина коефіцієнта w_{Tf} , що відображає відносну важливість критеріїв, що характеризують зниження частоти відключень. Чим вище значення даного коефіцієнта, тим більше реклоузерів встановлюється в мережі (за умови, що в розглядаваній дискретній послідовності СУ присутній реклоузер в ТПРП).
- В. Якщо в розглядаваній дискретній послідовності СУ відсутній реклоузер в ТПРП, то встановлений (першим) в лінії на одній з ітерацій реклоузер суттєво зменшує ймовірність розміщення реклоузерів в інших точках лінії навіть при великій величині w_{Tf} .

1. Billinton R. Reliability Evaluation of Power Systems / R. Billinton, R.N. Allan.- New York: Plenum Press, 1996.- 540 p.
2. Про затвердження форм звітності № 11–НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників надійності електропостачання» та № 12–НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників комерційної якості надання послуг» та інструкцій щодо їх заповнення [Текст] // Постанова НКРЕ України № 1015 від 25.07.2013 р.
3. Про затвердження показників якості послуг з електропостачання на 2014 рік // Постанова НКРЕ України № 476 від 17.04.2014 р.
4. Порядок визначення необхідного доходу від здійснення діяльності з передачі електричної енергії місцевими (локальними) електричними мережами у разі застосування стимулюючого регулювання [Текст] // Постанова НКРЕ України № 1032 від 26.07.2013 р.
5. IEEE Std 1366-2012. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices [Текст] // The IEEE Inc., USA, May 2012.- 43 pp.
6. Жаркин А.Ф. Решение задачи оптимального секционирования воздушных распределительных сетей в условиях нормирования показателей надежности / А.Ф.

Жаркин, В.А. Попов, В.В. Ткаченко // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 5. – С. 61–69.

7. Корбут А.А. Приближенные методы дискретного программирования [Текст] / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1983.- № 1.- С. 165-176.

8. Экель П.Я. Неопределенность исходной информации и дискретность в задачах оптимизации электрических сетей [Текст] / П.Я. Экель // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1986.- № 3.- С. 48-54.

9. Sanford Z. Heuristic Distribution Protection Placement [Електронний ресурс] / Zachary Sanford // University of Washington, 2008.- 12 p.- Режим доступа: <http://www.ieee-seattle.org>.

УДК 621.311.001.57(063)

Є. Г. Брижіцький, студент

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент

кафедра електропостачання

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

У статті розглядаються методичні засади розрахунку надійності асинхронних двигунів на основі визначення залишкового ресурсу. Показано, що строк служби асинхронного двигуна значною мірою визначається якістю ізоляції обмоток. Головним чинником, який впливає на термін служби ізоляції, є її робоча температура.

Ключові слова: надійність, температура обмотки, залишковий ресурс.

The article considers methodological principles of reliability asynchronous motors by determining the residual life. It is shown that the service life of the induction motor is largely determined by the quality of insulation windings. The main factor that affects the lifetime of the insulation is its operating temperature.

Keywords: reliability, temperature winding life remaining.

Вступ.

Асинхронні двигуни (АД), як правило, розраховані на термін служби 15 - 20 років без капітального ремонту, за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією розуміється робота відповідно до номінальних параметрів, зазначених в паспорті АД. У реальному житті має місце значне відхилення режимів експлуатації від номінальних.

Надійність електричної машини - властивість машини виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність є комплексною властивістю, що у залежності від призначення машини і умов її експлуатації може включати в себе безвідмовність, довговічність і збереженість. Термін служби - показник довговічності, а його оцінка зводиться до розрахунку надійності електричної машини [1].

На даний час надійність електродвигунів електроприводів у всіх областях промисловості дуже низька. Щорічно виходять з ладу і ремонтуються до 50% парку електричних машин. Переважна більшість їх після ремонту повертається на

підприємство і експлуатується до наступного виходу з ладу. Машина може ремонтуватися 3-4 рази, а час напрацювання на відмову складає 0,5 ... 1,5 року.

Аналіз стану питання.

Досліджено механізми впливу на експлуатаційну надійність і термін служби АД. Основними з них є наступні фактори:

- якість активних і конструкційних матеріалів, що використовуються при виготовленні електричних машин;
- якість виготовлення електричних машин;
- якість електроенергії;
- невідповідність умов застосування машин їх виконанню, пусковим та робочим характеристикам;
- відсутність належного обслуговування машин і низька якість ремонту.

На даний час більше 80% парку АД, що експлуатуються становлять машини, які побували у капітальному ремонті хоча б один раз [1, 2]. У переважній більшості випадків (85-95%) відмови АД потужністю понад 5 кВт пов'язані з пошкодженням ізоляції обмоток і розподіляються наступним чином: міжвіткові замикання - 93%, пробій міжвиткової ізоляції - 2%. Решта відмов у роботі викликані механічними пошкодженнями [3, 4]. Таким чином, термін служби АД визначається, в основному, якістю ізоляції його обмоток.

Мета роботи: вдосконалити методичні підходи до розрахунку надійності АД, які б дозволяє оцінювати скорочення строку служби у залежності від режиму навантаження і додаткових втрат, зумовлених несиметрією та несинусоїдальністю напруги.

Методики, матеріали і результати досліджень.

Найчастіше перегрів обмоток АД виникає при загальмованому роторі (заклинювання), обриві фази статора, відхиленні напруги мережі від нормованих значень, несиметрії напруги живлення [5].

У тих випадках, коли двигун працює з незмінною температурою ізоляції, оцінити швидкість процесу старіння ізоляції або термін служби машини порівняно нескладно. Відомі залежності, що пов'язують термін служби ізоляції даного класу з певним постійним рівнем температури протягом терміну служби.

Перші роботи в цьому напрямку мали, головним чином, дослідний характер і належали до ізоляції класу А. У результаті досліджень було сформульовано правило «восьми градусів» (правило Монтзігера). Відповідно до цього правила, підвищення температури на кожні 8 °С понад гранично допустиму скорочує термін служби вдвічі [4, 6].

$$R_{\tau_{пер}} = R_{\tau} 2^{\frac{\tau - \tau_{пер}}{\Delta\tau}} = R_{\tau} e^{-b\tau_{пер}}, \quad (1)$$

де $R_{\tau_{пер}}$ - термін служби при збільшеній температурі; R_{τ} - термін служби при температурі τ (визначається в залежності від класу ізоляції, наприклад, 7 років при $\tau = 105$ °С); $\Delta\tau$ - постійний приріст температури (для класів ізоляції, що застосовується знаходиться в діапазоні 8-10 °К), b – коефіцієнт, який визначається класом ізоляції.

Значення $\Delta\tau$ не можуть бути названі точно, якщо недостатній обсяг експериментальних даних. Для ізоляційних матеріалів класу А приймають $\Delta\tau = 8$ °К. Термоактивна ізоляція (класу В) підвищила це значення до $\Delta\tau = 10$ °К.

Логарифмічний характер залежності (1) диктує жорсткі правила експлуатації електричних машин. Згідно [6] саме пікові температури визначають практичний термін служби машини. З цієї точки зору якість конструкції тим вища, чим менше відношення

пікової температури до середньої.

Формула (1) є наближеною, але вона дозволяє вірно провести оцінку конструкцій електричних машин і режимів їх експлуатації, особливо в економічних розрахунках.

Більш строгий підхід до дослідження явища старіння ізоляції під впливом температури пов'язаний із застосуванням загальних законів кінетики хімічних реакцій. Існує залежність швидкості протікання хімічних реакцій від температури:

$$\ln K = \frac{B}{\tau} + A, \quad (2)$$

де τ – абсолютна температура (град. Кельвіна), K – стала швидкості реакції.

Коефіцієнти A і B у рівнянні (2) мають певний фізичний зміст і пов'язані зі сталими, що характеризують склад і структуру речовини, яка бере участь в реакції:

$$\ln T = \frac{B}{\tau} - G, \quad (3)$$

де $B = E_a/R$ і G – сталі, що характеризують склад і структуру речовини [3, 4], E_a – надлишкова в порівнянні з середньою величиною кількість енергії (енергія активації), яким повинна володіти молекула речовини, щоб виявитися здатною до хімічної взаємодії; $R=8,32$ Дж/град·моль – універсальна газова стала.

На підставі цього, знаючи термін служби ізоляції R_1 при температурі τ_1 , можна визначити її термін служби R_2 при температурі τ_2 з наступного рівняння

$$R_2 = R_1 \exp \left[-B \left(\frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1} \right) \right] \quad (4)$$

Експериментальне значення B для класу ізоляції А згідно [3] становить $0,95 \cdot 10^{-4}$ °К, для класу В $1,02 \cdot 10^{-4}$ °К.

Оскільки такий розрахунок враховує лише теплове старіння, а під час роботи машини ізоляція зазнає ще й механічного впливу, то можна припустити, що в дійсності її руйнування внаслідок пробою відбудеться значно раніше.

Зношеність ізоляції за одиницю часу, при постійній температурі τ , °С,

$$\xi = \frac{1}{R_\tau} = \frac{1}{R} e^{b\tau}. \quad (5)$$

Розмірність ξ - час⁻¹, і при змінній протягом часу t температурі τ

$$\xi = \frac{1}{R} \int_0^t e^{b\tau} dt \quad (6)$$

Оскільки значний інтерес являє відносне зменшення терміну служби ізоляції, будемо надалі характеризувати зношеність не величиною ξ , а безрозмірною величиною $\xi C = z$.

Нехтуючи тепловіддачею при короткочасних перевантаженнях, знаходимо зношеність за час нагрівання t_1 струмом $I = kI_{ном}$ згідно [8]

$$z_{нагр} = \frac{t_{неп} e^{b\tau_{ном}}}{b\Delta\tau_{неп}} \left(e^{b\Delta\tau_{неп}} - 1 \right), \quad (7)$$

де $\tau_{ном}$ - температура обмотки, обумовлена номінальними втратами, що виділяються в самій обмотці при номінальному струмі в ній, $\Delta\tau_{неп}$ - перевищення температури обмоток над температурою $\tau_{ном}$, $t_{неп}$ - час перевантаження.

При роботі до перевантаження з номінальним режимом, перевищення

температури обмоток при перевантаженні

$$\Delta\tau_{пер} = \Delta\tau_{м.ном} (k^2 - 1) \frac{t_{пер}}{T}, \quad (8)$$

де $\Delta\tau_{м.ном}$ - складова перевищення обмотки статора, що визначається втратами в обмотках статора, k - кратність струму в обмотці по відношенню до номінального, T - постійна часу нагрівання двигуна.

Оскільки температура обмоток двигуна після закінчення перевантаження не може відразу зменшитися до сталого значення, додаткове зношення ізоляції відбувається ще й під час охолодження. Будемо вважати, що після закінчення перевантаження режим повертається до вихідного (номінального). У розрахунку приймається стала часу при охолодженні така само, як і при нагріванні, оскільки передбачається, що двигун після перевантаження продовжує працювати з тією самою швидкістю обертання, що і до перевантаження. Незначне або короточасне зниження швидкості за час перевантаження має незначний вплив на сталу часу нагрівання.

Відношення зношеності ізоляції при охолодженні і при нагріванні залежить від величини навантаження і значення сталої часу при нагріванні обмотки, причому для значень $T \geq 300$ с зношування відбувається практично тільки за час охолодження [8].

Зношеність ізоляції за час охолодження згідно [7]

$$z_{охл} = \frac{T e^{b\tau_{ном}}}{b\Delta\tau_{пер}} \left(e^{b\Delta\tau_{пер}} + 4e^{\frac{b\Delta\tau_{пер}}{2}} - 5 \right) \quad (9)$$

Сумарна зношеність за час одного циклу нагрівання та охолодження дорівнює сумі часткових зношеностей

$$z = z_{нагр} + z_{охл},$$

$$z = \frac{T e^{b\tau_{ном}}}{b\Delta\tau_{пер}} \left[4e^{\frac{b\Delta\tau_{пер}}{2}} + e^{b\Delta\tau_{пер}} \left(1 + \frac{t_{пер}}{T} \right) - 5 - \frac{t_{пер}}{T} \right], \quad (10)$$

Змінюючи $\Delta\tau_{пер}$, з рівняння (8) отримаємо

$$z = \frac{T^2 e^{b\tau_{ном}}}{b\Delta\tau_{м.ном} (k^2 - 1) t_{пер}} \left[4e^{\frac{b\Delta\tau_{м.ном} (k^2 - 1) t_{пер}}{2T}} + e^{\frac{b\Delta\tau_{м.ном} (k^2 - 1) t_{пер}}{T}} \left(1 + \frac{t_{пер}}{T} \right) - 5 - \frac{t_{пер}}{T} \right]. \quad (11)$$

З цього рівняння випливає, що зношеність ізоляції АД має при деякому значенні сталої часу нагрівання мінімальну величину. Відзначимо, що при значеннях $T \geq 300$ с навіть при невеликих і відносно тривалих перевантаженнях знос відбувається тільки за час охолодження.

Суттєвий вплив на строк служби АД спричиняє якість напруги живлення, яка регламентована ГОСТ 13109-97.

При несиметрії напруг 2% термін служби АД скорочується на 10,8%. При несиметрії напруг 4%, так само як і при зменшенні напруги на 10% термін служби АД скорочується вдвічі.

Опір зворотної послідовності індукційних машин в 5 - 8 разів менше опору прямої. Таким чином, двигуни мають фільтруючі властивості по відношенню до струмів зворотної послідовності, тому навіть незначна несиметрія напруг (1%) створює значну несиметрію струмів (7% - 9%) в обмотках. Струми зворотної послідовності викликають додаткове нагрівання, що призводить до істотного зниження терміну служби АД. В [9] наведено формулу для розрахунку температури обмоток $\tau_{пер}$ АД в

функції несиметрії напруги ε_u

$$\tau_{пер} = \tau \left[1 + 2(\varepsilon_u \%)^2 \right] \quad (12)$$

де τ – температура обмоток при симетричній напрузі мережі, ε_u - коефіцієнт несиметрії напруг дорівнює відношенню напруги зворотної послідовності до номінальної. З цього виразу випливає, що при $\varepsilon_u = 3,5\%$ температура обмоток двигуна підвищується на 25%.

Якщо АД тривалий час працює при зниженій напрузі, то через прискорене зношування термін служби його зменшується. Наближено термін служби ізоляції R можна визначити за формулою:

$$R = \frac{R_{ном}}{K_U}, \quad (13)$$

де $R_{ном}$ - термін служби ізоляції двигуна при номінальних напрузі і навантаженні, K_U - коефіцієнт, що залежить від значення і знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна:

$$K_U = (47\delta U^2 - 7,55\delta U + 1)k_s^2, \text{ при } -0,2 < \delta U < 0 \quad (14)$$

$$K_U = k_s^2, \text{ при } 0,2 \geq \delta U > 0,$$

де δU - відхилення напруги, k_s - коефіцієнт завантаження АД. Тому з точки зору нагрівання АД небезпечнішими в розглянутих межах негативні відхилення напруги.

Несинусоїдальність напруг призводить до збільшення активного опору струмів вищих гармонік, що викликає в АД значні втрати активної потужності, підвищене перегрівання і, як наслідок, - скорочення терміну служби.

В [9] виводиться спрощена формула для визначення перегрівання обмоток внаслідок несинусоїдальності і несиметрії напруги живлення:

$$\Delta\tau_{пер} = \frac{280}{b} \left(1,55\varepsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \quad (15)$$

де U_v - відношення напруги v -ї гармоніки до номінальної напруги, v – номер гармоніки, $\Delta\tau_{пер} = \tau_{пер} - \tau_{ном}$.

Запишемо відносно значення тривалості життя ізоляції АД у вигляді $z = \exp(-b\Delta\tau_{пер})$ і, підставляючи в нього формулу (15), отримаємо:

$$z = \exp \left[-280 \left(1,55\varepsilon_u^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \right]. \quad (16)$$

В [10] запропоновано формулу для розрахунку сталої температури обмотки, що враховує втрати в електродвигуні і зміна параметрів матеріалу провідника:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{ном} \frac{a + k^2}{1 + a - \alpha\Delta\tau_{ном}(k^2 - 1)}, \quad (17)$$

де $a = \frac{\Delta P_{с.н.}}{\Delta P_{м.н.}}$ - коефіцієнт номінальних втрат в електродвигуні,

$\alpha = 0,0043 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ – температурний коефіцієнт опору міді,

$k = \frac{I}{I_{ном}}$ - кратність робочого струму по відношенню до номінального. Тут під

номінальним розуміється струм, який викликає номінальне нагрівання обмотки АД.

У цьому випадку процес нагрівання описується виразом:

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{ном} \frac{a + \left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2}{1 + a - \alpha\Delta\tau_{ном} \left(\left(\frac{I}{I_{ном}}\right)^2 - 1\right)} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \Delta\tau_{нач} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (18)$$

де $\Delta\tau_{нач}$ - початкове перевищення температури.

Далі розраховується термін служби за формулою (1).

Для прогнозування залишкового ресурсу застосовано метод екстраполяції. Правильність визначення початкових умов моделювання визначає якість прогнозу.

Математичний опис процесу зміни температури τ та ресурсу R ізоляції:

$$\begin{aligned} \tau [(k+1)h] &\approx \tau(kh) + h\Delta\tau(kh), \\ R[(k+1)h] &\approx R(kh) - h\Delta R e^{-b\Delta\tau}(kh), \end{aligned} \quad (19)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, n$.

Оцінка температури $\tilde{\tau}$ та залишкового ресурсу \tilde{R} визначається:

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}[(k+1)h] &\approx \tilde{\tau}(kh) + h\Delta\tilde{\tau}(kh) + K_1[\tau(kh) - \tilde{\tau}(kh)], \\ \tilde{R}[(k+1)h] &\approx \tilde{R}(kh) - h\Delta\tilde{R} e^{-b\Delta\tilde{\tau}}(kh) + K_2[\tau(kh) - \tilde{\tau}(kh)], \end{aligned} \quad (20)$$

де $K_1[\tau(kh) - \tilde{\tau}(kh)]$, $K_2[\tau(kh) - \tilde{\tau}(kh)]$ – вирази, які коригують якість оцінки.

Загальний час T , за який визначається залишковий ресурс, розбивається на певну кількість інтервалів відповідно до кроку дискретизації таким чином, щоб втрати на кожному інтервалі могли вважатися сталими. Далі визначаються температура обмоток на кожному інтервалі та залишковий ресурс за час T .

На рис. представлено експериментальна крива (1) зміни ресурсу АД і різні оціночні криві (2, 3, 4). Точна побудова реальної кривої неможливо, але її можна замінити прямою, побудованою за двома отриманими експериментально точкам: перша - початковий ресурс ізоляції (визначений, наприклад, експериментальним методом), друга - пробій ізоляції. Крива 2 побудована з урахуванням фактору перевантажень за струмом з використанням формули (11). Крива 3 побудована з використанням формул (1), (18), в яких відображено вплив таких чинників, як температура обмотки і коефіцієнт завантаження АД протягом терміну служби. Крива 4 побудована з урахуванням додаткового фактору якості напруги живлення.

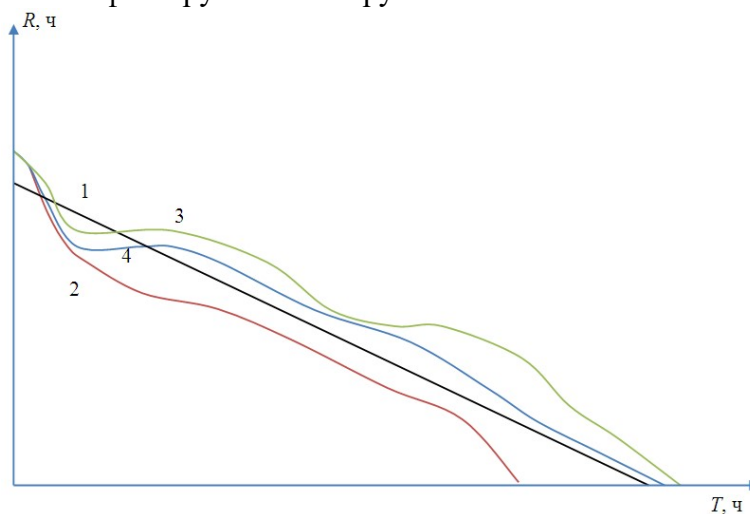


Рисунок Графіки зміни в часі залишкового ресурсу АД

Таким чином, з усіх варіантів розрахунку найбільш достовірним є розрахунок з урахуванням факторів напруги живлення, коефіцієнта завантаження, температури обмотки і навколишнього середовища.

Висновки. Основним показником надійності АД є термін служби. В роботі розглянуто три методи оцінки терміну служби АД. Перший враховує фактор перевантаження, другий – температуру обмотки, третій - якість напруги живлення. Запропонований метод реалізує комплексний підхід з урахуванням основних факторів впливу – напруги живлення, коефіцієнта завантаження, температури обмотки і навколишнього середовища. Метод забезпечує найбільшу точність визначення терміну служби АД.

Література.

1. Бешта А.С., Желдак Т.А. Определение потерь в стали асинхронного двигателя по методике холостого хода // Сб. Статей «Проблемы создания новых машин и технологий», В.1. – Кременчуг, 1998.

2. Слоним Н.М. Испытания асинхронных двигателей. – М., Энергия, 1980.

3. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. – М., Высшая школа, 1985

4. Воробьев В.Е., Кучер В.Я., Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 56 с.

5. Ковалев А.П., Шевченко О.А., Якимшина В.В., Пинчук О.Г. Оценка пожарной опасности электродвигателей, эксплуатирующихся на промышленных предприятиях Украины / Вісник Кременчугського держ. політехн. університета, 2004, вип 2/2004 (25). – 64 с.

6. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.

7. Данилов И. А., Иванов П. М. Общая электротехника с основами электроники. – Москва: Высшая школа, 2000

8. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/ Под ред. Л.Г. Мамиконянца – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с., ил.

9. Повышение качества энергии в электрических сетях / Шидловский А.К., Кузнецов.– Киев : Наук. думка, 1985. – 268 с.

10. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / Киев: Изд-во УСХА, 1990. -110 с.

УДК 621.311

Н.О. Мешенко, магістр, науковий керівник В.В. Прокопенко, к.т.н., доцент,

Ю.В. Капшук, головний енергетик ПАТ «Вімм-Білл-Данн Україна»

НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м.Київ, Україна

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

В статті було розглянуто, що являє собою реактивна потужність та види компенсації реактивної потужності. Було оцінено ефективність впровадження автоматичної конденсаторної установки на промисловому підприємстві на прикладі молочного підприємства.

This article was viewed, which is a kind of reactive power and reactive power compensation. Was tested efficiency of automatic capacitor installation in an industrial plant on the example of the dairy company.

Вступ. В останні роки підвищенню якості електричної енергії приділяють велику увагу, тому що якість електроенергії може істотно впливати на витрату електроенергії, надійність систем електропостачання, технологічний процес виробництва.

Вибір раціональної компенсації реактивної потужності призводить до зниження втрат потужності через її перетоки, до забезпечення належної якості споживаної електроенергії за рахунок регулювання і стабілізації рівня напруги в електромережах, досягненню високих техніко-економічних показників роботи електроустановок.

Аналіз стану питання. Одним з основних питань, пов'язаних з підвищенням якості електроенергії в мережах, що вирішуються 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 в системі електропостачання.

Раціональна (оптимальна) компенсація реактивної потужності в промислових електромережах включає в себе широкий комплекс питань, спрямованих на підвищення ефективності 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 і вибору їх виду, раціональної і безпечної експлуатації та захисту. На 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.

Мета роботи. Дослідити ефективність впровадження автоматичної конденсаторної установки на промисловому підприємстві та термін окупності такого проекту на прикладі молочного підприємства ПАТ «Вімм-Білль-Данн Україна».

Методики, матеріали і результати досліджень. Повна потужність, що забирається з мережі, складається з активної потужності, спрямованої на створення корисної роботи, і реактивної потужності. При цьому реактивна потужність створює додаткове навантаження на силові лінії живлення.

Активна енергія перетворюється в корисну - механічну, теплову та ін. енергії. Реактивна ж енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах.

Споживання реактивної потужності від енергопостачальної організації недоцільно, оскільки призводить до збільшення потужності генераторів, трансформаторів, перерізу підвідних кабелів (зниження пропускної здатності), а також підвищенню активних втрат і падіння напруги (через збільшення реактивної складової струму мережі живлення).

Одним з основних напрямків скорочення втрат електроенергії та підвищення ефективності електроустановок промислових підприємств є компенсація реактивної потужності. Цю функцію виконують установки компенсації реактивної потужності (УКРП), основними елементами яких є конденсатори.

Значне зростання використання силової електронної апаратури привело до збільшення гармонійних спотворень в електричних системах, що, в свою чергу, може привести до виникнення резонансу між конденсаторною установкою і індуктивністю мережі. Це

послужило причиною того, що останнім часом все більше і більше постачальників електроенергії вимагають установку неузгоджених конденсаторних систем (конденсаторних батарей з фільтрацією). Неузгоджені конденсаторні системи виконують функцію поліпшення коефіцієнта потужності, запобігаючи збільшення гармонійних складових струму і напруги.

В оптимальному режимі показник споживання реактивної енергії повинен прагнути до одиниці і відповідати нормативним вимогам.

УКРП мають ряд переваг перед іншими пристроями компенсації реактивної потужності:

- малі втрати активної потужності;
- відсутність обертових частин, схильних до механічного зносу;
- невисокі капіталовкладення і витрати при експлуатації;
- відсутність шуму під час роботи;
- простота в монтажі та експлуатації.

Вибір обладнання для компенсації реактивної потужності залежить від типу підключення до мережі обладнання.

Компенсація реактивної потужності може бути індивідуальною і груповою. У першому випадку паралельно навантаженню підключають один або кілька (батарей) косинусних конденсаторів, у другому - кілька конденсаторів (батарей) підключається до головного розподільного щита.

Індивідуальна (нерегульована) компенсація - конденсатори розміщуються безпосередньо біля електроприймачів і комутуються одночасно з ними. В цьому випадку вимикач електроприймача одночасно є і вимикачем конденсатора. Дана компенсація краща при компенсації одиничних, постійно приєднаних протягом тривалого часу потужностей понад 20 кВт.

Недоліки даного виду компенсації: залежність часу включення конденсаторів від часу включення електроприймачів і необхідність узгодження ємності з індуктивністю приймача для запобігання виникнення резонансних явищ.

Групова (як правило, регульована) компенсація. Для вузлів навантаження з широким діапазоном зміни споживання реактивної потужності компенсація здійснюється за допомогою комплектних автоматизованих установок, що складаються з декількох конденсаторів. Регулювання потужності здійснюється в функції реактивного струму навантаження. Для цього установка обладнана спеціальним автоматичним регулятором, а її повна компенсаційна потужність (рівна реактивної потужності встановлених конденсаторів) розділена на окремо комутовані ступені. Даний тип установок створює компенсацію реактивної потужності відповідно до її фактичного споживання.

Щодо досліджуваного підприємства ПАТ «Вімм-Білл-Данн Україна», то на ньому доцільно було б використати групову компенсацію реактивної потужності. Так як це підприємство харчової промисловості і на ньому присутнє молоко (вода), тому встановити компенсацію по місцю не можна.

Економічний ефект від впровадження автоматичної конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності складається з наступних складових:

- економія на оплаті активної та реактивної енергії;
- економія від зниження в підвідних проводах за рахунок зменшення втрат електроенергії в кабельних лініях при зменшенні значення фазних струмів (що в середньому становить в середньому 12% від споживання активної енергії).

Розглянемо економічну складову роботи компенсуючої установки на прикладі з огляду на те, що втрати пропорційні квадрату струму, що протікає по лініях.

Приклад розрахунку:

- до впровадження автоматичної конденсаторної установки $\cos \varphi_1 = 0,8$.
- після впровадження автоматичної конденсаторної установки $\cos \varphi_2 = 0,98$.
- відносну активність, складову струму (збігається за фазою з напругою) приймемо рівною одиниці.

Відносний повний струм становить до впровадження:

$$I_1 = \frac{1}{\cos \varphi_1} = \frac{1}{0,8} = 1,25.$$

Відносний повний струм складає після впровадження:

$$I_2 = \frac{1}{\cos \varphi_2} = \frac{1}{0,98} = 1,02.$$

Зниження споживання електроенергії становить:

$$W = W_1 \cdot \left(I_1^2 - \frac{I_2^2}{I_1^2} \right) \cdot K_B,$$

де K_B – коефіцієнт втрат, що складає 12%,

W – активна енергія, кВт;

W_1 – споживана електроенергія, кВт;

I_1, I_2 – сила струму до і після впровадження відповідно, А.

$$W = W_1 \cdot \left(1,25^2 - \frac{1,02^2}{1,25^2} \right) \cdot K_B = W_1 \cdot (1,56 - 1,67) \cdot 0,12 = W_1 \cdot 0,10.$$

Тобто, в нашому випадку витрати на активну енергію зменшуються на 10%.

Споживана електроенергія W_1 , взята для розрахунку на прикладі даних за перше півріччя 2016 року цеху дитячого харчування ПАТ «Вімм-Білл-Данн Україна», становить 137320 кВт.

З огляду на те, що споживання електроенергії до встановлення автоматичних конденсаторних установок складає в середньому за шість місяців 137320 кВт. То в місяць це:

$$\frac{137320}{6} = 22886,7 \text{ кВт/міс.}$$

Економія електроенергії за рік при цьому складе:

$$W = 22886,7 \cdot 0,10 \cdot 12 \text{ міс.} = 27464,04 \text{ кВт.}$$

Річна економія електроенергії у гривневому еквіваленті з урахуванням тарифу від 05.2017 року складе:

$$W = 27464,04 \cdot 1,94 = 53280,24 \text{ грн.}$$

Вартість конденсаторної установки становить в середньому 77000 грн. з ПДВ .: + кабель + автоматичні вимикачі 32000 грн. = 109000 грн.

Термін окупності при цьому:

$$T = \frac{109000}{53280,24} = 2,05 \text{ року.}$$

Висновки. Як показали результати дослідження, при проведенні заходів по енергозбереженню на промисловому підприємстві харчової промисловості доцільніше використовувати групову компенсацію реактивної потужності у зв'язку з тим, що підприємство використовує рідину (молоко) та воду, то є вірогідність закорочення при

використанні індивідуальної компенсації. Так проект по впровадженню автоматичної установки компенсації реактивної потужності є економічно доцільним та швидко окупується, як видно з розрахунків проведених вище.

Загалом застосування автоматичних конденсаторних установок має ряд переваг:

- установка автоматично відстежує зміну реактивної потужності навантаження в компенсується мережі і відповідно до заданого значенням $\cos \varphi$;
- виключається генерація реактивної потужності в мережу;
- виключається поява в мережі перенапруги, т.я. немає перекомпенсації, можливої при використанні нерегульованих конденсаторних установок;
- контролюється режим експлуатації і робота всіх елементів конденсаторної установки, при цьому враховується час роботи і кількість підключень кожної секції, що дозволяє оптимізувати зносостійкість контакторів і розподілу навантаження в мережі;
- передбачена система аварійного відключення конденсаторної установки і попередження обслуговуючого персоналу;
- можливо автоматичне підключення примусового обігріву або вентиляції конденсаторної установки.

Література.

1. Зимин Е. Н., Кацевич В. Л., Козырев С. К. Электроприводы постоянного тока с вентиляемыми преобразователями. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
2. Жежеленко И. В., Рабинович М. Л., Божко В. М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 160 с.
3. Железко Ю.С., Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009, 456с.
4. Лавров А.Г., Колпаков В. Конденсаторные установки ООО «ЭЛПРИ» - наиболее эффективное средство компенсации реактивной мощности // Силовая электроника. 2011, вып. (№) 3. С. 116 – 119.
5. <http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi>

УДК 621.31

Аспірант Опришко В.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЇ

Сучасні вимоги до мереж електропостачання ґрунтуються на інтелектуалізації існуючих мереж енергопостачання та створенні систем Smart Grid, що забезпечить високий рівень надійності та якості електроенергії. В рамках програм з керування попитом, концепція Smart Grid відіграє важливу роль в рішенні технічних і технологічних проблем в процесі реалізації даної концепції. В мережах електропостачання, необхідно реалізовувати низку програм керування попитом шляхом надання різних сервісів, що в свою чергу вимагає детального аналізу існуючих і розробки нових програм.

Ключові слова: Smart Grid, керування попитом, DSM

Вступ. Однією з ключових тенденцій розвитку світової техніки є перехід до інноваційного перетворення галузі на основі нової концепції Smart Grid [1]. У сучасному розумінні Smart Grid - це мережа, яка може інтегрувати дії всіх

користувачів, підключених до неї, використовує інноваційні засоби інтелектуального моніторингу, контролю, зв'язку і технології самовідновлення, тобто мережа яка вирішує питання підвищення надійності електропостачання та безвідмовності роботи систем, підвищення енергетичної ефективності та збереження навколишнього середовища [2].

Попит споживачів на електричну потужність та енергію в об'єднаній енергетичній системі України має нерівномірний характер та в результаті домінуючої тенденції з залучення значної кількості джерел розосередженої генерації, що особливо негативно впливає на формування та покриття добових графіків електричного навантаження, питання з ефективного керування режимами, попитом в контексті підтримання оптимального рівня графіку електропостачання та зменшенням втрат загострюється. Виникає необхідність в чіткому керуванні режимами електропостачання та аналізі показників, що характеризують ефективність керування даних режимів в контексті зменшення втрат та підвищенні рівня ефективності їх використання.

Однією з ключових функціональних характеристик Smart Grid є створення наступних систем керування: організації розподілення електроенергії (DMS), керування енергоспоживання (EMS), керування даними вимірювання (MDMS), керування релейним захистом (PRC), автоматизованої системи контролю та збору даних (SCADA) та інші [3]. Для забезпечення оптимального рівня покриття та формування графіків електричного навантаження з подальшим ефективним регулюванням режимів споживання необхідно створити комплексну інтелектуальну розподільну систему керування (DEMS). Така система має включати в себе як систему енергетичного менеджменту (EMS), що стає розподіленою (D-EMS), так і систему, яка використовує дієві програми з керування попиту на електроенергію, що за кордоном отримала назву Demand Side Management (DSM). Управління попитом (DSM) – це набір методів і стратегії, які діють, щоб вирівняти добовий графік енергоспоживання. DSM дає змогу контролювати споживачів в контексті ефективного управління системою [4].

У мережах Smart Grid, DSM програми представлено не лише алгоритмами дій нормативно-правового характеру при регулюванні «поведінки» навантаження, а й механізмами прямого доступу до керування навантаженнями на рівні технологічних процесів [5]. Це визначає необхідність точного регулювання енергопроцесів у мережі з врахуванням вимог до якості електроенергії, надійності та стабільності електропостачання. В результаті виникає необхідність в оцінці ефективності роботи системи та врахуванні відповідних чинників, що впливають на якість електричної енергії, а саме: спотворення сигналу, пульсації струму на напруги, тощо. Для отримання бажаного рівня ефективності передачі та споживання електричної енергії та зменшення втрат, необхідно виявити чинники, які безпосередньо впливають та процеси якими ці чинники можна ідентифікувати.

Проведений аналіз показав: сучасні DSM ґрунтуються на інтегральному підході до їх реалізації і охоплюють організаційні та технічні заходи для вирішення поставлених завдань [6]. Основний інструментарій програм DSM:

1. Зменшення пікового навантаження. Це програми спрямовані на вирівнювання графіку споживання, шляхом безпосереднього контролю навантаження, відключення обладнання споживачів або введення розосередженої генерації (РГ).

2. Заповнення провалів. Це програми, які заохочують позапікове споживання. Вони спрямована на збільшення власного споживання в зонах загального спаду споживання енергосистеми. Стимулювання споживачів зазвичай здійснюється значно нижчими тарифами.

3. Стратегії енергозбереження. Це програми для сезонного зниження споживання енергії, головним чином, за рахунок ефективного споживання енергії та зменшення втрат.

4. Побудова навантаження. Це програми для управління сезонним збільшенням споживання енергії. В їх основу покладено введення інтелектуальних системи та процесів, більш ефективного обладнання і сучасних джерел енергії для досягнення більшого рівня енергетичної ефективності.

5. Перенесення навантаження. Це програми, з переміщення навантаження з періоду найбільшого споживання в період низького споживання, не змінюючи загальне споживання. Це також можливо з включенням РГ.

6. Гнучке моделювання. Це набір дій і комплексного планування між генеруючими компаніями і споживачами, з урахуванням потреб в даний момент часу. Це партнерство з метою створення моделі обмеження потужності та об'ємів енергоспоживання, що індивідуальний споживач може використовувати в певний час, через установку пристроїв обмеження навантаження

Для ефективного впровадження програми DSM, необхідно виконати наступні кроки [7]:

- аналіз сучасного стану ринку і перспективи його зростання в короткостроковій і довгостроковій перспективі;
- аналіз різних форм енергопостачання;
- аналіз характеристик навантаження;
- розробка та реалізація системних моделей навантаження;
- інформування споживачів та заохочення їх до участі;
- аналіз загальних витрат для участі та розвитку програми.

Програми DSM дозволяють вирішити наступне коло проблем:

- 1) часткове зменшення піків;
- 2) оптимізація режимів роботи великих електростанцій;
- 3) підвищення енергоефективності.

Важливою стороною функціонування DSM є кількісна оцінка різниці поточного рівня електроспоживання відносно оптимального з врахуванням контрольованого рівня неоптимального споживання. Як один із способів такої оцінки доцільно використати потужність Фризе Q_Φ тому, що навіть при відсутності реактивних елементів, на інтервалі регулювання T_T матиме місце співвідношення $Q_\Phi > 0$ при наявності нерівномірності протікання процесів [8].

При оцінці поточного рівня електроспоживання вираз для потужності Фризе $Q_\Phi^2 = S^2 - P^2$ є фактично квадратичною мірою нев'язки між повною S та активною потужністю P . Застосування Q_Φ для оцінки нерівномірності процесів покажемо на прикладі режиму, що характеризується, діючими значеннями напруги U_i та струму I_i ,

$$Q_\Phi = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \frac{T_i}{T}\right) \left(\sum_{j=1}^n I_j^2 \frac{T_j}{T}\right) - U_0^2 I_0^2}. \quad (1)$$

Величина характеризує ефективність регулювання та визначає рівень неоптимальності передачі енергії з точки зору усунення її втрат.

Аналіз ефективності застосування програм DSM при проведенні моніторингу, прогнозуванні та ретроспективного аналізу вимагає створення методичного та алгоритмічного програмного забезпечення для енергопостачальних компаній. Базою

нормативно-методичного забезпечення є розширення сфери застосування реактивної потужності Фризе, процесів енергетичного обміну та сучасних програм DSM для місцевих енергопостачальних компаній (локальних, районних, обласних).

Література

1. UK Department of Energy and Climate Change. Smarter grids: the opportunity, December [Online]. Available: [http://www.techuk-e.net/Portals/0/Cache/\(DECC\)SmartGrid_web.pdf](http://www.techuk-e.net/Portals/0/Cache/(DECC)SmartGrid_web.pdf); 2009.
2. Smart grids European Technology Platform. Strategic deployment document for Europe's electricity grids of the future, April [Online]. Available: http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf; 2010.
3. *Herb Wade*. Introduction to Demand Side Management. – Demand Side Management Workshop, Republic of Palau, 2010. – 65 p
4. Ghicajanu M. Programs of energy efficiency - Demand Side Management [Text] / M. Ghicajanu. – [International conference on economics, law and management]. – 2008
5. Gellings C.W. Deciding which demand-side management activities to pursue [Text] / C.W. Gellings. - [Efficient use and conservation of energy]. – EOLSS, 2015.
6. Denysiuk S. Increasing the energy efficiency of warehouses using demand-side management mechanisms [Текст] / S. Denysiuk, O. Kotsar, V. Opryshko // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – № 1 (34). – С.39-45. – ISSN 2226-3780
7. Денисюк С.П. Дослідження програм з керування попиту на електроенергію та аналіз ефективності їх використання [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – том 3 (29) – С.69-73. – ISSN 2226-3780
8. Опришко В.П. Регулювання режимів електропостачання в локальних системах microgrid [Текст] / В.П. Опришко // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С.69-73. – ISSN 1607-7970

УДК

Є.Ю. БОДНАР керівник В.О. ВІНОГРАДОВ-САЛТИКОВ, канд. техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ КАМЕР СТАТИЧНОГО ТИСКУ ТА VAV-ТЕРМІНАЛІВ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ.

Розглянуто застосування камер статичного тиску у системах припливно-витяжної вентиляції та комбінування їх з VAV-терміналами.

Considered application of chambers of the static pressure in the supply and exhaust ventilation and combine them with VAV-terminals.

Вступ. З розвитком систем припливно-витяжної вентиляції, з'явилась можливість їх застосування майже в усіх видах будівель, ці системи забезпечували повітрообмін та комфортні умови для життя та функціонування людини. Основна мета для будь якої сучасної системи припливно-витяжної вентиляції це відбір нагрітого та зволоженого, вище комфортних умов, зі збільшеним вмістом CO₂ повітря з приміщення з подальшою утилізацією теплоти та подача свіжого, охолодженого та очищеного повітря з навколишнього середовища. З часом повстало питання регулювання та розподілу повітря без суттєвих втрат теплоти та з найменшим гідравлічним опором.

Аналіз стану питання. На сьогоднішній день в Україні не розповсюджені камери статичного тиску та VAV-термінали. В повітряних комунікаціях застосовуються пластикові або алюмінієві, чи жерстяні жорсткі та гнучкі канали, які розташовані за типовими схемами без врахування рівномірного розподілу повітря по приміщеннях, також відсутність балансу тисків сприяє виникненню в окремих місцях протягів, що негативно впливає на здоров'я людини, а у медичних закладах і зовсім не припустимо.

З появою ЕС-моторів (Electronically commutated motors) з'явилась можливість регулювати повітряний потік у системах вентиляції та індивідуально керувати як припливом так і витягом. Зміна витрати повітря у звичайній системі вентиляції призводить до низького тиску, такі системи вимагають додаткового балансування та регулювання опорів.

Камера статичного тиску також має назву Semi-rigid ducting systems чи Radial Ducting. Конструкція таких систем представляє собою камеру з металу або пластику до якої з однієї сторони під'єднується повітропровід великого діаметру, а з іншої сторони декілька повітропроводів меншого діаметру, як правило вони виконуються напівжорсткими для більшої зручності монтажу. Приклад виконання такої систем зображений на Рис.1.

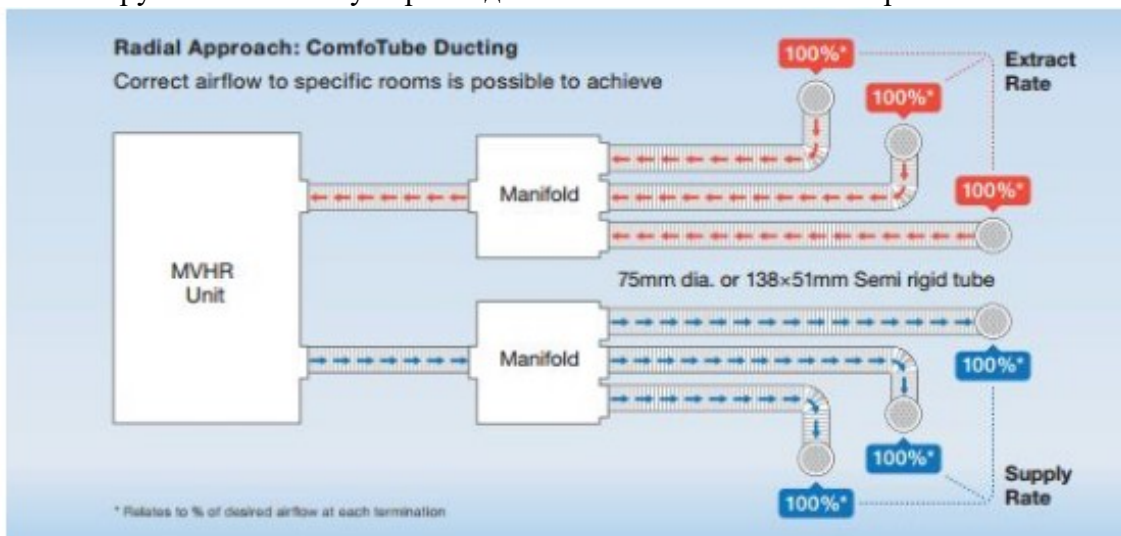


Рис. 1 Принципова схема застосування камер статичного тиску.

VAV-термінал (Variable air volume terminal) представляє собою клапан, чи заслінку з електроприводом та трубкою Піто-Прантля (прилад для конвертування тиску потоку в

управляючий сигнал). Електропривід фіксує та за керуючим сигналом змінює кут лопаті клапану. Завдяки цьому тиск у системі лишається незмінним, при змінній витраті повітря. Загальний вигляд та принципова схема регулюючого комплексу приладів зображені на Рис.2 та Рис.3.

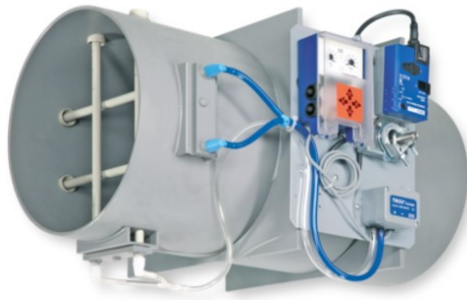


Рис.2 Загальний вигляд типового VAV-терміналу.

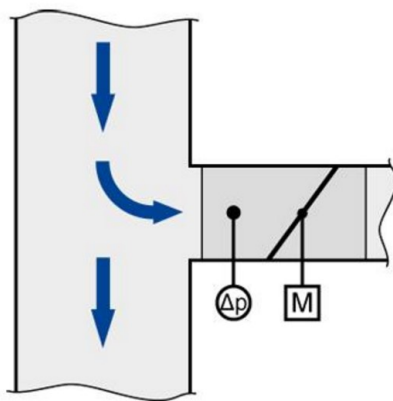


Рис.3 Принципова схема використання

Мета. Довести корисність та доцільність використання камер статичного тиску та VAV-терміналів у системах вентиляції за допомогою моделювання у програмному середовищі SolidWorks.

Дослідження та їх результати. Моделювання буде проводитись за допомогою розширення Flow Simulation.

Було побудовані моделі лінійної та радіальної системи – Рис.4 та Рис.5 відповідно.

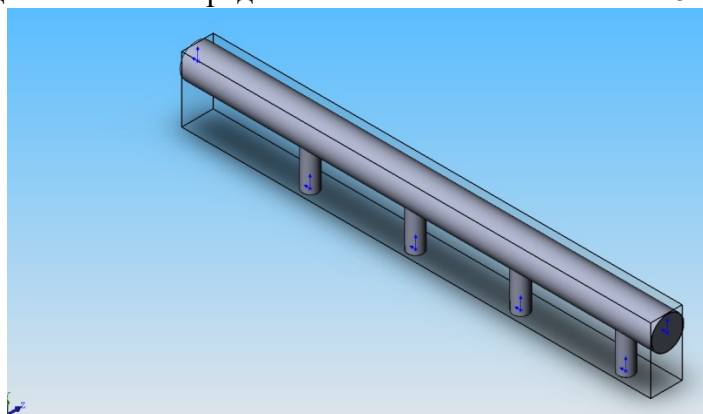


Рис.4 Лінійний повітропровід

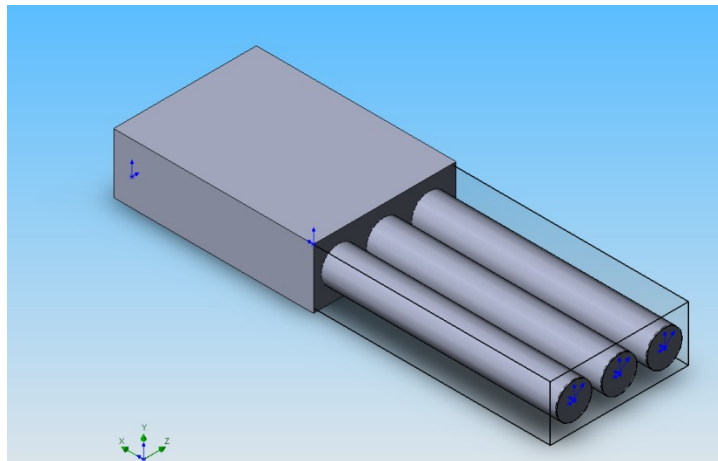


Рис.5 Радіальний повітропровід

Моделювання проводилось за однакових умов об'ємної витрати вхідного повітря - 400 метрів кубічних на годину.

Результати вимірювань:

Для лінійної системи:

Середовище - Рідина; Ітерація = 93

X [m]	Y [m]	Z [m]	Швидкість [m/s]
0,14	1,54	1,91	6,83
0,81	1,54	1,91	4,70
1,48	1,54	1,91	3,63
2,15	1,54	1,91	2,90

Для радіальної системи:

Середовище - Рідина; Ітерація = 115

X [m]	Y [m]	Z [m]	Швидкість [m/s]
-0,63	0,29	0,27	12,97
-0,63	0,29	0,37	12,44
-0,63	0,29	0,47	12,33

Таким чином вирівнюється розподіл швидкостей та витрати повітря у камері статичного тиску на відміну від лінійного повітропроводу. Для балансування лінійної системи необхідно буде використати 1 загальний(керуючий) VAV-термінал, та 4 підлеглих. Камера статичного тиску є збалансованою сама по собі завдяки конструкції, отже для балансування та оптимізації такої системи необхідно використати 1 VAV-термінал, що знижує кошові витрати.

Висновок. При використанні камери статичного тиску розподіл швидкостей, тиску та витрати повітря є більш рівномірним, але, слід зазначити що при регулюванні витрати повітря необхідно використовувати VAV термінал для більш високого тиску та швидкостей.

Список використаної літератури.

1. EN 15240. Ventilation for buildings. Energy performance of buildings. Guidelines for inspection of air-conditioning systems. (Вентиляція будівель. Енергоефективність будівель. Керівництво по контролю систем кондиціонування повітря, розробник CEN / TC 156).

2. EN 15239. Ventilation for buildings. Energy performance of buildings. Guidelines for inspection of ventilation systems (Вентиляція будівель. Енергоефективність будівель. Керівництво по контролю вентиляційних систем, розробник CEN / TC 156).
3. EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (Вихідні параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичної ефективності будівель щодо якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики, розробник CEN / TC 156).
4. <http://www.trox.de/vvs-regelgeraete/serie-tvr-ex-e39da6226cd3f010>
5. www.systemair.com/Global/Products/air-distribution-products/accessories-air-distribution-products/accessories-air-volume-control

УДК536.24; 628.81

Д.І.Вовченко, студент, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

ПРО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРО-КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ

Анотація - Проблема інтенсифікації процесів тепло- і масообміну під впливом зовнішніх електричних полів є актуальною з точки зору оптимізації режимів роботи теплотехнічного обладнання. Електро-конвективні явища необхідно розглядати з точки зору створення якісно нових систем, які забезпечують швидкість, економічність та ефективність дії теплообмінного устаткування. При накладенні на теплоносій зовнішнього електричного поля співвідношення коефіцієнта тепловіддачі в полі і без нього може скласти сотні відсотків.

Ключові слова – теплообмін, теплопередача, електро-конвективні явища, конденсація.

D.I.Vovchenko, student, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor
National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING ELECTRO-CONVECTIVE PHENOMENA TO HEAT TRANSFER ENHANCEMENT DURING CONDENSATION

Annotation – The problem of intensification of heat and mass transfer under the influence of external electric fields is relevant from the point of view of optimization of modes of thermal equipment. Electro-convective phenomena must be considered from the point of view of creation of qualitatively new systems which provide speed, efficiency and the effectiveness of the heat exchange equipment. When applied to the heat carrier of an external electric field, the ratio of heat transfer coefficient in the field and without it can be hundreds of percent.

Key words – heat transfer, heat transfer, electro-convective phenomena, condensation.

Вступ

Основним завданням в області електро-конвективних явищ, був і продовжує залишатися пошук нових ефективних і легко керованих способів інтенсифікації теплообміну. До таких можна віднести способи, що полягають в накладенні на теплоносій зовнішнього електричного поля. Залежно від умов теплообміну відношення коефіцієнта тепловіддачі в

полі і без нього може скласти сотні відсотків. В даний час не викликає сумнівів, що причиною такої великої інтенсифікації теплообміну в електричному полі служить електроконвективне перемішування теплоносія. Особливий інтерес викликає застосування електричних полів при конденсації із метою зміни режимів, пошуків альтернативних способів видалення конденсату і подальшої інтенсифікації тепло-масообмінних процесів.

Аналіз стану питання із застосуванням електро-конвективних явищ при конденсації.

До тепер залишається актуальною в теплоенергетиці проблема економії ресурсів за рахунок інтенсифікації тепломасообмінних процесів. Ефективним методом інтенсифікації конденсації є використання електричних полів. Але подібних досліджень дотепер недостатньо. Прикладом можуть слугувати наступні роботи. Конденсація в вертикальних трубах теоретично і експериментально вивчалася в роботах Chato [1]. Chen та ін. [2] аналізували плівкову конденсацію у вертикальній трубі і отримали розрахункову залежність для середнього числа Нуссельта. У роботах Webb [3] розглядалася інтенсифікація конденсації холодоагентів - R-134a і R-22 за допомогою мікрооребріння (при зміні висоти ребер від 0,1 до 0,25 мм).

В частині відомих досліджень [4] була показана можливість використання атмосферної вологи в електрогідродинамічному генераторі і вивчена конденсація парогазової суміші за наявності і відсутності електричного поля

Масообмін теж легко піддається впливу електричного поля в частині його інтенсифікації. Експериментально встановлено, що масообмін значно посилюється під впливом зовнішнього електричного поля в умовах фазового переходу. Наприклад, при конденсації пароповітряної суміші [5], що вельми важливо в інженерних додатках. Вражають можливості застосування електричних полів для розподілу гетерогенних фаз, зокрема для очищення середовищ, їх сепарації, фракціонування і т.п.

Мета роботи

Дана робота присвячена проблемі інтенсифікації процесів тепло- і масообміну під впливом зовнішніх електричних полів при конденсації. Мета її полягає в тому, щоб відобразити стан проблеми головним чином з точки зору прикладного аспекту, систематизувати наявні матеріали, а також намітити деякі перспективи розвитку досліджень в області електро гідродинаміки і процесів переносу. Цікавим також є вивчення впливу електричного поля на режими конденсації водяної пари, в тому числі із парогазової суміші.

Результати досліджень

Типова установка для дослідження процесу конденсації за наявності дії зовнішніх електричних полів представлена на рис. 1 [4]. Робоча рідина нагрівається до кипіння в ємності 9. Утворена пара надходить в нижню частину вертикальної труби де змішується із повітрям. Конденсація відбувається на внутрішній поверхні труби. Утворений конденсат стікає вниз і потрапляє в мірний посуд. Ззовні труба обдувається потоком повітря, швидкість якого може регулюватися. Усередині труби повинен бути встановлений мідний, в лаковій ізоляції, електрод діаметром не менше 3 мм з насічками. На внутрішній електрод повинна подаватися постійна напруга від високовольтного джерела. Труба, яка служить другим електродом, заземляється через міліамперметр. Витрата пари вимірюється балансовим методом за масою води яка випарувалася відповідно до тривалості проведення експерименту. Температура поверхні труби вимірюється за допомогою термопар, встановлених на початку, всередині і вкінці труби. Вологість і температура пари на виході з труби визначається за допомогою психрометра. Витрата повітря, що подається в конденсатор, вимірюється за показаннями ротаметра.

Швидкість повітря, що обдуває зовнішню поверхню труби, вимірюється за допомогою анемометра. Експерименти проводяться при зміні параметрів процесу в наступних

діапазонах: концентрація газів, які не конденсуються, складала 0-35%, швидкість обдування 0-3,5 м / с, напруга до 15 кВ. Вибір діапазону зміни швидкості обдування поверхні труби зумовлений діапазоном швидкостей вітру. Величина максимальної напруги обмежується пробоем міжелектродного проміжку.

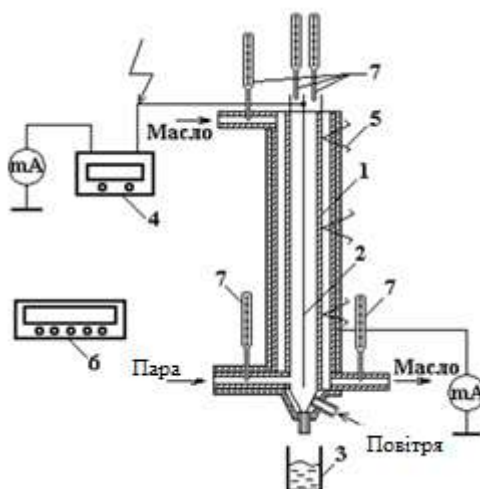


Рис. 1. Схема експериментального стенду для дослідження електро-конвективних явищ при конденсації.

1 – труба - конденсатор пари; 2 – високовольтний електрод; 3 – збірник конденсату; 4 – високовольтне джерело; 5 – термопари; 6 – блок вимірювання температур; 7 – термометри

У дослідженнях з розділення фаз при конденсації пароповітряної суміші або при електричному очищенні діелектричної рідини від твердих частинок (Рис.2) емальова ізоляція високовольтного електрода повинна перфоруватися, щоб ці місця стали джерелами коронного розряду, який зумовлює інтенсифікацію теплообміну. При цьому співвідношення між часом релаксації принципової ролі не грає: електричне очищення добре здійснюється як для непровідних, так і для напівпровідних, або провідних частинок, що пояснюється ефективністю їх електричного заряду в полі коронного розряду.

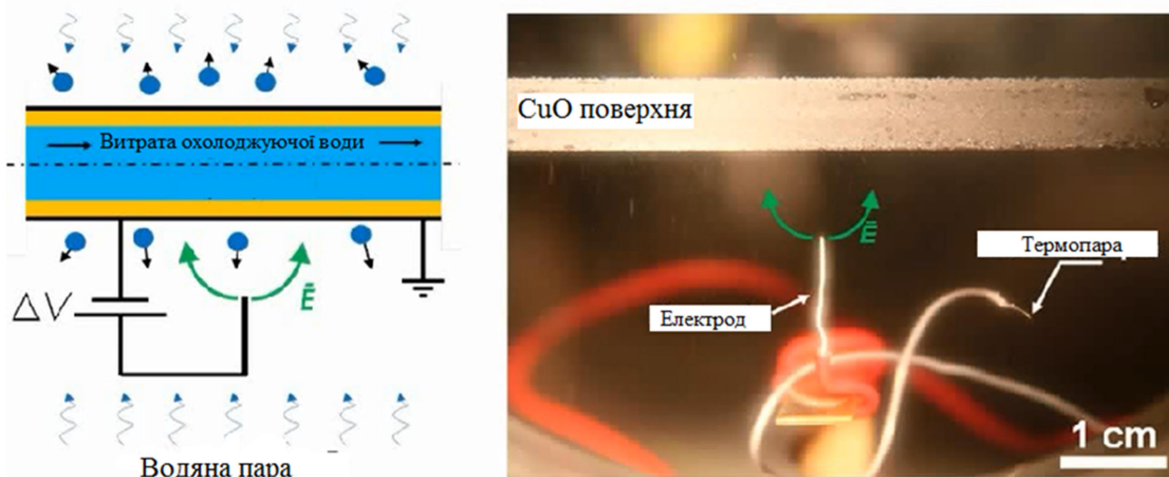


Рис. 2. Схема ділянки конденсації пароповітряної суміші.

Вплив зовнішніх електричних полів на теплообмін процесу обумовлюються електрогідродинамічними (ЕГД) явищами, які проявляються за допомогою деформацій границі розділу між фазами середовища, або через електроконвективне перемішування (Рис.3).

Явища розподілу «рідка плівка - пара», вимагають різниці електричних тисків по різні сторони границі. Ця різниця викликає нестійкість плівки і її деформацію, аж до розриву, що в остаточному підсумку приводить до посилення тепломасопереносу (Рис.4). Цей фізичний механізм впливу електричного поля на процес конденсації покладено в основу інтенсифікації тепло-масообмінних процесів. І якщо у випадку дуже високоомних рідин таке трактування впливу поля на конденсацію представляється прийнятною, то для реальних рідин, в яких електропровідність хоч і мала, але все ж відмінна від нуля, вона представляється не завжди доречною.

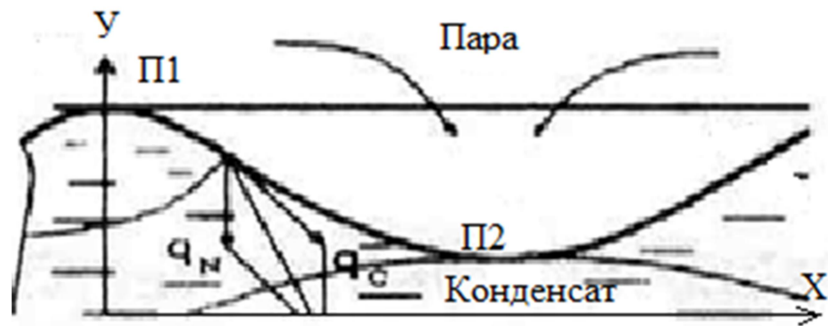


Рис.3. Вплив зовнішніх електричних полів на процес конденсації.

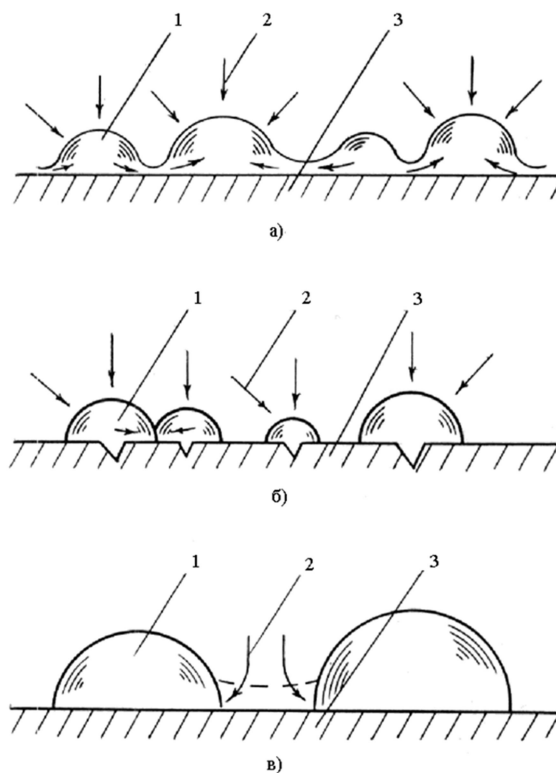


Рис.4. Явища на границях розподілу фаз «пара - конденсатне утворення - поверхня теплообміну»:

- а) - нестійкої плівки; б) - центрів конденсації; в) - співіснування зародкової плівки та центрів конденсації; 1 – конденсаційні утворення; 2 – напрямок руху пари або атмосферної вологи, який може співпадати з напрямком дії електричного поля; 3 - поверхня конденсації;

На рис. 5 представлена залежність відносного коефіцієнта тепловіддачі від концентрації повітря при різних напругах електричного поля.

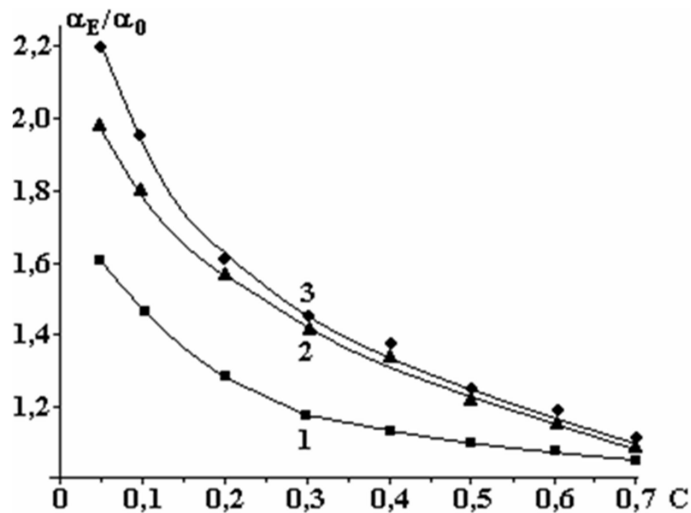


Рис. 5. Залежність відносного коефіцієнта тепловіддачі від масової концентрації повітря при різній напрузі поля, кВ / см: 1 - 10; 2 - 15; 3 - 20; $V_{\text{парі}} = 0,25$ м / с:

Максимальна інтенсифікація становила 2,2 і досягалася при концентрації 5%. Зі збільшенням концентрації повітря відбувається монотонне зниження відносного коефіцієнта тепловіддачі у всьому інтервалі напруги поля. Поведінка кривих свідчить про те, що дифузійний термічний опір газів, грає важливу роль навіть при дуже малих їх концентраціях.

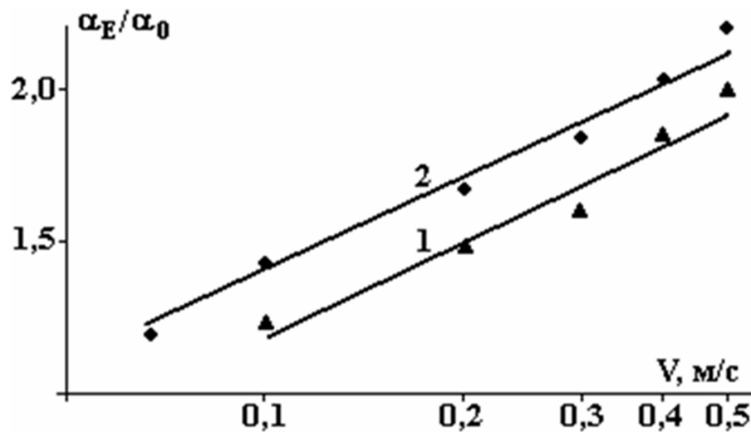


Рис. 6. Залежність відносного коефіцієнта тепловіддачі від наведеної швидкості паро газової суміші при різній напрузі поля, кВ / см: 1 - 15; 2 - 20;

Підвищення швидкості парогазової суміші (рис. 6) сприяє турбулізації стікання плівки конденсату і вирівнюванню концентрації газу, який не конденсується, по поперечному перетині труби, що покращує умови теплообміну.

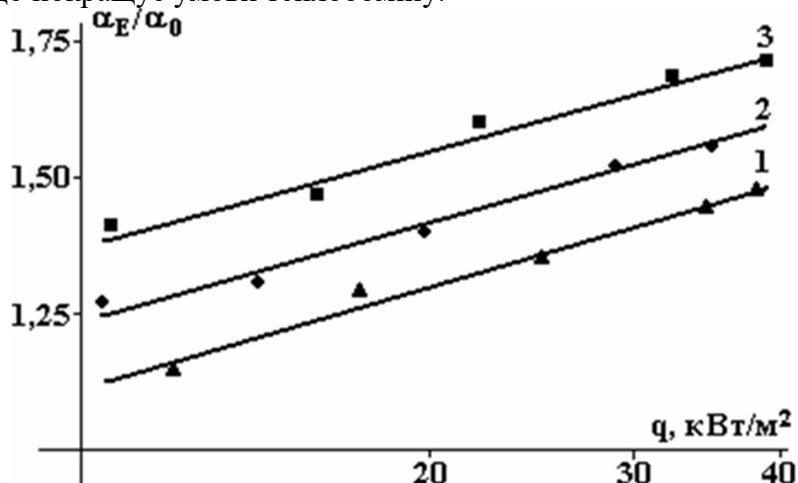


Рис. 7. Залежність відносного коефіцієнта тепловіддачі від щільності теплового

потоків при різній напрузі поля, кВ / см: 1 - 10; 2 - 15; 3 - 20; $V = 0,4$ м / с

Рис.7 свідчить про те, що зростання щільності теплового потоку призводить до збільшення відносного коефіцієнта тепловіддачі. При цьому класичний закон Ньютона - Ріхмана при наявності електричного поля може потребувати певної корекції.

З рис. 5-7 видно, що із збільшенням напруги електричного поля зростає і відносний коефіцієнт тепловіддачі. Подальшим завданням є фізична інтерпретація результатів і їх узагальнення методами теорії подібності.

Висновки

Підтверджена можливість суттєвої інтенсифікації теплообміну в електричному полі за рахунок турбулізації плівки конденсату, зміни режимів конденсації, організації альтернативних способів видалення конденсату і зменшення дифузійного опору переносу пари. При цьому може бути досягнуто багаторазове збільшення інтенсивності теплообміну.

Суттєва інтенсифікація процесу конденсації за наявності електро-конвективних явищ пояснюються на основі гіпотези про головну роль в електрогідродинамічних генераторах взаємодії коронного розряду. Однак, потрібні подальші дослідження, як в експериментальному плані, так і теоретичному.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні компактних конденсаторів пари, в тому числі електрогідродинамічних генераторів.

Література

1. *Chato J. C.* Laminar Condensation inside Horizontal and Inclined Tubes, Ph.D. dissertation, Department of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, MA. 1960. – 142 p.
2. *Chen S. L., Gerner F. M., Tien C. L.* General Film Condensation Correlations, *Exp. Heat Transfer*, 1, 1987. P. 93–107.
3. *Webb R.L.* Principles of Enhanced Heat Transfer, Wiley-Interscience, New York. 1994. – 237p.
4. *Гросу Ф.П., Болога М.К., Поликарпов А.А., Моторин О.В.* О моделировании процессов влагооборота и распределения электрических зарядов в атмосфере // *Электронная обработка материалов*, 2007. - № 3. - С. 29 – 35.
5. *Савин И.К., Дидковский А.Б., Болога М.К.* Особенности теплообмена при конденсации пара из парогазовой смеси в диапазоне малых температурных перепадов в условиях ЭГД воздействия // *Электронная обработка материалов*, 1983.- № 5.- С. 52 -56.

УДК536.24; 628.81

О.М. Шевченко, студент, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

ПРО ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГІДРОФОБНИХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГОТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація - Застосування теплообмінних апаратів із гідрофобними поверхнями довготривалого використання сприяє створенню якісно нових систем, що мають малі масо-габаритні характеристики. Такі поверхні забезпечують швидкість, економічність та ефективність дії теплообмінного устаткування. Серед багатьох гідрофобізаторів виникає потреба виокремити ті, які дозволяють вирішити комплексну задачу інтенсифікації теплообміну з одночасним захистом теплообмінних поверхонь.

Ключові слова – теплообмін, теплопередача, нанотехнології, ліофобні та гідрофобні поверхні.

O.M. Shevchenko, student, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor
National technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

ABOUT MODERN HYDROPHOBIC LONG-TERM USING SURFACES APPLICATION

Annotation - The application of heat exchangers with hydrophobic surfaces of long-term using promotes the creation of qualitatively new systems having small mass-dimensional characteristics. These surfaces provide the speed, efficiency and effectiveness of heat exchange equipment. Among the many water repellents, there is a need to identify those that allow solving a complex problem of heat transfer intensification while simultaneously protecting the heat transfer surfaces.

Key words – heat exchange, heat transfer, nanotechnology, lyophobic and hydrophobic surfaces.

Вступ

Останнім часом набуло широкого застосування гідрофобізаторів в різних галузях промисловості [1]. Особливий інтерес такі поверхнево-активні речовини і покриття на їх основі представляють для теплоенергетики [2]. Кінцевою метою є вирішення комплексної задачі інтенсифікації теплообміну з одночасним захистом теплообмінних поверхонь. В результаті такий підхід повинен привести до створення якісно нових високоефективних теплообмінних систем із малими масо-габаритними характеристиками [3-8].

Серед сучасних багатофункціональних покриттів поверхонь виокремлюються речовини здатні створювати ефект «третього тіла» з одночасною суттєвою інтенсифікацією процесу теплообміну і значним уповільненням корозійно-ерозійних процесів [9]. Нанотехнології дозволяють отримати і дослідити новітні композиції з елементами органічних сполук. До них відносять гідрофобізатори лінійки речовин «Гідроефект-Нанопротек», різноманітні модифікації PTFE-речовин та ін. Компоненти цих речовин дозволяють не тільки створити надійне довготривале захисне покриття і змінити режим конденсації і навіть отримати супергідрофобні поверхні

Аналіз стану питання із застосуванням гідрофобних поверхонь

В даний час однією з ключових проблем теплоенергетики є проблема економії матеріальних та енергетичних ресурсів за рахунок інтенсифікації технологічних процесів. Процес теплообміну при конденсації пари займає важливе місце в нафто- і газохімії, енергетиці, холодильній техніці. Тепловіддача при конденсації [10] часто лімітує весь процес теплопередачі, оскільки через низьку теплопровідність термічний опір плівки конденсату зазвичай перевищує інші складові загального термічного опору.

Відомі різні способи інтенсифікації теплообміну при конденсації. Високі значення коефіцієнтів тепловіддачі можна отримати при краплинній конденсації пари [1, 6-8]. Досягти стійкого характеру краплинної конденсації можна лише в дуже обмежених випадках – при застосуванні ліофобізаторів, полімерних покриттів, покриттів із благородних металів. При цьому виникає ціла низка проблем для довготривалого підтримання процесу краплинної конденсації на теплообмінних поверхнях. Застосування класичних ліофобізаторів дає ефект як правило на нетривалий час. Хімічні сполуки часто змиваються з теплопередаючої поверхні. А полімерні покриття мають низьку теплопровідність, тому повинні мати товщину близько декількох мікрон. Вони можуть відшаровуватися або навіть руйнуватися під впливом температурних перепадів та динамічної дії потоку теплоносія. Покриття з благородних металів також схильні до аналогічних явищ і, крім того, надзвичайно дорогі.

Метод ліофобізації теплообмінної поверхні різного профілю за допомогою сучасних поверхнево-активних речовин (ПАР) з метою отримання краплинного режиму конденсації є одним з найбільш ефективних способів інтенсифікації теплообміну [1-9]. Металева поверхня в більшості випадків являється гідрофільною, а в окремих випадках у краплинному або псевдо краплинному режимах може бути сконденсована лише перша невеличка порція пари,

потім настає заливання теплообмінної поверхні і конденсація триває в плівковому режимі. Тому застосування ПАР дозволяє змінити гідрофільність поверхні на гідрофобність при зменшенні поверхневого натягу.

Поряд з нанесенням на теплообмінну поверхню полімерів і плівок благородних металів, які пов'язані з дуже складними технологіями, все більше визнання знаходить стимуляція краплинної конденсації з використанням органічних поверхнево-активних речовин здатних створювати ефект «третього тіла» [11-12]. Органічні ліофобізатори, взаємодіючи з поверхнею конденсації, забезпечують її гідрофобність.

Мета роботи

Важливою проблемою для досягнення довготривалих результатів краплинної конденсації є корозійність теплообмінної поверхні. Адже, останнім часом спостерігається різке погіршення якості теплоносіїв, внаслідок чого посилюється відкладення продуктів корозії та солей жорсткості на внутрішніх поверхнях теплообмінного обладнання. В результаті суттєво падає тепловіддача, знижуються гідродинамічні характеристики теплообмінників і, відповідно, зростають енергетичні витрати. З іншого боку, зменшується довговічність теплообмінного обладнання через корозійно-ерозійні процеси. Тому необхідно застосовувати засоби, які збільшать строк експлуатації устаткування за рахунок зменшення зношення її поверхонь. Такі теплообмінні системи повинні вирізнятися простотою конструкції, дешевизною, екологічністю, низькими експлуатаційними витратами. Пошук надійних довготривалих сучасних ПАР, методів нанесення їх на поверхню, оптимізація режимів роботи теплообмінного обладнання й до тепер залишаються актуальними і є метою наступних досліджень.

Результати досліджень для довготривалого використання гідрофобних поверхонь

До теперішнього часу відоме використання близько сотні різних речовин як стимуляторів краплинної конденсації [1,6,8]. Але більшість з цих речовин не здатна вирішити комплексну задачу інтенсифікації теплообміну з одночасним захистом поверхонь на довготривалий час. Натомість, успіхи нанотехнологій у створенні новітніх композицій дозволила впритул наблизитися до вирішення цієї складної проблеми. Особливий інтерес необхідно приділити тим субстанціям, які здатні створити на молекулярному рівні покриття з ефектом нанокераміки, або «третього тіла».

За останні декілька років на кафедрі Теоретично і промислової теплотехніки НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» був проведений ряд досліджень процесу конденсації на металевих поверхнях, оброблених із використанням сучасних поверхнево-активних речовин [9, 11-14]. Дослідний стенд на базі розбірних теплообмінних апаратів передбачав можливість зміни як робочих поверхонь, так і візуально-дослідних ділянок.

Основним елементом візуально-дослідної ділянки міг бути горизонтальний кожухотрубний розбірний теплообмінник, або розбірний теплообмінний апарат РТА(ГС)-12-Р-6-4-0,064-1К, які оснащені засобами вимірювання температури. В кожухотрубному апараті поверхня теплообміну являє собою шаховий пучок із труб зовнішнім діаметром 28 мм. Відносні поздовжній і поперечний кроки пучка склали $S1/d=S2/d=2,35$. Пластинчастий РТА - 12 на базі промислових гофрованих поверхонь дозволяв варіювати парну і непарну кількість ходів по обом теплоносіям.

Стандартними матеріалами для робочих поверхонь слугували мідь місткі сплави такі, як Л-68, МНЖ-5-1, мельхіор, мідь М-1, алюмінієві сплави АЦ, ДЦ, леговані й вуглецеві сталі. Для пластин РТА розглядалися також корозійно стійка сталь, титан, (в тому числі й стабілізований паладієм), нікелеві сплави.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися такі ПАР: мастило на основі тефлону, РТФЕ спрій, спрій на основі кремнійорганічних полімерів, аерозолі класу Silix, Pluvonix та WD-40, консервуючі поліролі, спеціальні присадки Нанопротек здатні утворювати надтонку захисну плівку. Ці речовини виробництва України, Росії, Німеччини,

Польщі заздалегідь розфасовані і зберігаються в герметично закритих місткостях під деяким тиском. Вони - термостабільні, жаростійкі, мають хорошу адгезію до поверхні, високі діелектричні властивості.

Виходячи з отриманих попередніх результатів, перевага була надана спрію PTFE, речовинам Гідроефект, Nanoprotech Regular та Нанопротек Антикор, які наносилися під тиском і утворювали надійну захисну оболонку поверхні від окиснення на мономолекулярному рівні.

Дослідження візуальної картини процесу конденсації (Рис.1) дозволило встановити наступне: на поверхні теплообміну можуть співіснувати конденсатні утворення різних форм, а саме у вигляді окремих краплин, локальних плівок і суцільної плівки. Співіснування цих утворень спостерігаються в динаміці для різних періодів функціонування робочих поверхонь. При стійкій краплинній конденсації переважають окремі краплини, при руйнуванні покриття з'являються локальні плівки які з плином часу можуть перейти в суцільну плівку. Мінімізація негативних чинників які руйнують покриття і повторна обробка теплообмінної поверхні дозволяють відновити якісний і кількісний режим роботи теплообмінної поверхні в краплинному режимі конденсації.

З експериментальних спостережень випливає, що з часом дія поверхнево-активних речовин може послаблюватись (Рис.2). В результаті чого захисні і гідрофобні властивості поверхні конденсації можуть погіршуватись. При цьому посилюється дія корозії. В результаті поступово зменшується інтенсивність теплообміну та відбувається перехід режиму краплинної конденсації до плівкової з погіршенням теплотехнічних характеристик самого устаткування.



Рисунок 1 – Процес краплинної конденсації на поверхні мідної горизонтальної трубки, обробленої Нанопротеком: а – свіжо нанесене покриття, б – через рік роботи.

Вплив корозії має в цілому негативний характер. Так окисні плями поступово вкривають теплообмінну поверхню і призводять до порушення гідрофобного покриття. Збільшується шорсткість поверхні та змінюється геометрична конфігурація конденсатних утворень, спричиняючи зміну кута змочування та перехід від сферичної до інших форм.

Експериментальним шляхом з'ясувалось напрацювання на відмову захисного покриття на базі новітніх речовин. Робота здійснювалась як в замкненому, так і в розімкненому контурі, як безперервно, так і з простоями в роботі. Інтенсивність корозійних процесів на поверхнях, захищених ПАР, була в декілька разів нижчою ніж в дистилаті (Рис.2). На стабільність роботи поверхні з мінімальною швидкістю корозії і максимальною інтенсивністю теплообміну не впливали характер зовнішніх впливів і періодичність функціонування обладнання.

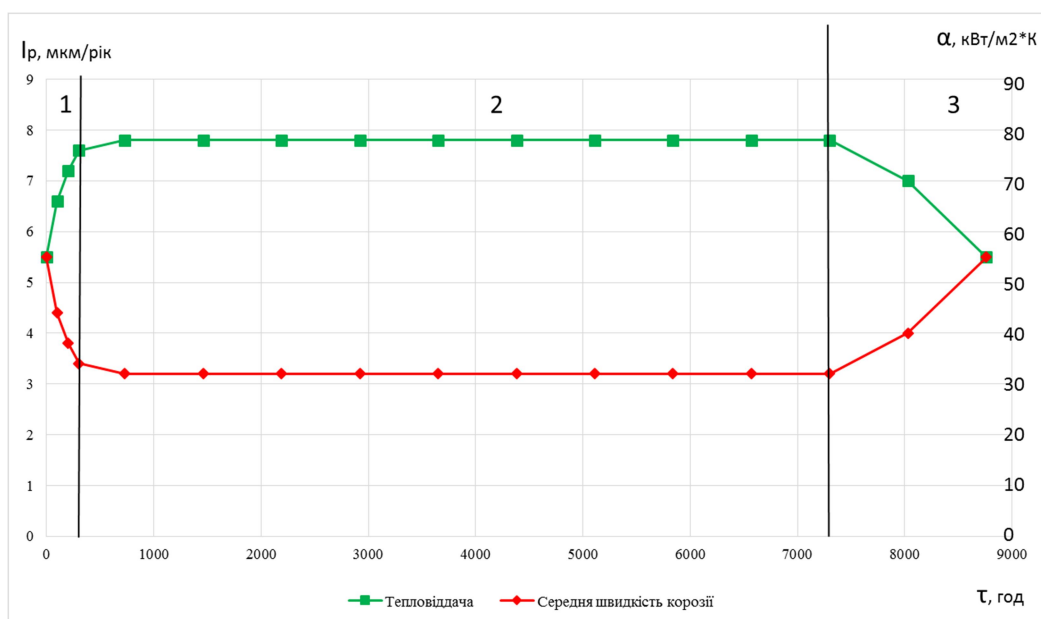
Порівняно із дією звичайних конденсаторів без застосування поверхнево-активних речовин, можна відзначити, що використання сучасних ПАР може слугувати інгібітором корозії.

В процесі нанесення і роботи покриття на початковому етапі, зменшується швидкість

корозії, паралельно з цим відбувається ріст коефіцієнтів тепловіддачі. На протязі усього терміну дії поверхнево-активної речовини для теплообміну характерні стійкі високі значення коефіцієнтів тепловіддачі при фіксованому значенні температурного напору. Швидкість корозії при цьому мінімальна.

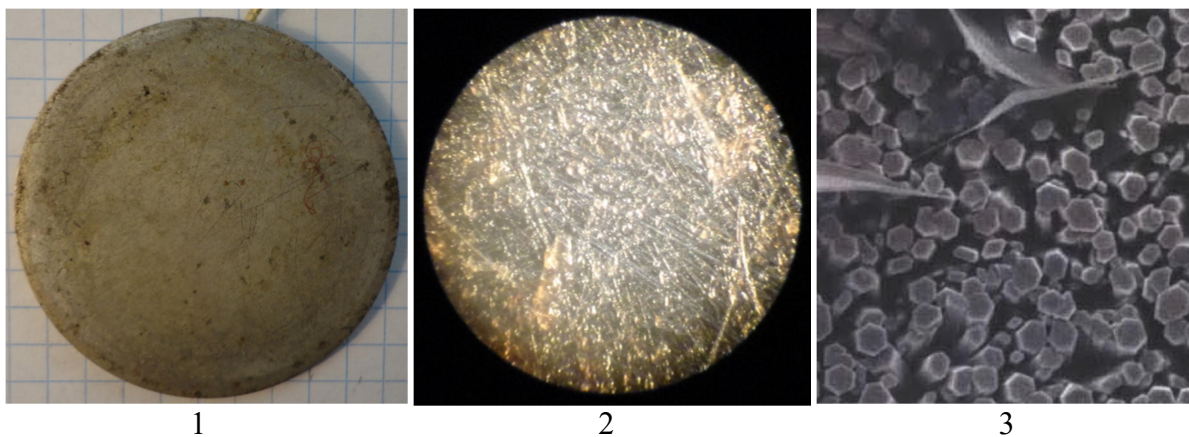
Погіршення властивостей гідрофобного покриття аж до його остаточного знищення супроводжується одночасним прискоренням корозійних процесів та зниженням коефіцієнтів тепловіддачі і поступовим переходом від краплинного режиму конденсації до змішаного, а потім і до плівкового.

Застосування багатофункціонального покриття [5] дозволяє отримати якісну краплинну конденсації водяної пари з високими значеннями коефіцієнтів тепловіддачі. Нанопокриття теплообмінних поверхонь мають властивість самоорганізації, утворюють довговічний мономолекулярний прошарок, який може мати властивості нанокераміки. Нанотехнології ведуть до створення надзмочуваних поверхонь, які мають властивість самоочищення і в перспективі необмежений термін використання. В перспективі мова йде про отримання супергідрофобних поверхонь з краєвими кутами змочування, що перевищують 140 – 150 кутових градусів.



1- період нанесення та стабілізації покриття, 2 – термін стійкої роботи покриття, 3 – втрата покриттям своїх властивостей

Рисунок 2 – Характер залежності зміни за час роботи теплообмінної поверхні середньої швидкості корозії та тепловіддачі



1- фото зразка, 2 – оптичне збільшення 120x, 3 – цифрове збільшення 1400x

Рисунок 3 – Дослідний зразок Al

Дослідження поверхні металу за допомогою оптичного та електронного мікроскопу (Рис.3) дало змогу спостерігати структуру поверхні до і після нанесення різних типів гідрофобізаторів. В результаті встановлено, що нанесення речовин типу Нанопротек дозволяє згладити профіль мікронерівностей теплообмінної поверхні. Це дозволяє наблизити якість металевих поверхонь аж до дзеркальних. Наявність на поверхні ефекту «третього тіла» сприяє створенню надзсмочуваних поверхонь за рахунок збільшення краєвих кутів для конденсатних утворень. Такий висновок отримано незалежно від якості форми, розмірів і орієнтації теплообмінної поверхні в просторі.

Для великогабаритних теплообмінних апаратів існує небезпека погіршення робочих характеристик внаслідок часткового або повного залиття конденсатом, навіть, і для супергідрофобних поверхонь. Наприклад, для кожухотрубних апаратів на перших рядах коефіцієнти тепловіддачі при краплинній конденсації були більшими від аналогічних для плівкової (Рис.4). У наступних рядах труб при краплинній конденсації коефіцієнти залишаються майже незмінними, хоча можуть поступово зменшуватись для пучків великої рядності. При плівковій інтенсивність теплообміну починає систематично зменшуватись при зростанні рядності пучка.

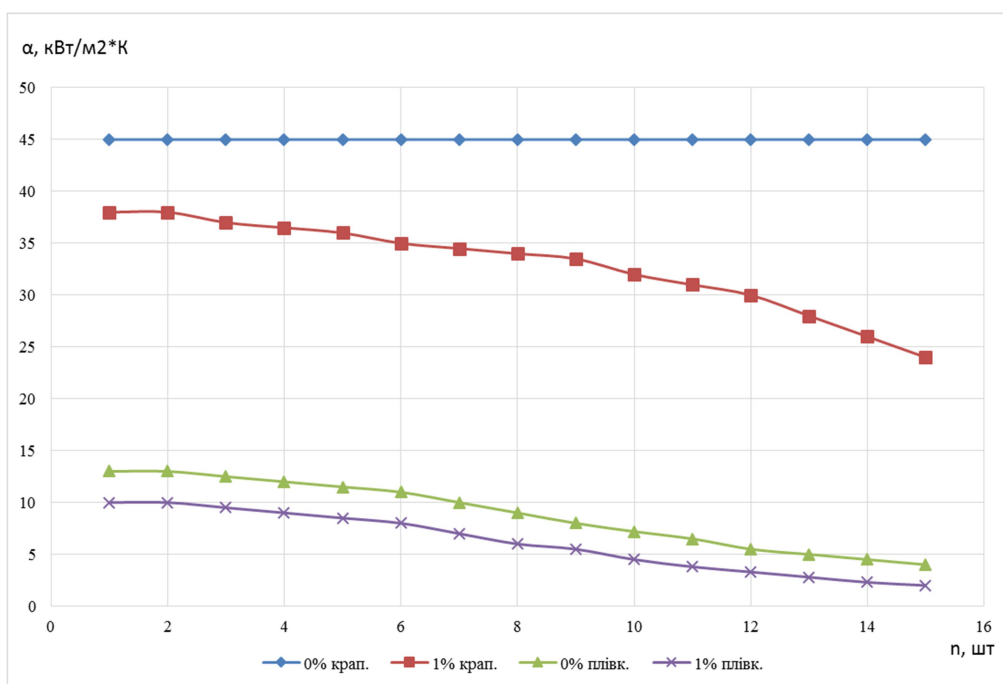


Рисунок 4 – Залежність тепловіддачі від рядності трубного пучка

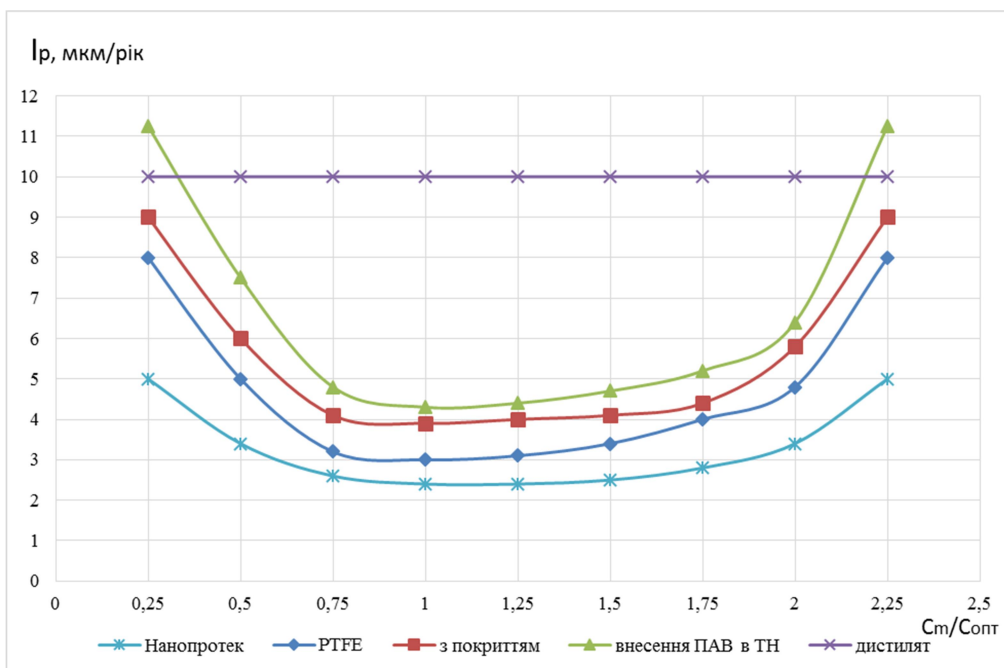


Рисунок 5 - Зміна середньої швидкості корозії залежно від відносної концентрації стимулятора

На вищеприступану картину процесу суттєво впливає наявність в парі неконденсованих газів, наприклад повітря. Графік залежності тепловіддачі для краплинної та плівкової конденсації залежно від рядності трубного пучка за наявності (0,5%) та відсутності (0%) повітря в робочому просторі (Рис.4) вказує на суттєве погіршення інтенсивності теплообміну при кількості рядів більше 10. Пояснити зниження інтенсивності теплообміну на останніх рядах труб можна наступним. При проходженні парової маси через ряди труб швидкість її зменшується, а це, в свою чергу, сприяє виникненню додаткового термічного опору при наявності повітря в концентраціях більших, ніж 0,1%.

Відносно погіршення умов теплообміну за наявності повітря є більш суттєвим для краплинної конденсації ніж для плівкової. Хоча при цьому коефіцієнти тепловіддачі та кількість конденсату будуть зберігатися вищими. Збільшення швидкості потоку пари призводить до продувки та турбулізації повітряного прошарку і, відповідно, до інтенсифікації процесів тепломасообміну.

Нанесення на поверхню теплообміну різних типів поверхнево-активних речовин уповільнює швидкість корозії. Причому, мінімальне її значення відповідає оптимальній кількості стимулятора (Рис.5), гарантуючи при цьому максимальний рівень захисту теплообмінної поверхні.

Чим якіснішим є захисна речовина, тим меншою буде швидкість корозії і більш довготривалою її дія. Використання застарілих ПАР нетривалої дії може давати як прямий так і зворотній ефект. Надлишок таких ПАР, або їх недостача залежно від умов застосування може навіть пришвидшувати корозійні процеси в деяких окремих випадках. Спосіб нанесення покриття також може суттєво вплинути на його якість. Найбільш надійною є попередня комплексна обробка поверхні теплообміну.

Висновки

Експериментальні дослідження показали, що нанесення на теплообмінну поверхню новітніх гідрофобізаторів типу Гідрофект-Нанопротек має довготривалу дію. Це дозволяє отримати високу інтенсивність процесу конденсації. Такі ПАР здатні створити надійне захисне покриття поверхні з мінімальним термічним опором. Результати підтверджують дані попередніх експериментів.

Вибір саме цих поверхнево-активних речовин можна пояснити високою технологічністю та захисними властивостями, що дозволяло легко оновлювати покриття.

Вони рівномірно наносилося під тиском на теплообмінну поверхню і утворювали надійний мономолекулярний шар, який запобігав окисненню поверхні теплообміну.

Проведений аналіз лінійки сучасних ПАР показав, що перевагу необхідно віддавати використанню речовин, які мають комплементарні властивості і здатні створювати ефект «третього тіла».

Протягом стабільної роботи покриття досягається підвищення тепловіддачі, а також теплообмінна поверхня захищена від корозійного та ерозійного впливу. У всіх випадках був отриманий вигравш по тепловіддачі в декілька разів по відношенню до плівкового режиму конденсації.

Література

6. Enright R. Dropwise Condensation on Micro- and Nanostructured Surfaces / R. Enright, N. Miljkovic, J.L. Alvarado, K. Kim and J.W. Rose // *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering*, 2014. - V.18, Is.3. - P. 223-250.
7. Solomon B.R. Butterflies and Batteries: Advances in Liquid Repellent Surfaces by Anisotropic Wetting and Lubricant Impregnation / B.R. Solomon // *Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology*, June 2016. – 130 p.
8. Simpri E.E. Butterflies and Batteries: Characterization of the Robustness of Superhydrophobic Surfaces during Condensation / E.E. Simpri // *Bachelor of Science in Mechanical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology*, June 2016. – 30 p.
9. Phillips B.A. Butterflies and Batteries: Nano-Engineering the Boiling Surface for Optimal Heat Transfer Rate and Critical Heat Flux / B.A. Phillips // *Master of Science in Mechanical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology*, February 2011. – 133 p.
10. Paxson A.T. Condensation Heat Transfer on Nanoengineered Surfaces / A.T. Paxson // *Master of Science in Mechanical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology*, June 2011. – 74 p.
11. Paxson A.T. Stable Dropwise Condensation for Enhancing Heat Transfer via the Initiated Chemical Vapor Deposition (ICVD) of Grafted Polymer Films / A.T. Paxson, L.Y. Jose, K.G. Karen and K. Kripa // *Varanasi Advanced Materials*, September 23, 2013. – V. 26, N. 3. – P. 418–423.
12. Miljkovic N. Condensation heat transfer on superhydrophobic surfaces / N. Miljkovic and N.W. Evelyn // *MRS Bulletin*, May 15, 2013. – V.38, N. 5. – P. 397-406.
13. Rykaczewski K.. Dropwise Condensation of Low Surface Tension Fluids on Omniphobic Surfaces / K. Rykaczewski, A.T. Paxson, M.S., M.L.Walker, X. Sun, S. Anand, S. Srinivasan, et al. // *Nature Publishing Group Sci. Rep.* 4, March 5, 2014. – 9p.
14. Гавриш А.С. О применении веществ Гидроэффект-Нанопротек в теплообменных аппаратах / А.С. Гавриш, Н.О. Затирка, И.В. Гальченко // *Труды 20 Школы-семинара "Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках" под руководством академика РАН А.И. Леонтьева А.И.* - Издательский дом МЭИ, 2015. - С.83-86.
15. Исаченко В. П. Теплообмен при конденсации / В. П. Исаченко. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.
16. Гальченко І.В. Застосування сучасних теплообмінних поверхонь на основі наноречовин при опрісненні морської води: Робота на XV Всеукраїнський конкурс «Молодь - енергетиці України - 2015: відкритий конкурс молодих вчених та енергетиків» / І.В. Гальченко, Н.О. Затірка, О.М. Шевченко, А.С. Гавриш // *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».* - Київ, 2015. – 27 с.
17. Гальченко І.В. Про методи та засоби створення захисних нанопокриттів теплообмінних поверхонь: Робота на Всеукраїнський конкурс «Молодь енергетиці України – 2013: відкритий конкурс молодих енергетиків та вчених» присвячений 115-й річниці НТУУ

«КПШ» / І.В. Гальченко, Н.О. Затірка, А.С. Гавриш // Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - Київ, 2013. – 30 с.

18. Урошлев В.В. Конденсація водяної пари із домішками ПАР в теплообмінниках типу РТА / В.В. Урошлев // Атестаційна робота магістра в формі магістерської дисертації, ТПТ, НТУУ «КПШ», Київ 2012. – 170с.

19. Кожемяка Д.В. Теплообмін при конденсації в присутності поверхнево-активних речовин типу «Нанопротек» / Д.В. Кожемяка // Атестаційна робота магістра в формі магістерської дисертації, ТПТ, НТУУ «КПШ», Київ 2014. – 140с.

УДК 621.472

ЗАДЬОРА А.Т., доц.,к.т.н. СТУДЕНЕЦЬ В.П.

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА НА БАЗІ ДВИГУНА УДС-1 З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ВІДВЕДЕНОЇ ТЕПЛОТИ

Розглянуто питання відведення теплоти на базі дослідницького стенду «параболоїдний сонячний концентратор- двигун Стірлінга УДС-1- електрогенератор». Наведено приклад моделювання процесу відведення теплоти в програмному забезпеченні SolidWorks.

A.T. ZADIORA, Associate Professor, Ph.D V.P. STOUDENETS

The problems of heat removal on the basis of assembled research unit «solar dish concentrator – Stirling engine – generator» is considered. Heat removal process modeling in computer software SolidWorks.

1. Вступ

Двигуни зовнішнього згорання — клас двигунів, де джерело тепла чи процес згорання палива відділені від робочого тіла.

До цього класу відносяться парові машини, парові турбіни, двигуни Стірлінга, газові турбіни зовнішнього згорання, а також інші типи двигунів.

Двигун Стірлінга — теплова машина, що працює не тільки від спалювання палива, але від будь-якого джерела тепла, наприклад — сонячних променів [1]. Відноситься до двигунів зовнішнього згорання. Двигун Стірлінга був уперше запатентований шотландським священиком Робертом Стірлінгом 27 вересня 1816 року. Основний принцип роботи двигуна Стірлінга полягає в постійному чергуванні нагрівання й охолодження газу в закритому циліндрі. Звичайно в ролі газу виступає повітря, але також використовуються водень і гелій. Тобто при нагріванні газу, його обсяг збільшується, а при охолодженні — зменшується. Це властивість газів лежить в основі роботи двигуна Стірлінга. Газ у закритому циліндрі використовує цикл Карно, який складається з чотирьох фаз, і розділений двома перехідними фазами: нагріванням, розширенням, переходом до джерела холоду, охолодженням, стисканням і переходом до джерела тепла. У такий спосіб при переході від теплового джерела до холодного джерела, відбувається розширення і стискання газу, який знаходиться в циліндрі. Різницю обсягів газу можна перетворити в роботу, чим і займається двигун Стірлінга.

У циклі Стірлінга чотири фази. Два поршні на вищенаведеній схемі роблять усі частини цього циклу:

1. Тепло, впливаючи на газ усередині циліндра, що нагрівається, (ліворуч), викликає збільшення тиску газу, що змушує поршень рухатися вниз. У цій частині циклу двигун Стірлінга робить роботу.
2. Лівий поршень рухається нагору, а правий рухається вниз. При цьому газ перетікає в охолоджуваній (правий) циліндр і охолодження приводить до падіння тиску, завдяки чому буде простіше зжати газ у наступній частині циклу.
3. Поршень правого, охолоджуваного циліндра починає стискати газ. При стиску виділяється тепло, що віддаляється через стінки охолоджуваного циліндра.
4. Правий поршень рухається нагору, а лівий рухається вниз. Це приводить до переміщення газу в циліндр, що нагрівається, де він швидко розігрівається, тиск збільшується і цикл повторюється.

Двигун Стірлінга робить роботу під час першої частини циклу.

Двигун Стірлінга має багато переваг і був сильно розповсюджений в епоху парових машин. В останні роки такі двигун Стірлінга знаходить усе більше застосування, в основному через свої особливості, а саме можливість використання будь-яких джерел тепла (наприклад, сонячної енергії), невимогливість до виду паливу і низькій токсичності вихлопних газів (при використанні органічного палива).

Сонячна енергія відноситься до відновлюваним джерелам енергії, тобто відновлюється без участі людини, природним шляхом. Це один з екологічно безпечних енергетичних джерел, який не забруднює навколишнє середовище. Можливості застосування **сонячної енергії** практично необмежені і вчені всього світу працюють над розробкою систем, які розширюють можливості використання **сонячної енергії**.

Один квадратний метр Сонця випромінює 62 900 кВт енергії. Це приблизно відповідає потужності роботи 1 мільйона електричних ламп. Вражає така цифра — Сонце дає Землі щосекунди 80 тисяч мільярдів кВт, тобто в кілька разів більше, ніж всі електростанції світу. Перед сучасною наукою стоїть завдання — навчитися найбільш повно і ефективно використовувати енергію Сонця, як найбільш безпечно. Вчені вважають, що повсюдне використання **сонячної енергії** — це майбутнє людства.

Світові запаси відкритих родовищ вугілля та газу, при таких темпах їх використання, як сьогодні, повинні виснажитися в найближчі 100 років. Підраховано, що в ще не розвіданих родовищах запасів горючих копалин вистачило б на 2-3 століття. Але при цьому наші нащадки були б позбавлені цих енергоносіїв, а продукти їх згоряння завдали б колосальний збиток навколишньому середовищу.

Для забезпечення високої ефективності процесу уловлювання та перетворення сонячної радіації використовують сонячні концентратори(геліоприймач) .Він повинен бути постійно спрямований на Сонце.

2. Сонячна енергетична установка

Узявши за ідею ці компоненти в лабораторії Інституту Енергозбереження та Енергоменеджменту було створено експериментальну сонячну енергетичну установку на базі двигуна Стірлінга [2]. Установка складається з:

- 1 – параболоїдного сонячного концентратора (СК), вкритого тонкою дзеркальною плівкою,
- 2 – двигуна УДС-1 [3], гаряча порожнина якого знаходиться у фокусі СК,
- 3 – електрогенератора (ЕГ) ДП-2-26, з'єднаного за допомогою ремінної передачі зі шківом ДС,
- 4 – вимірювального обладнання (вимірювання сонячної радіації, температури гарячої та холодної порожнин ДС, швидкості обертання ДС, вихідної потужності ЕГ).

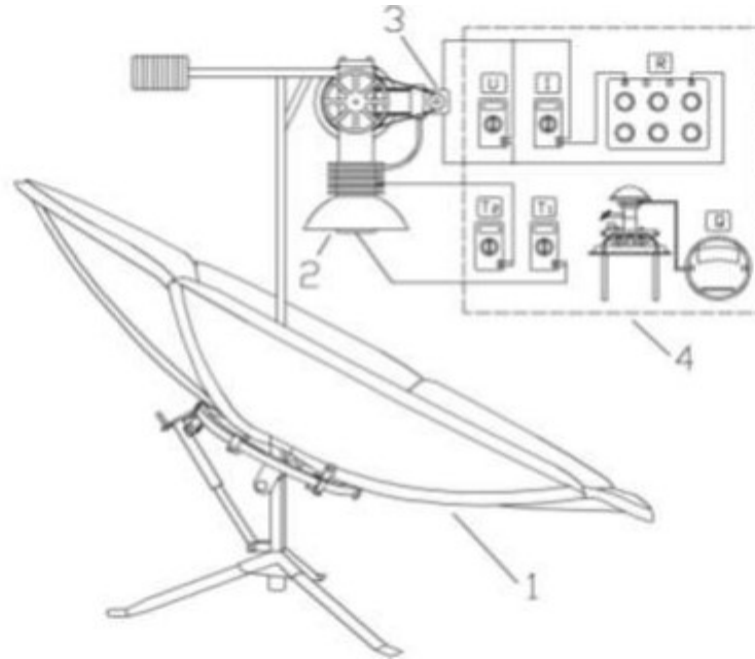


Рис.1- Експериментальна установка

3. Моделювання в програмному забезпеченні SolidWorks

Ідеєю роботи було симулювання в програмному забезпеченні SolidWorks процесу відведення теплоти від ребер циліндра двигуна.

Ребра циліндра виготовлені зі сталі. Їхня кількість 6 штук з товщиною 5 мм, висотою 15 мм та кроком між ними 5 мм. Сам циліндр був поміщений в «рубашку» через яку відбувалася подача води з різною масовою витратою води на вході: 0,001 кг/с; 0,0015кг/с; 0,0017кг/с. В експерименті задачею було спостереження за зміною температури води. Та розрахунок відведення теплоти при різній масовій витраті.

Для прикладу нижче наведено температурний розподіл при масовій витраті 0,001 кг/с.

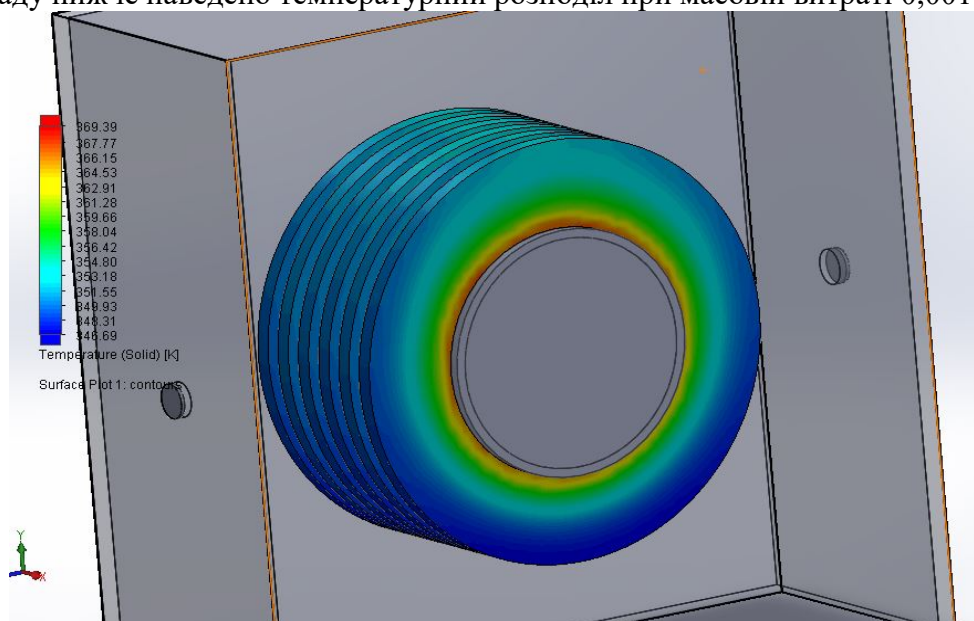


Рис.2- Зміна температури ребра

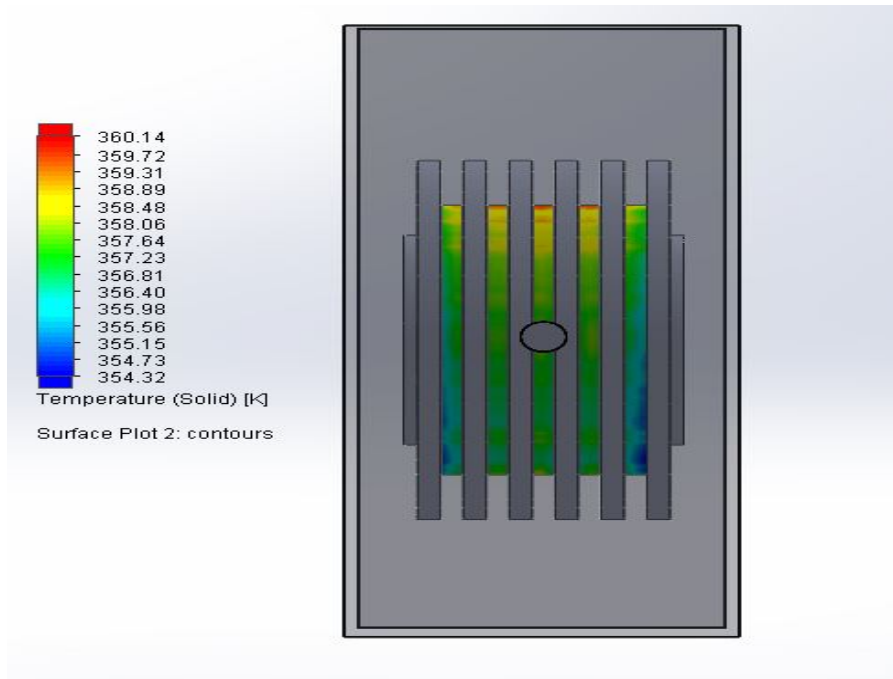


Рис.3- Зміна температури в міжреберному просторі

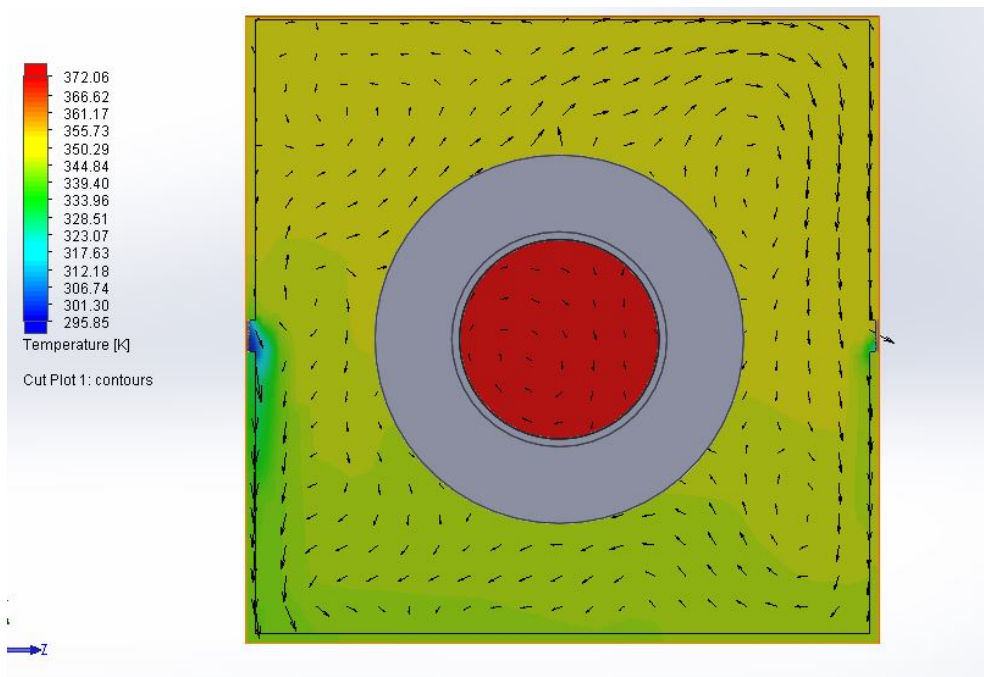


Рис.4- Зміна температури води

На рисунках можна спостерігати зміну температури води та циліндру . Видно що температура води що подається рівна 20°C , а на виході ми маємо воду з температурою 60°C .

Таблиця 1- Результати симулювання в програмі:

М, кг/с	Поверхневий тепловий потік(ребра),Вт/м ²	Поверхневий тепловий потік(міжреберний простір), Вт/м ²
0,001	25817,7	32862,7
0,0015	45468,4	35930,9
0,0017	47115,1	39096,5

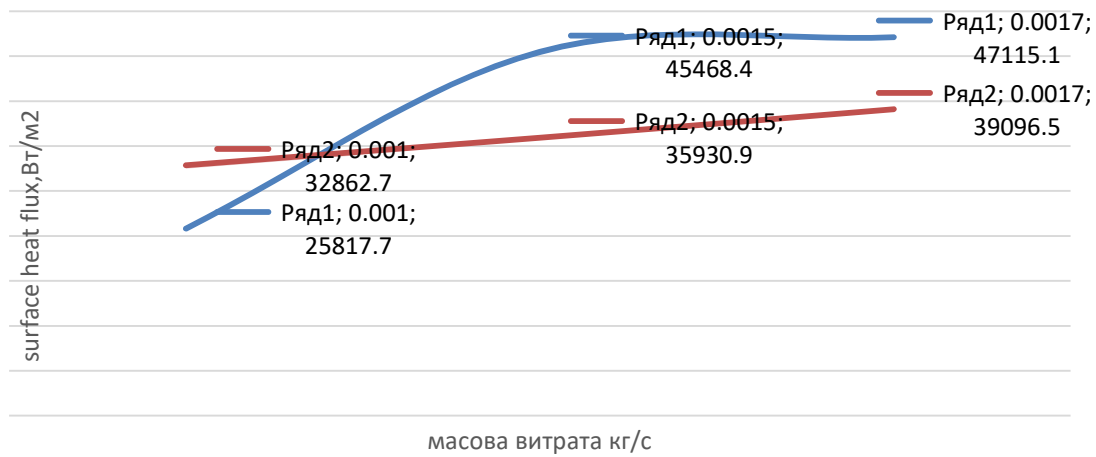


Рис.4- Графік залежності теплового потоку від масової витрати

4 Висновки

В даній роботі розглянуто та досліджено сонячну енергетичну установку «параболоїдний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти.

З застосуванням програмного забезпечення SolidWorks зроблено висновок, що для збільшення інтерсифікації процесу відведення теплового потоку з циліндру двигуна Стірлінга краще використовувати воду. Також зі збільшення її масової витрати протікання процесу покращується. Після проходження води через дану ділянку циліндра вона нагрівається, та може бути використана в подальшому для побутових потреб.

Ефективність роботи СЕУ може бути підвищена шляхом зниження температури холодної порожнини та збільшення тиску робочої порожнини ДС за допомогою наступних конструктивних рішень: примусове охолодження радіатора ДС водою.

Однією з суттєвих переваг даної установки являється екологічність та енергоефективність, що на даний час є актуально в Україні та світі.

Перелік використаної літератури

1. Г.Ридер, Ч. Хупер «Двигатели Стирлинга» Пер с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
2. Довгий С.С., Єманова Н.О., Студенець В.П. Дослідницький стенд «Параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга – електричний генератор» та його базові характеристики // Матеріали науково-технічної конференції ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА (конференція молодих дослідників – аспірантів та магістрів) 28-29 квітня 2012 року. Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ». Київ-2012. – С.587-594.
3. К.Е. Долганов, В.П. Лисица «Учебно– демонстрационный двигатель Стирлинга модели УДС– 1 » // Двигателестроение – 1989. – №5. – С. 28-33.

УДК 697.1

Яценко О.І.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Суходуб І.О.

МОДЕЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ НА ПОТРЕБИ ОПАЛЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ

АНОТАЦІЯ: У даній роботі проведено дослідження енергетичної моделі, створеної у програмному середовищі EnergyPlus, для розрахунку енергоспоживання будівлі. Також було проведено порівняння результатів розрахунку енергоспоживання, отриманих в процесі моделювання, з реальними даними та результатами, визначеними

за методами, наведеними в державних стандартах України.

АННОТАЦІЯ: В даній роботі проведено дослідження енергетическої моделі, створеної в програмній середі EnergyPlus, для розрахуку енергопотреблення збудинку. Також було проведено порівняння результатів розрахуку енергопотреблення, отриманих в процесі моделювання, з реальними даними і результатами, визначеними по методам, наведеним в державних стандартах України.

ABSTRACT: In this paper, dynamic model for building energy consumption simulation in the EnergyPlus program is developed. Simulation results are compared with the results of calculation using existing methods described in Ukrainian normative base and actual energy consumption for heating.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: моделювання, енергоспоживання, енергетична модель, тепловий комфорт.

КЛЮЧЕВІ СЛОВА: моделювання, енергопотребление, энергетическая модель, тепловой комфорт.

KEY WORDS: modeling, energy consumption, energy model, thermal comfort.

Вступ

Енергозбереження починається з чіткого розуміння необхідності покращення економічних показників за рахунок меншого споживання енергоресурсів. Громадські та житлові будівлі є значним споживачем теплової енергії в Україні. Саме тому з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до проектування систем опалення. Відомо, що європейська нормативна база в галузі теплопостачання відрізняється від вітчизняної наявністю вимог до енергоефективності всієї інженерної системи та окремих її елементів, а не лише норм, які охоплюють проектування і будівництво. Оціночні розрахунки по наближеним методикам не дають необхідної картини взаємодії всіх факторів і надають лише загальні результати. Існують і інші методи проведення аналізу енергоспоживання в будівлях, які дозволяють проводити більш точний аналіз енергетичних характеристик. Такі методи передбачають використання спеціалізованого програмного забезпечення, за допомогою якого можна проводити аналіз фактичних та отримати приведені до стандартних умов дані по енергоспоживанню.

Програми для моделювання енергоспоживання будівель є потужним інструментом для вивчення енергетичної ефективності та теплового комфорту під час життєвого циклу будівлі. Сьогодні доступна велика кількість подібних програмних засобів, що відрізняються метою їх використання, використовуваними термодинамічними моделями, графічними інтерфейсами, періодами застосування та їх здатністю обмінюватися даними з іншими програмами. Використання таких програмних засобів для моделювання енергоспоживання допомагає краще зрозуміти проблеми при проектуванні енергетичних систем будівель. Програми, зокрема TRNSYS, DOE-2 та EnergyPlus використовуються для аналітичного моделювання енергоспоживання будівель. Такі програми є потужним інструментом прийняття рішень щодо підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів.

Мета та завдання

Метою даної роботи є створення моделі енергоспоживання будівлі в програмі для динамічного моделювання EnergyPlus, її аналіз та порівняння з іншими підходами до розрахунків. Відповідно до поставленої мети вирішуються такі завдання:

- створення моделі досліджуваної будівлі в програмному середовищі EnergyPlus;
- порівняння результатів розрахунків енергоспоживання будівлі протягом опалювального періоду за різними методиками, включаючи EnergyPlus, з фактичним енергоспоживанням.

Опис моделі досліджуваної будівлі

EnergyPlus є однією з найбільш передових загальнодоступних програм для моделювання енергоспоживання. Дана програма використовує кращі риси двох відомих засобів моделювання DOE-2 та BLAST, методики розрахунків в яких наближені до європейських стандартів [1].

Моделювання в EnergyPlus забезпечує гнучкість і функціональність енергетичного аналізу протягом всіх етапів життєвого циклу будівлі з деякими обмеженнями. Програма передбачає, що системи ОВК функціонують в ідеальних умовах, при цьому не враховуючи повільного спаду продуктивності компонентів енергетичних систем внаслідок забруднень, корозії та інших впливів, які зменшують продуктивність кліматичного обладнання.

Особливістю програми є те, що вона проводить як погодинні симуляції на всіх рівнях так і по обраному користувачем періоду симуляції («проектний» день (design day), доба, місяць, рік або кілька років). Також EnergyPlus має базу даних з погодними умовами для багатьох міст в різних країнах світу, в тому числі і для України (м. Київ та м. Одеса).

Енергетичну модель будівлі визначають чотири основні компоненти, без яких неможливий будь-який розрахунок енергоспоживання [2]:

- погодні дані;
- геометрична модель будівлі;
- “розклад” для внутрішніх параметрів та роботи інженерних систем;
- математичні моделі інженерних систем.

Об’єктом моделювання є громадська будівля “Київський центр енергоефективності”, яка знаходиться у місті Києві (рисунок 1).

Режим роботи підприємства: з дев’ятої ранку до шостої години вечора кожного дня крім суботи та неділі.

Нижче наведені дані про основні розмірні параметри (таблиця 1) та матеріали конструкцій одноповерхової будівлі (таблиця 2).

Таблиця 1 – Основні розмірні показники

Площа забудови, м ²	Висота будівлі, м	Об’єм будівлі, м ³
144	3,5	505

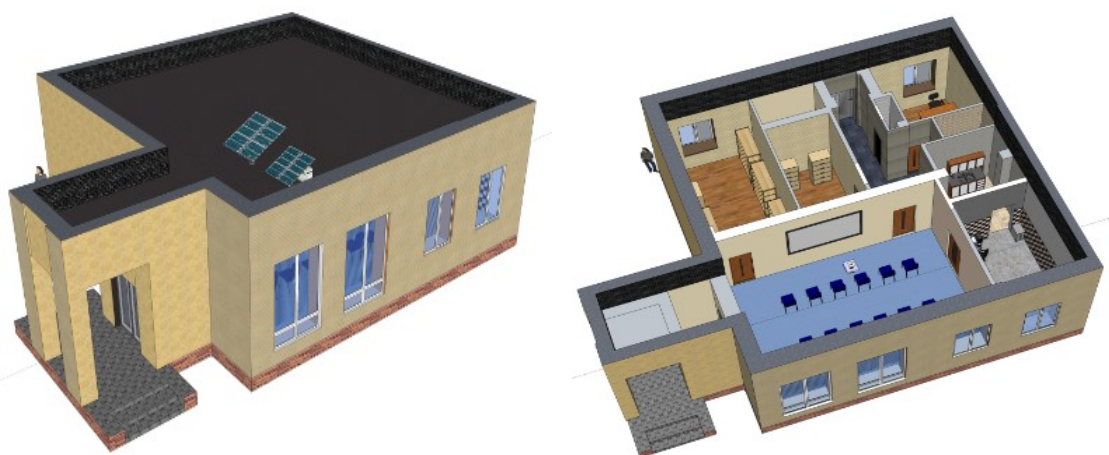


Рисунок 1 – Будівля “Київського центру енергоефективності”

Таблиця 2 – Опис конструктивних елементів будівлі

Конструктивні елементи	Детальний опис
Фундамент	Монолітні залізобетонні панелі під цегляні стіни
Стіни	Цегляні, оштукатурені, утеплені з півдня та заходу мінеральною ватою, з півночі - пінополістиролом
Перегородки	Цегляні, оштукатурені
Дах	Залізобетонні плити, утеплений керамзитовим насипом, вкритий руберойдом
Вікна	Двохкамерні з двома напиленнями та аргоном, профіль 5-камерний
Двері вхідні	Металеві з ізоляційним матеріалом
Двері внутрішні	Дерев'яні

Для створення геометрії даної будівлі використано програму Google Sketch Up разом з модулем Open Studio Plug-in для побудови моделі енергоспоживання (рисунок 2).

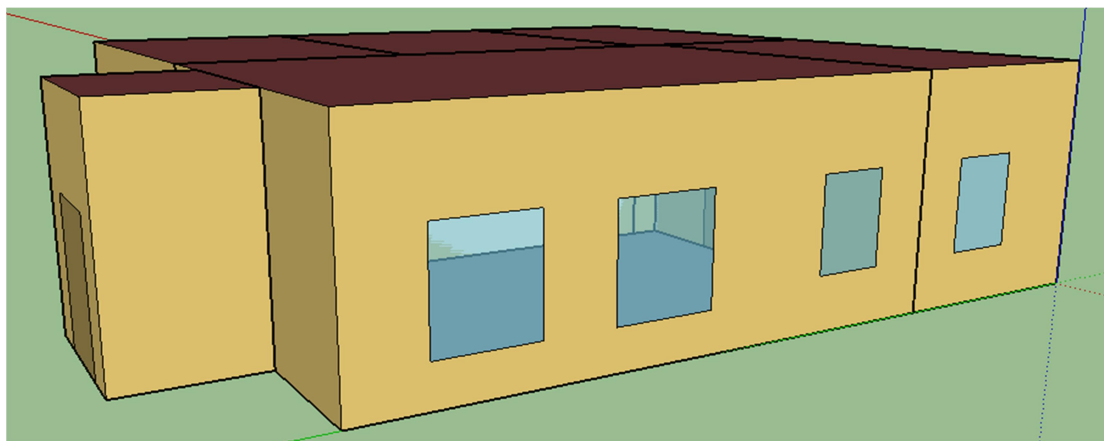


Рисунок 2 – 3D модель будівлі в Google Sketch Up

Файл зі створеною в Google Sketch Up геометрією будівлі можна завантажити в EnergyPlus (у вікні *EP-Launch* програми EnergyPlus запускається вже готовий файл з геометрією з Google Sketch Up). Дане рішення позбавляє необхідності вводити координати кожного елементу конструкції в текстових файлах EnergyPlus.

При побудові 3D геометрії внутрішній об'єм будівлі було розділено на шість зон, для того, щоб в перспективі, використовуючи EnergyPlus, врахувати різні температурні режими та інженерні системи в різних кімнатах (рисунок 3).

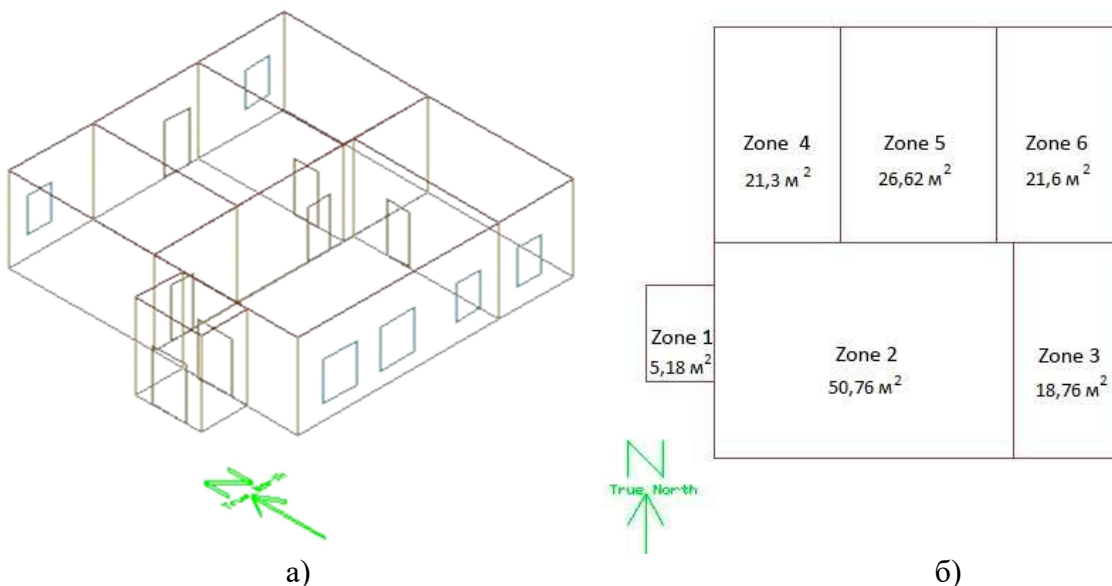


Рисунок 3 – 3D модель будівлі в AutoCAD (а) та розділення будівлі на зони (вид зверху) (б)

Система опалення даної будівлі живиться від центральної системи тепlopостачання. Температурний режим у зонах 2-6 будівлі, для опалювального періоду, підтримується на рівні 18 °С. В зонах 2, 4 та 6 присутня механічна система вентиляції з теплоутилізацією, в інших – природна (кратність повітрообміну 1 год⁻¹).

Теплонадходження від людей, системи освітлення та електричного обладнання задані наступним чином. Максимальна кількість людей, яка одночасно може знаходитися в офісі складає шість чоловік. У зв'язку з тим, що протягом дня кількість людей змінюється, тобто, використання системи освітлення та електричного обладнання також змінюється, були створені графіки (рисунок 4).

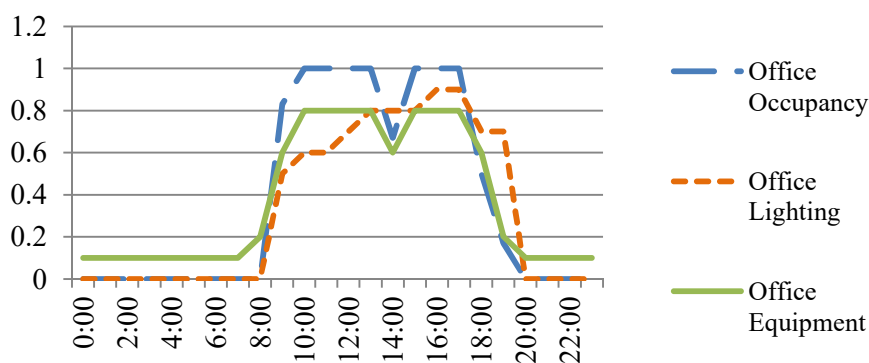


Рисунок 4 – Графік офісної активності (office occupancy), роботи системи освітлення (office lighting) та використання електричного обладнання (office equipment)

В години максимального навантаження освітлення в будівлі задано на рівні 8 Вт/м², а електричне обладнання на рівні 10 Вт/м².

Порівняння результатів розрахунку енергоспоживання будівлі протягом опалювального періоду за різними методами

Розрахунок енергоспоживання досліджуваної будівлі був проведений за допомогою ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 [3] та ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [4], а також у програмному середовищі EnergyPlus. Для оцінки правильності проведеного моделювання було зроблено порівняння реального теплоспоживання даною будівлею зі споживанням за результатами складеної моделі та розрахунків за державними стандартами (таблиця 3). Тому фактичне теплоспоживання за опалювальний період (28.10.2014 – 27.04.2015) було приведено до стандартних погодних умов з врахуванням

фактичних та нормативних градусо-діб (ГД). Кількість теплової енергії, спожитої системою опалення за результатами моделювання в EnergyPlus показана у вигляді гістограми на рисунку 5.

Таблиця 3 – Результати розрахунку енергоспоживання будівлі протягом опалювального періоду за різними методами

Метод розрахунку	ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007	ДСТУ Б А.2.2-12:2015	EnergyPlus	Фактичне (прив. до ГД)
Енергоспоживання, кВт·год	21962,3	23066,4	19730,6	20265,3
Питоме енергоспоживання, кВт·год/м ²	157,9	165,9	141,9	145,8
Питоме енергоспоживання, кВт·год/м ³	45,1	47,4	40,5	41,6
Клас енергоефективності будівлі	Е	Е	Е	Е

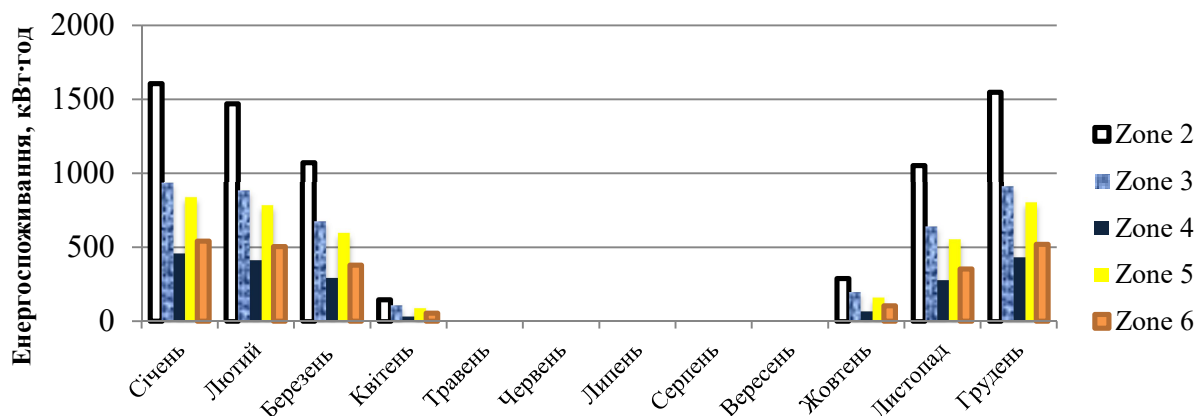


Рисунок 5 – Помісячне теплоспоживання системою опалення по зонах згідно моделі, створеної в EnergyPlus

За результатами моделювання в EnergyPlus також було складено тепловий баланс, який включає в себе тепловтрати та теплонадходження у зоні будівлі. Приклад теплового балансу для четвертої та п'ятої зон (у п'ятій зоні відсутня примусова вентиляція) наведений на рисунках 6 та 7.



Рисунок 6 – Тепловий баланс тепловтрат для зони 4 (а) та для зони 5 (б)

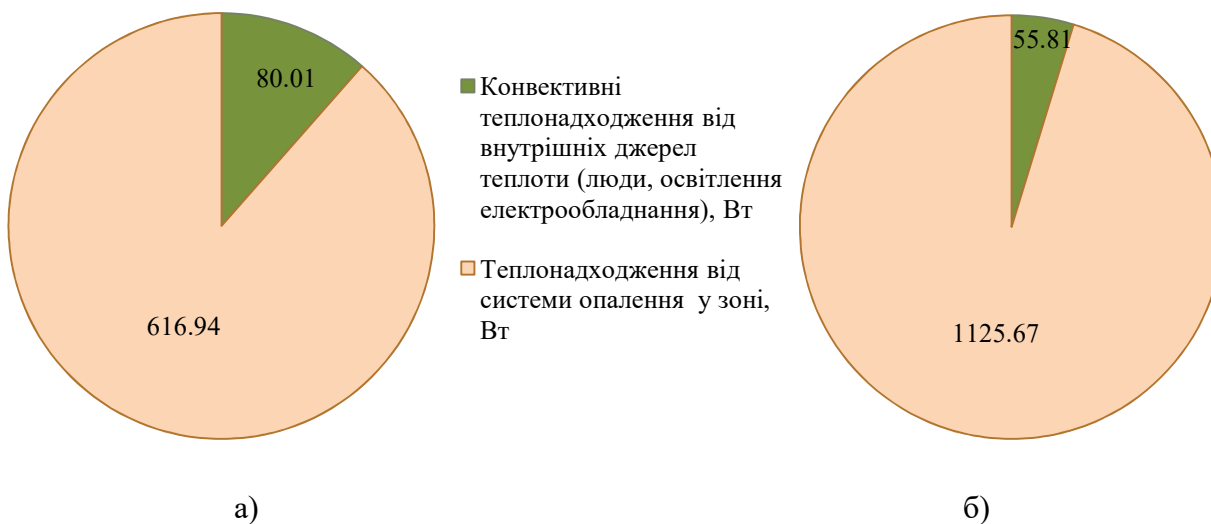


Рисунок 7 – Тепловий баланс теплонадходжень для зони 4 (а) та для зони 5 (б)

Висновки

Для дослідження енергетичної ефективності та теплового комфорту під час життєвого циклу будівлі доцільно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання енергоспоживання будівель, зокрема EnergyPlus. Про якість складеної моделі свідчить схожість результатів розрахунку енергоспоживання за EnergyPlus з реальним енергоспоживанням та з результатами, визначеними за державними стандартами. Тож побудова і розрахунок єдиної енергетичної моделі будівлі в актуальних умовах експлуатації, з урахуванням динаміки і реальної фізики процесів, дає величезні можливості для прийняття проектних рішень і контролю їх якості.

Список використаної літератури

1. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program / D. B. Crawley, L. K. Lawrie [and others] // Energy and Buildings. – 2001. – Vol. 33. – P. 319-331.
2. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. Input Output Reference. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

3. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 [текст]. — Офіц. вид. — К. : Мінбуд України. 2007. — 135 с.
4. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с

УДК 697.1

Гурська Ю.В.

Науковий керівник: проф. д.т.н. Дешко В.І., асист. Білоус І.Ю

**ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОПОТРЕБИ БУДІВЕЛЬ В
ОПАЛЕННІ
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ В
ОТОПЛЕНИИ
COMPARISON OF METHODS CALCULATION OF THE ENERGY
CONSUMPTION OF BUILDINGS FOR HEATING**

АНОТАЦІЯ: У роботі було розглянуто три методи визначення енергопотребы в опаленні репрезентативного приміщення навчального корпусу. Проведено порівняння результатів розрахунку за стандартами та нормами, що діють в Україні та за допомогою комп'ютерного моделювання.

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрено три метода расчета энергопотребления для отопления репрезентативной комнаты учебного корпуса. Проведено сравнение результатов расчета по стандартам и нормам, которые действуют в Украине и с помощью компьютерного моделирования.

ABSTRACT: The paper considers three methods for calculating energy consumption for heating a representative room of the academic building. The results of the calculation are compared to the standards and norms that operate in Ukraine and with the help of computer modeling.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергопотреба, опалення, моделювання, EnergyPlus.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергопотребление, отопление, моделирование, EnergyPlus.

KEY WORDS: energy consumption, heating, simulation, EnergyPlus.

Вступ

На сьогоднішній день питання ефективного енерговикористання актуальне у всьому світі. Найбільша частина енергії, що використовується господарсько-комунальним сектором в Україні припадає на опалення [1, 2]. На шляху до вирішення проблеми оптимального енерговикористання при опаленні будівель використовують нормативні значення споживання та стандарти, різні методи розрахунку, що враховують особливості використання міжнародних підходи.

Аналіз стану питання

Особлива увага приділяється методам по визначенню рівня енергоспоживання для з'ясування можливої економії енергоресурсів. Вирішення цих завдань, потребує використання методів розрахунку та математичних моделей. Згідно з [3] енергетична ефективність будівель повинна визначатися на базі розрахункової або фактичної річної потреби на опалення, при забезпеченні відповідних санітарно-гігієнічних норм в приміщеннях будинку.

Простим та широко використовуваним, завдяки своїй простоті, залишається метод з використанням поняття градус-добы (ГД). Фіксована тривалість опалювального періоду

необхідна для розрахунків сумарної теплопередачі та сумарних теплових надходжень протягом опалювального періоду [4]. Даний метод дозволяє скоригувати споживання енергії на опалення відповідно до фактичних значень зовнішньої температури та середніх температур приміщень. Але при розгляді будівлі як енергетичної системи до енергетичних потреб повинні бути віднесені потреби на опалення та охолодження для підтримування заданої температури, потреби у енергії на ГВП, а також джерела енергії. На зміну їм введений національний метод розрахунку [3, 5], що включає визначення потреби на опалення, охолодження, ГВП та базується на визначенні місячних показників (квазістаціонарний метод розрахунку). Нормативні значення питомих показників енергоспоживання для груп будівель, також переглянуто, включають потребу на опалення, охолодження та ГВП [5]. Однак ці підходи не враховують динамічних змін в будівлі, для вирішення цієї проблеми було створено спеціальне програмне забезпечення EnergyPlus (EP). Дана програма використовує кращі підходи двох відомих програм DOE-2 та BLAST, методики розрахунків в яких наближені до європейських стандартів.[6]

Мета роботи

Основним завданням є провести розрахунок енергопотреб в опаленні трьома методами (ГД, національний метод розрахунку та EP) та оцінити розбіжність в розрахунках. Для виконання поставленої мети були виконані такі задачі:

- 1) Порівняння кліматичних даних ДБН «Будівельна кліматологія» та міжнародного погодного файлу International Weatherfo rEnergy Calculations (IWEC).
- 2) Побудова моделі та розрахунок енергопотреб в опаленні за методом ГД
- 3) Побудова моделі та розрахунок за національним методом розрахунку.
- 4) Побудова моделі та визначення енергопотреб в опаленні в програмному продукті EP.

Методики, матеріали і результати досліджень

На території України діє ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія» [7], який визначає кліматичні параметри, що використовують при проектуванні та експлуатації будинків та споруд, систем опалення, вентиляції, кондиціонування, водозабезпечення, складанні енергетичного паспорта будинку, тому вихідні кліматичні параметри мають суттєве значення.

Динамічна модель на базі програмного продукту EP використовує кліматичний файл IWEC [8]. Погодний файл розроблений в рамках дослідницького проекту RP-1015. Процедура отримання даних була заснована на виборі типового року протягом 18-річної послідовності погодних даних. Було поведено порівняння кліматичних даних для розрахунку за вказаними вище методами були використані параметри зовнішнього повітря, сонячна радіація з[3-5], з яких видно що рівень сонячної радіації міжнародного погодного файлу до 35% перевищує дані з кліматології на Пд стороні та майже в два рази на Пн, що істотно впливає на рівень додаткових теплонадходжень при розрахунку потреби на опалення, тоді коли температура зовнішнього повітря досить близька один до одного (рис. 1-2).

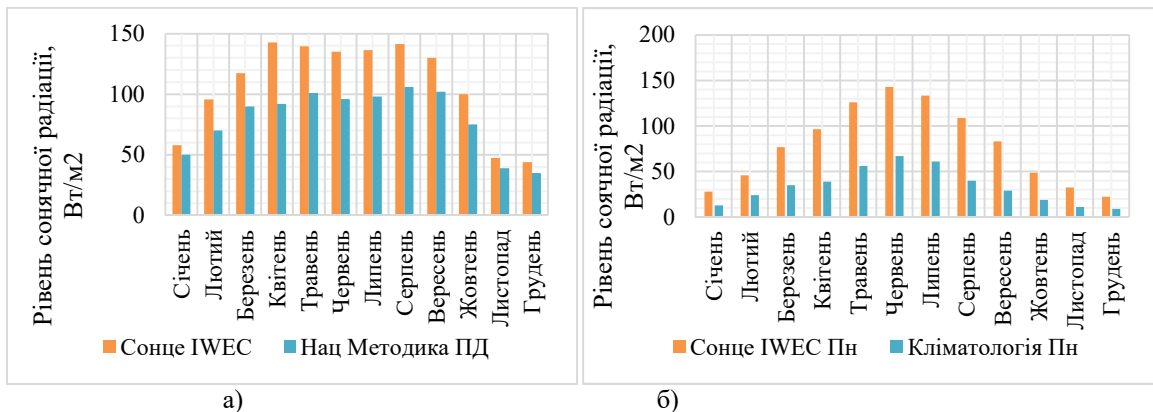


Рисунок 1 – Порівняння рівня сонячної радіації даних з кліматології та IWEC файлу (а) на Пд орієнтації та (б) на Пн орієнтації

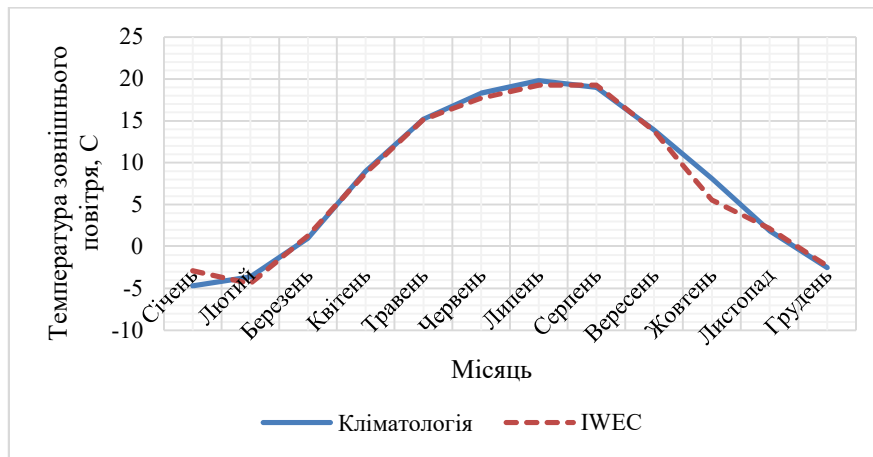


Рисунок 2 – Порівняння параметрів зовнішньої температури даних з кліматології та IWEC файлу

Для дослідження було обрано адміністративне приміщення навчального корпусу орієнтоване на Пд. Розміри кімнати 5,5х6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну довжиною 5,5 м з вікном - 5х2,5 м. Конструкція будівлі відповідає вимогам забудови 70-х років табл. 1. Вікно з подвійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях.

Таблиця 1 – Теплотехнічні характеристики приміщення

	R, м ² К/Вт	U, Вт/м ² К
Зовнішня стіна	0,8	1,25
Внутрішня стіна	0,4	2,5
Вікно	0,4	2,5
Перекриття	0,4	2,5

Метод градус-добы дозволяє скоригувати споживання енергії на опалення відповідно до фактичних значень ГД [4]. За методикою ГД та національним методом розрахунку визначено потребу в опаленні за кліматичними даними IWEC та будівельної кліматології. З рис. 3 видно, що річна потреба в теплі за даними типового року міжнародного погодного файлу для міста Києва дещо нижча в порівнянні з використанням кліматичних діючих в Україні. Дана особливість пов'язана з тим, що в погодному файлі типового року найнижча температура становить -16 °С, а сонячна радіація значно вища значень наведених в будівельній кліматології.

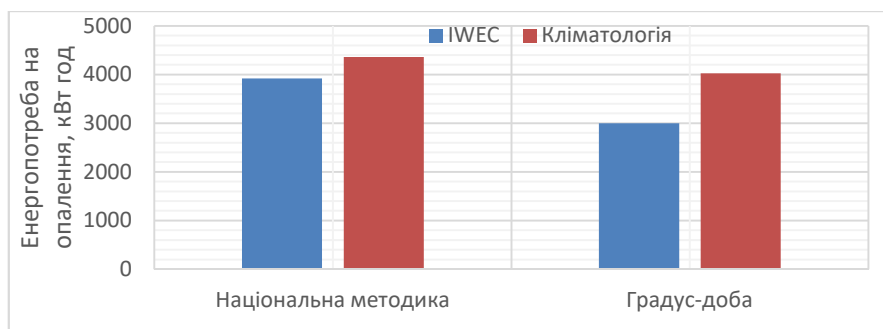


Рисунок 3 – Порівняння річної потреби в теплі

Як вже згадувалось, ЕР використовує погодний файл типового року. Тому для адекватного порівняння отриманих значень потреби в опаленні подальші розрахунки проведенні для кліматичних даних IWEC файлу. Після створення імітаційної моделі в ЕР обраного приміщення [6] було отримано результат енергопотреби на опалення. На рис. 4 наведена річна потреба в опаленні за результатами стаціонарного методу розрахунку (ГД),

квазістаціонарного (національний метод) та динамічного методу (EP).

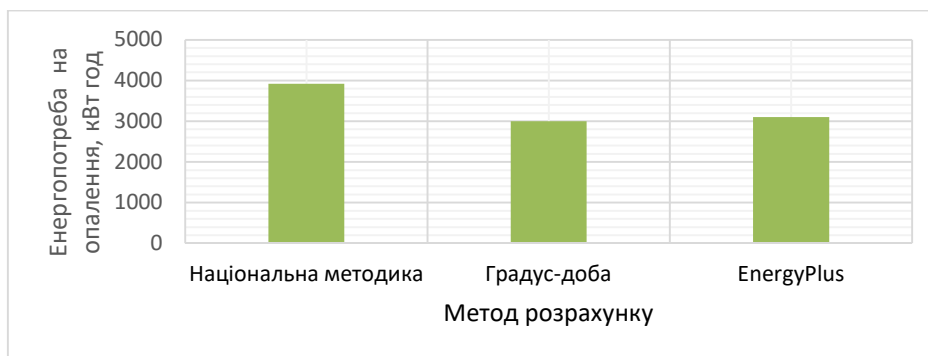


Рисунок 4 – Річна потреба в опаленні за різними методиками для кліматичних даними IWEC

Якщо порівнювати розрахунок за нац. методикою та динамічним моделюванням то різниця складає близько 15%, що відмічалось і раніше. Ці два методи дозволяють провести порівняння в помісячному розрізі споживання теплової енергії на потреби опалення. На рис. 5 наведено помісячна потреба в опаленні.

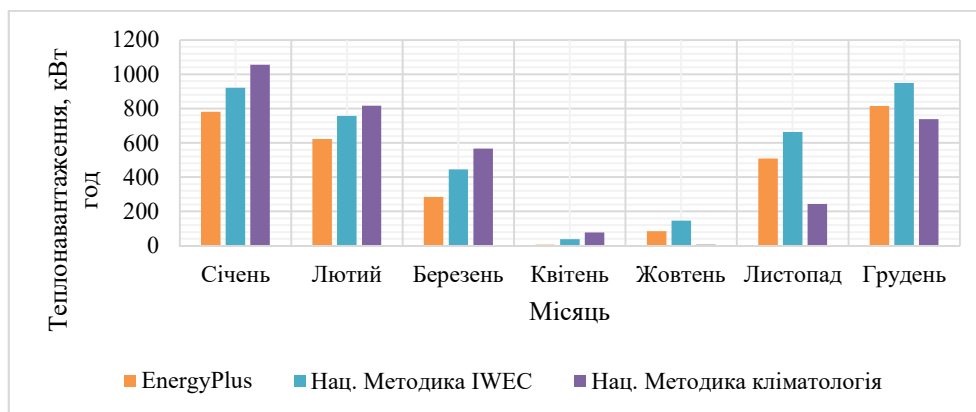


Рисунок 5 – Помісячне енергоспоживання тепла за різними методиками

Висновки

В роботі проаналізовано відмінності у результатах енергопотреби в теплі за трьома методами. Виявлено, що національний метод розрахунку, що характеризується квазістаціонарним розрахунком, дає найбільше значення. Більш простий стаціонарний метод розрахунку за ГД не враховує динамічні характеристики протягом опалювального року. Динамічна модель побудована на базі програмного продукту EP дозволяє врахувати значне число внутрішніх і зовнішніх факторів впливу в їх динаміці. Даний програмний продукт є найбільш точним та деталізованим, але проводить розрахунки на базі спеціально створеного погодного файлу типового року для заданого міста. Для території України створено такий файл для двох міст: Київ та Одеса, що ускладнює можливість використання програмного продукту для інших міст України. Крім цього діючи в Україні методи та стандарти по розрахунку енергетичних характеристик будівель використовують значення зовнішніх погодних параметрів з будівельної кліматології. Кліматичну значення з будівельної кліматології та міжнародного погодного файлу відрізняються для сонячної радіації понад 35%, що вносить значну відмінність у значення енергоспоживання теплової енергії.

Список використаної літератури

1. Дешко В. І. Структурний аналіз енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти /В. І. Дешко, О. М. Шевченко //Наукові вісті Національного технічного

університету України; Київський політехнічний інститут". - 2011. - № 6. - С. 139-147. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/NVKPI_2011_6_23.pdf

2. Дешко В.І. Комплексне дослідження енергетичних характеристик будівлі / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус // The scientific heritage. – Угорщина, 2017. – №9. – С. 130.

3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Текст]. – Уведений вперше; чинний від 2015.01.01. – К. Мінрегіонбуд України, 2016. – 205 с.

4. ДСТУ_Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. – Уведено вперше; чинний від 2008.07.01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 44 с.

5. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Текст]. Чинний з 08.10.2016. – К.: Державне підприємство "Укразбудінформ", 2016. – 33 с.

6. EnergyPlus [Електронний ресурс] // Energy.Cov. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

7. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010. Будівельна кліматологія. – М.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2010. – 123 с.

8. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

УДК 628.88

Ю.І. Шульга, к.т.н., доц., **А.В. Сукайло**, студ. (НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського), **О.М. Сміленко**, студ. (НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського).

ДОСЛІДЖЕННЯ НОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В НАВЧАЛЬНОМУ ПРИМІЩЕННІ

Y.I. Shulga, **O.A. Sukaylo** (National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” name of Igor Sikorsky), **O.M. Smilenko**(National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” name of Igor Sikorsky).

В статті розглянуто основні фактори створення комфортних умов у навчальному приміщенні та проведено дослідження температурних параметрів приміщення в якому наявні різні джерела виділення теплоти, враховуючи температуру навколишнього середовища.

Ключові слова: повітряне середовище; комфортність; кондиціонер; температура повітря.

Y.I. Shulga, prof. (NTUU "KPI"), **O.A. Sukaylo** (National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” name of Igor Sikorsky), **O.M. Smilenko**(National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” name of Igor Sikorsky).

RESEARCH NORMATIVE PARAMETERS OF AIR IN CLASSROOMS

The article examines the main factors creating comfortable conditions in the training room and a study room temperature parameters which present different sources of heat release, given ambient temperature.

Keywords: air environment; comfort; air conditioning; air temperature.

ВСТУП. Комфортний і безпечний стан повітряного середовища – це широке поняття, що залежить від цілого ряду факторів: температура, відносна вологість, вміст кисню, вуглекислого газу, ступеня іонізації повітря, шумових та інших чинників. Створення такого стану є достатньо складною задачею, тому що зачіпає не тільки питання здорових умов праці через кількісні параметри повітря, що впливають, з одного боку, на здоров'я працівників, а з іншого боку, на кількісні показники трудового ритму – продуктивність підчас виконання тих або інших робіт.

Тісно стикаючись із повітряним середовищем, організм людини піддається впливу його фізичних і хімічних чинників: складу повітря, температури, вологості, швидкості руху повітря, барометричного тиску та ін. Особливу увагу варто приділити параметрам мікроклімату приміщень – виробничих, навчальних, житлових. Для людини мікроклімат може бути комфортним, тобто таким, що забезпечує стан теплового комфорту і дискомфортним - що нагріває чи охолоджує.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. Сторіччя що почалося, на думку провідних учених світу, ознаменоване тим, що увага дослідників усе частіше приділяється людині як об'єкту дослідження. Значна увага на думку дослідників, буде приділятися середовищу перебування не в плані природно-кліматичних умов, а в плані забезпечення здорових умов праці і навчання.

Під створенням комфортного та безпечного повітряного середовища розуміють постійну підтримку певного стану повітря в приміщенні, що характеризується, наприклад його температурою, відносною вологістю і фізичними факторами антропогенного походження.

МЕТА РОБОТИ. Метою роботи є підвищення рівня комфортності перебування в навчальних приміщеннях, ефективності регулювання температури у приміщеннях.

МЕТОДИКИ, МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для дослідження показників температури в приміщенні під час навчального процесу і залежно від температури навколишнього середовища, було створено геометричну модель приміщення зображену на рис.1. Експеримент проводиться у додатку SolidWorks Flow

Simulation. Потужність тепловіддачі теплових джерел: 1900Вт нагрівачі, кожен персональний комп'ютер виділяє 15 Вт, 9Вт виділяє кожна енергозберігаюча лампа, всього в аудиторії 3 нагрівача, 12 комп'ютерів, 15 осіб та 4 освітлювальних лампи.

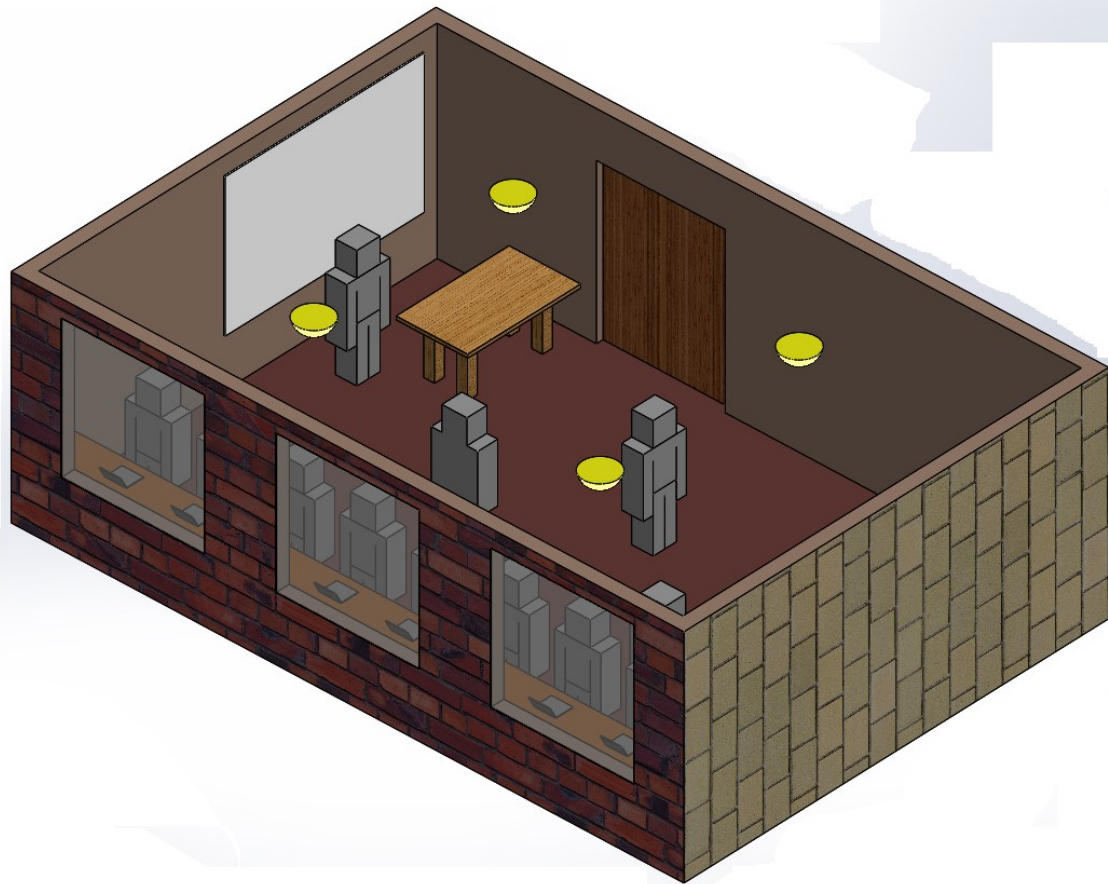


Рисунок 1 - Геометрична модель навчального приміщення

Наступним кроком є введення відповідних даних, а саме потужності тепловіддачі теплових джерел, температури зовнішніх стінок, проведення експерименту і отримання результатів. На рис. 2 зображена модель після введення даних.

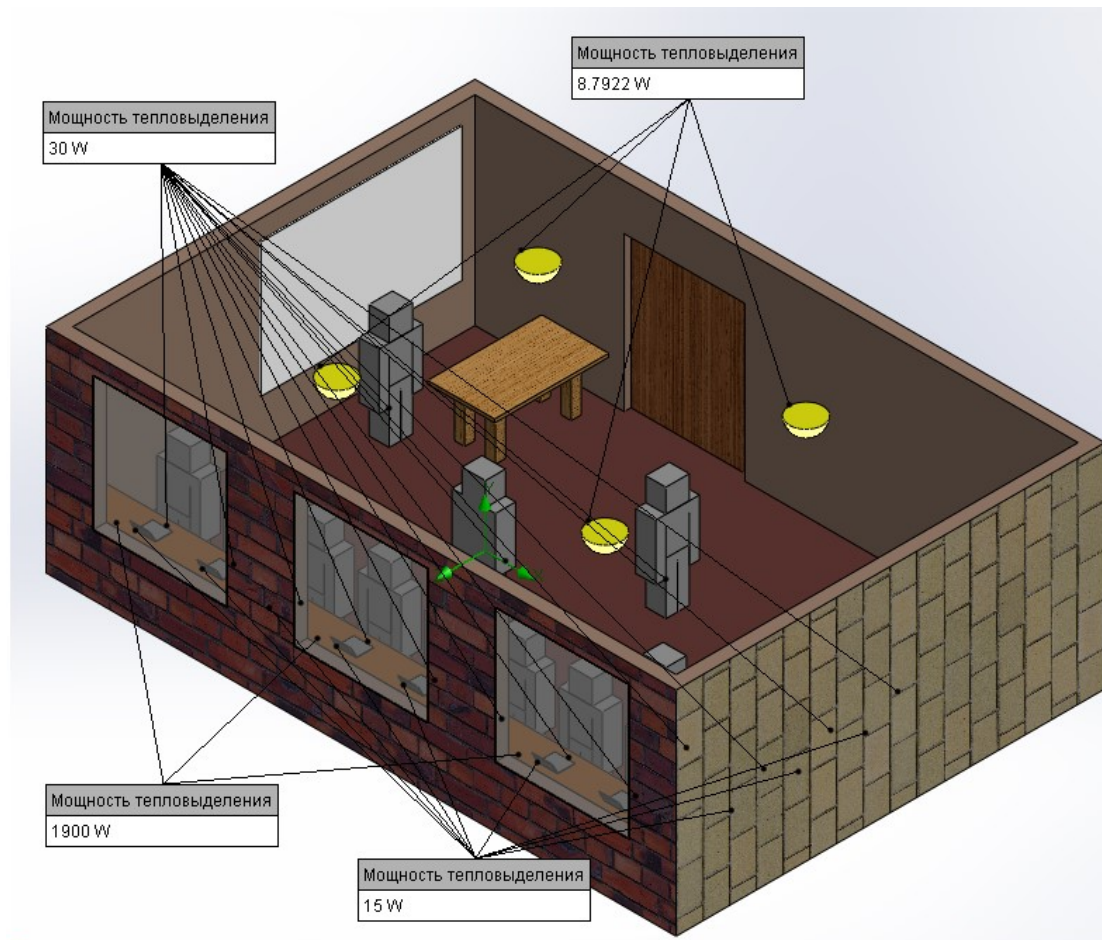


Рисунок 2 – Геометрична модель після введення даних для дослідження

В якості результатів надано відображення картин – розрізів температурних параметрів у приміщенні, враховуючи теплопровідність стін, швидкість руху теплових потоків, потужність теплових джерел, можемо бачити, що середнє значення температури в приміщенні знаходиться на рівні 20,5 градусів Цельсія.

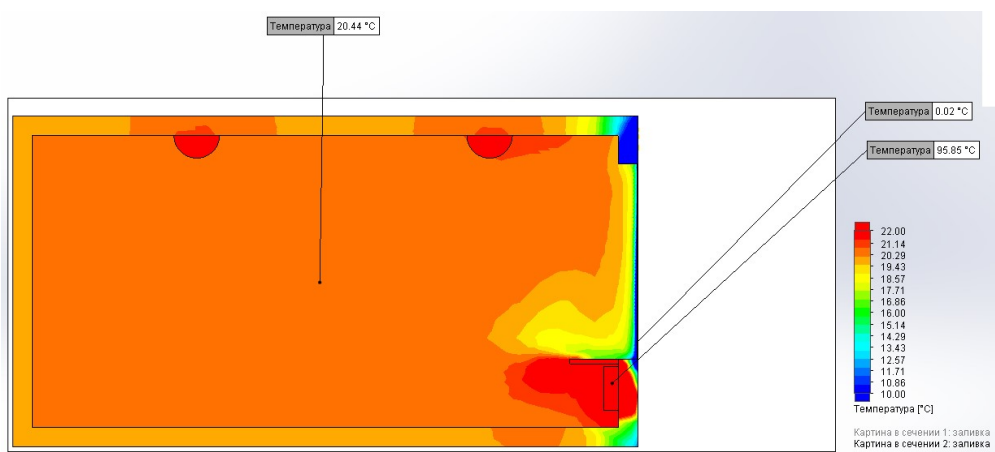


Рисунок 3 - Температурні показники – розріз збоку

Щодо температури зовнішньої стіни, можна бачити, що значні теплові втрати присутні в області вікон і безпосередньо в області нагрівачів.

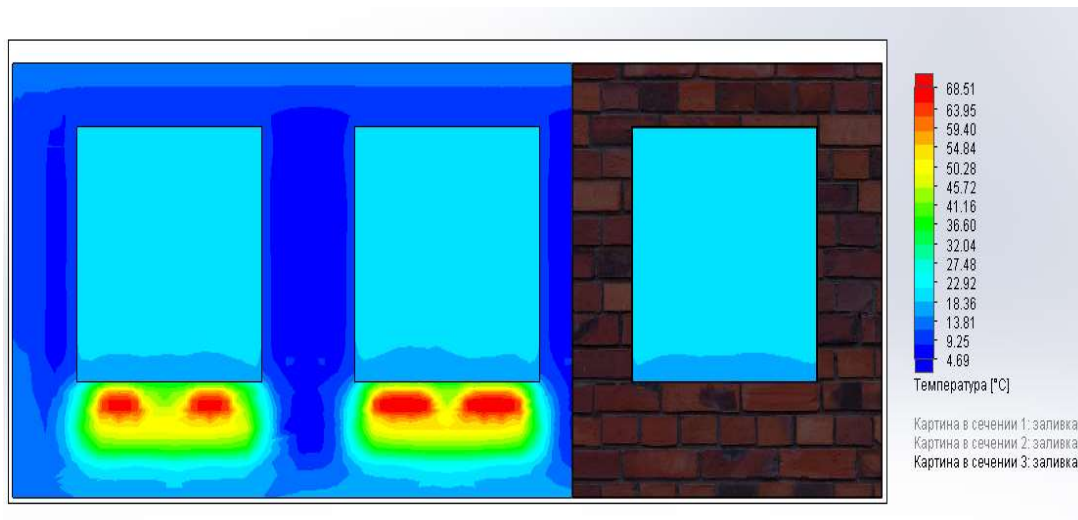
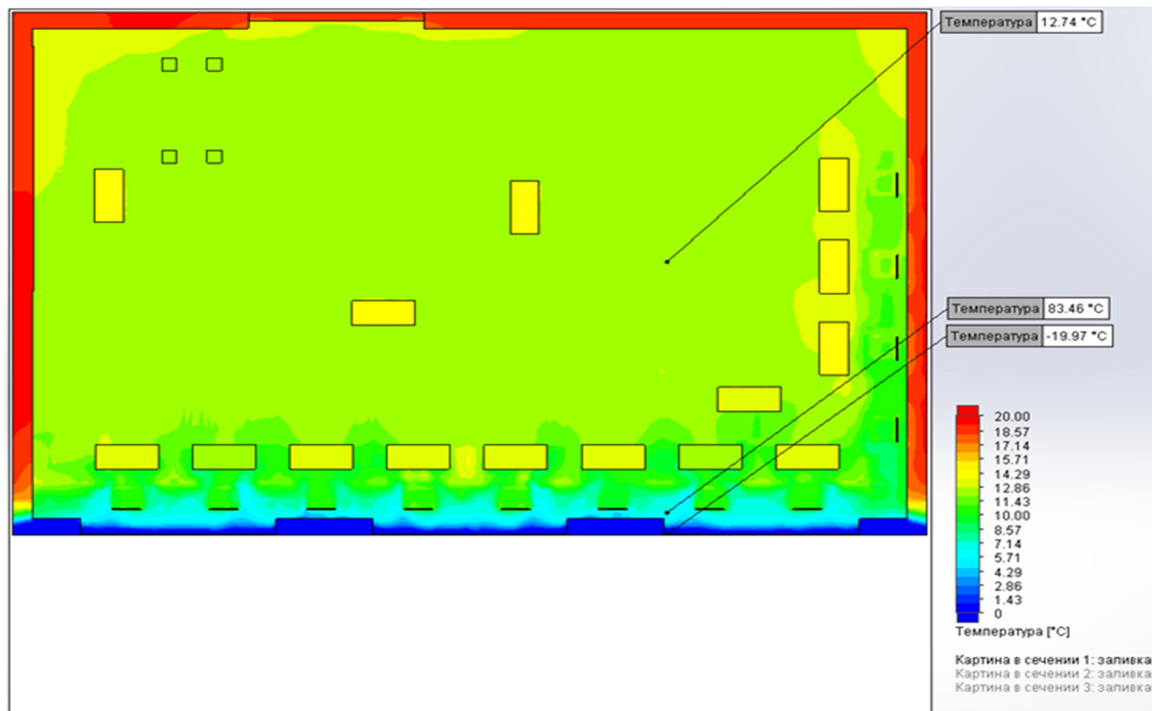


Рисунок 4 Температурні показники – зовнішня стіна

Для порівняння приведено результат моделювання температурних показників у тому ж приміщенні, при температурі навколишнього середовища -20 градусів Цельсія (рис. 5).



У даному експерименті середнє значення температури знаходиться на рівні 12,7 градусів Цельсія. Проаналізувавши відповідно результати температурних показників в першому та другому експерименті можна зробити висновок, що існує необхідність у встановленні додаткових секцій обігрівачів для підвищення середньої температури в приміщенні, або у додатковому утепленні зовнішньої стіни.

ВИСНОВКИ. Застосування методів математичного моделювання дозволяє оцінювати різноманітні фактори які впливають на формування комфортних і безпечних умов повітряного середовища у приміщеннях. Виконане дослідження для приміщення колективного користування дає можливість побачити процеси розподілу теплових потоків у приміщенні і доводить необхідність розробки пристроїв і систем управління, які забезпечать енергетичну ефективність, можливість керування повітряним

середовищем приміщень з урахуванням ряду факторів.

ЛІТЕРАТУРА

[9] Метод і засоби контролю та управління якістю повітряного середовища у приміщеннях. Монографія / С. В. Сукач, Ю. І. Шульга. – Кременчук: Видавець ПП Щербатих О. В., 2013. – 192 с.

[10] Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – М.: СПб БХВ - Пертербург, 2005.

[11] Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003-М.:ГУП ЦПП, 2003.-74с.

[12] Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха:[учебное пособие]/Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич.-М.:Аванпост-Прим, 2005.-С. 548-560.

[13] Вентилювання приміщень/[С.С. Жуковський, О.Т. Возняк, О.М. Довбуш, З.С. Люльчак]: Львівська політехніка, 2007. – 476с.

[14] Глива В.А. Технічне забезпечення оперативного контролю фізичних параметрів виробничого середовища/В.А. Глива, М.В. Яровой // Вісник національного інституту охорони праці.-2008.-№20.-С. 9-11.

УДК 621.314

О.В. Данілін, к.т.н., доцент (КПІ ім. Ігоря Сікорського), **О.О. Буря**, магістр (КПІ ім. Ігоря Сікорського), **О.М. Шарий**, магістр (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ДВОКООРДИНАТНА СИСТЕМА НАВЕДЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА СОНЦЕ

Розглянуто підхід до вирішення задачі з використання у системі наведення сонячної батареї на Сонце двохкоординатного електроприводу, що містить два крокових двигуна КД-5д, мікропроцесорну систему керування транзисторними перетворювачами, адаптивний контур управління, побудований за принципом системи з еталонною моделлю і сигнальним самоналаштуванням з введенням двох похідних по завданню на вхід регулятора струму електропривода. Для фотоелектричної електростанції розроблені контролер наведення на Сонце і блок датчиків положення Сонця, що забезпечують наведення механічної рами з сонячною батареєю на Сонце з точністю 1 градус. При переміщенні по положенню в електроприводі організований несиметричний режим позиціонування з обмеженням швидкості обертання, прискорення, гальмування і ривка крокового двигуна.

Ключові слова: контролер наведення на Сонце, кроковий двигун, самоналагоджувальна система управління, датчик положення Сонця, автоматичне стеження за Сонцем.

A. Danilin, Ph.D, associate professor (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute), **O. Buria**, student (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute), **A. Sharyi**, student (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute)

TWO-COORDINATE GUIDANCE SYSTEM OF PHOTOVOLTAIC PANELS TO THE SUN

The approach to solving the problem of use in guidance systems of solar panels on the Sun two-coordinate electric drive comprising two stepper engine KD-5d, microprocessor control system transistor converters, adaptive control circuit, built on the principle of the system with the standard model and signal self-tuning with the introduction of two derivatives task input electric current regulator. The author has developed for photovoltaic power station the controller of pointing to the Sun and a block of sensors of the Sun position provide guidance of mechanical frame with solar battery to the Sun with an accuracy of 1 degree. When position moving in the electric drive the asymmetric positioning mode with limited rotation speed, acceleration, deceleration and jerk stepper engine is arranged.

Keywords: *Controller of pointing to the Sun, stepper motor, self-adjusting control system, positioning mode, sensor of the Sun position, the Sun automatic tracking.*

ВСТУП. В даний час у зв'язку з багатьма факторами, такими як виснаження енергоресурсів, збільшення їх вартості і загальний негативний вплив традиційної енергетики на навколишнє середовище, все гостріше постає питання про знаходження нових, екологічних і поновлюваних джерел енергії. В області поновлюваних джерел енергії одним з найбільш перспективних напрямків є сонячна енергетика з використанням сонячних батарей, так як сонячна енергія є відкритою і невичерпна. Основним недоліком енергоустановок з сонячними батареями, особливо автономних фотоелектричних енергоустановок, є низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Для більш ефективного використання сонячних батарей (СБ) в сонячних енергетичних установках застосовують різні методи підвищення їх енергетичної ефективності. Підвищення ККД сонячних енергоустановок призводить до істотного зниження вартості виробленої електроенергії.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. Обумовлена необхідність створення нових високоефективних систем наведення сонячних батарей на Сонце.

МЕТА РОБОТИ. Створення двокоординатної системи наведення фотоелектричних панелей на Сонце для фотоелектричної електростанції, що забезпечує задану точність і мінімізацію енергетичних витрат при наведенні, з використанням в системі крокового двигуна.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Проаналізуємо можливість підвищення енергетичної ефективності фотоелектричної електростанції потужністю 0,5 кВт, шляхом застосування електроприводу позиційного стеження з кроковим двигуном, який забезпечить задану точність наведення сонячних батарей і мінімізацію енергетичних витрат при наведенні.

Запропоновано в системі наведення використовувати кроковий двигун КД-5д [1]. Застосування двигунів обумовлено тим, що вони можуть експлуатуватися в температурному діапазоні від -40 до +70 градусів, підвищеного рівня вологості, вібрацій і ударів, впливу соляного туману, цвілевих грибів, дощу і мають термін служби 50 тисяч годин протягом 20 років.

Наведено ескіз розробленої фотоелектричної електростанції (рис. 1). Конструкція складається з наступних елементів: рама з СБ типу КСМ-190; рухливий каркас; нерухомий каркас; блоки двох редукторів, що поєднують в собі черв'ячний редуктор і поєднаний з ним циліндричний редуктор; два КД; датчик положення Сонця; п'ять кінцевих вимикачів.

Функціональна схема двокоординатної системи наведення сонячних батарей на Сонце приведена на рисунку 2.

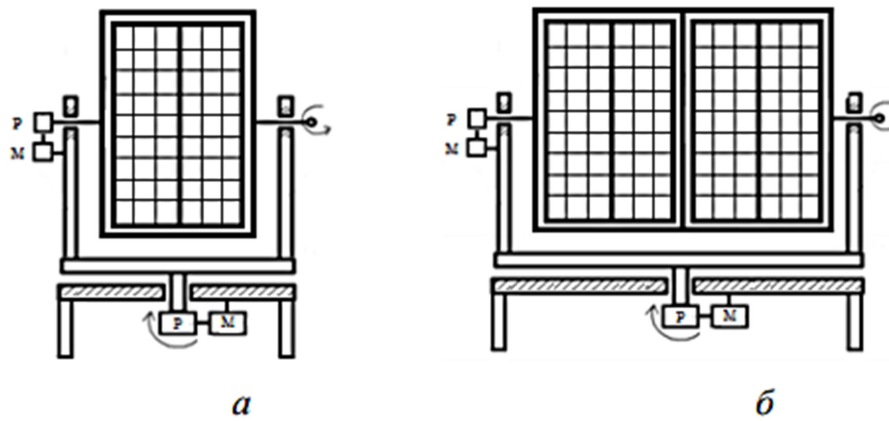


Рисунок 1. Ескізи механічних конструкцій АФЕУ

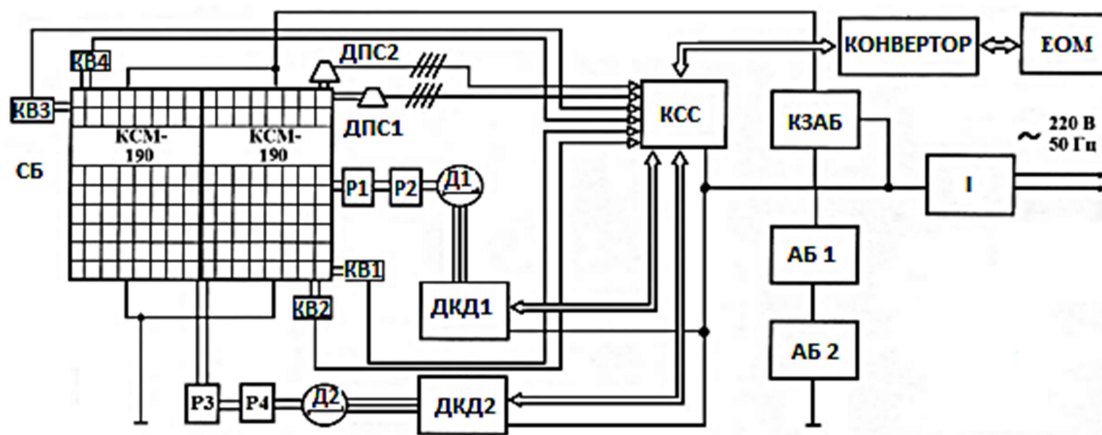


Рисунок 2. Функціональна схема двокоординатної системи наведення

На рисунку 2 прийняті наступні позначення: СБ – сонячна батарея; КСС – контролер стеження за Сонцем; ДКД1, ДКД2 – драйвери управління кроковими двигунами; ДПС 1, ДПС2 – датчики положення Сонця по азимуту і куту місця; КВ1–КВ4 – кінцеві вимикачі; Д1, Д2 – крокові двигуни; Р1– Р4 – редуктори; КЗАБ – контролер заряду акумуляторної батареї; І – інвертор; АБ1, АБ2 – акумуляторні батареї.

На рисунку 3 приведена функціональна схема двокоординатної системи з КД. На рисунку 3 прийняті наступні позначення : МК – мікроконтролер; ДКД – драйвер КД; КВ1-КВ4 – кінцеві вимикачі; Р – редуктор; ВМ – виконавчий механізм; БЗП1, БЗП2 – блоки завдання положення; $Q_{зад1}$, $Q_{зад2}$ – задані кути повороту виконавчого механізму.

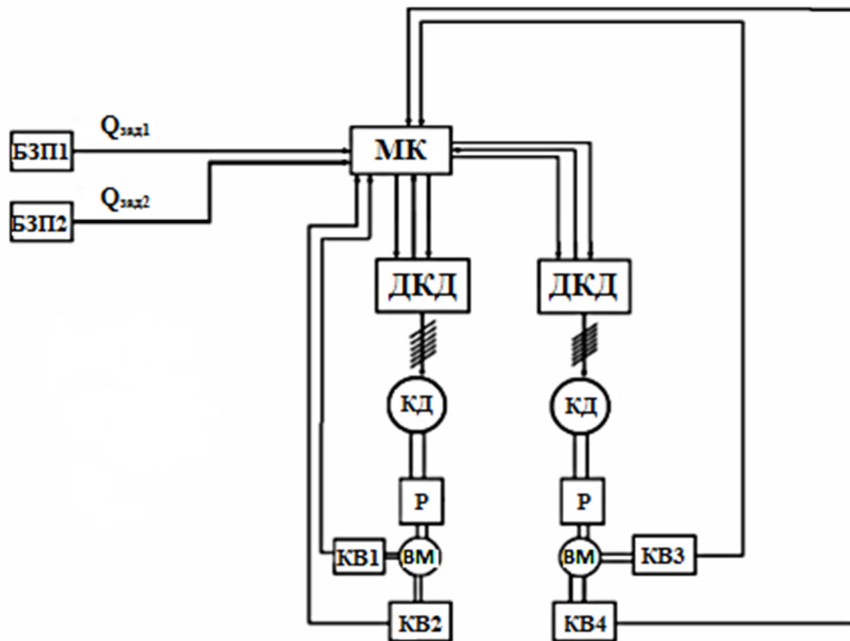


Рисунок 3. Функціональна схема двокоординатної системи з КД

Для фотоелектричної електростанції застосовують системи стеження, що містять електроприводи з кроковими двигунами (КД). У КД відсутні механічні частини або деталі, в яких виникає тертя. Це визначає його високу надійність і великий ресурс. Гідність КД полягає у відсутності спеціального датчика положення [2]. На рисунку 4 показана фотографія крокового двигуна типу ШД-5д. Цей двигун був розроблений для металообробних верстат з системою числового програмного керування і спеціальної (військової) техніки, що є гарантією його надійності[3].



Рисунок 4. Кроковий двигун ШД-5д

Електромагнітна постійна часу фази двигуна ШД-5д становить 14 мс. Постійна часу T_2 з урахуванням моменту інерції механізму переміщення становить понад 100 мс, тобто еквівалентна електромагнітна постійна часу на порядок менше, ніж постійна часу T_2 (T_2 – аналог електромеханічної постійної часу двигуна постійного струму). У силовому драйвері КД може бути проведена компенсація електромагнітної постійної часу фази двигуна за рахунок подачі високої напруги при регулюванні амплітуди струму. В цьому випадку для поліпшення динамічних характеристик контура регулювання струму, регулятор можна виконати як ПІ-регулятор, що компенсує

постійну часу T_2 . Передавальна функція регулятора при цьому має такий вигляд:

$$Wp(p) = \frac{T_2 p + 1}{T_2 p} K_k,$$

де K_k - коефіцієнт передачі регулятора, p - оператор Лапласа.

Конструкція розробленого блоку датчиків положення Сонця показана на рисунку 6

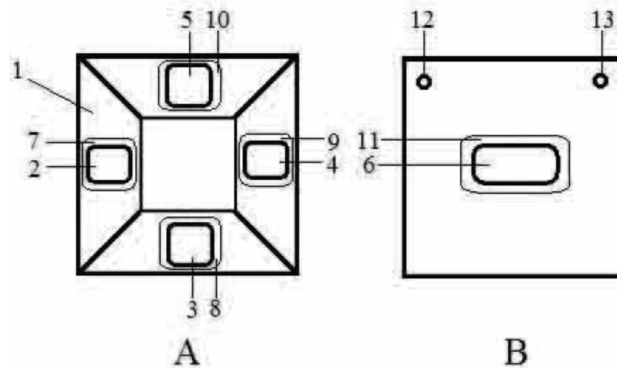


Рисунок 5. Конструкція БДПС: А) вид зверху; В) вид знизу

На рисунку 5 прийняті наступні позначення: 1 - зрізана піраміда; 2-6 - фотоелементи; 7-11 – захисне скло; 12, 13 - елементи кріплення. Датчик виконаний у формі зрізаної чотиригранної піраміди з нахилом протилежних граней на 20 градусів. Піраміда виготовлена з дюралюмінієвого сплаву, в чотирьох гранях піраміди і в підставі виконані місця під п'ять фотоелементів. Всі фотоелементи зафіксовані і закриті захисним склом. В основі піраміди є елементи для кріплення датчика до рами сонячної електростанції. Проведено експериментальні дослідження БДПС з метою визначення його чутливості в режимі малих переміщень.

Переміщення (обертання) фотодатчика проводилося за допомогою поворотного столу від фрезерного верстата, що має дозвільну здатність при переміщенні 0,25 кутового градуса. Максимальний струм одного фотоелемента БДПС при максимальній сонячній освітленості досягає 100 мА. У таблиці наведено результати вимірювань вихідного струму фотоелемента однієї грані БДПС при малих переміщеннях, при малій освітленості.

З таблиці 1 видно, що БДПС володіє чутливістю менше 0,5 кутового градуса.

Таблиця 1

Струм фотоелемента БДПС при переміщенні на малий кут

φ , градус	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
I, мА	15,76	15,78	15,8	15,82	15,84	15,85	15,86	15,87	15,89

Максимальний діапазон вимірювання струму фотоелемента БДПС контролером наведення визначається за формулою:

$$D = \frac{I_{\max}}{\Delta I_{\min}},$$

де ΔI_{\min} - мінімальне значення в різниці струму фотоелемента при переміщенні на 1 градус, ΔI_{\max} - максимальний струм фотоелемента.

Розрахунок при переміщенні на 0,25 кутового градуса зміна струму становить 5–10 мкА, а максимальний діапазон виміру струму становить 10000–20000. У цьому випадку для забезпечення чутливості в 0,25 кутового градуса необхідна розрядність АЦП мікроконтролера повинна бути мінімум 14–15 розрядів ($2^{14} = 16384$, $2^{15} = 32768$), а з урахуванням можливості регулювання і вибору стандартного АЦП повинна складати 16–розрядів.

Для зменшення ривків і хитань при наведенні рами на Сонце в програмному забезпеченні КНС закладений несиметричний режим позиціонування, тобто гальмування йде зі зниженим прискоренням і ривком в порівнянні з розгоном [4].

На рисунку 6 показана діаграма режиму позиціонування в електроприводі. В електроприводі забезпечується максимальна швидкодія при переміщенні під час мікроциклу наведення. Це необхідно для мінімізації витрат електричної енергії електроприводами при переміщенні. На рисунку 6 в інтервалі часу t_0-t_3 відбувається розгін двигуна з максимальним прискоренням і ривком, в інтервалі t_4-t_7 відбувається гальмування.

Алгоритм наведення СБ на Сонце з використанням розробленого ДПС наведено на рисунку 7. Спочатку вимірюються струми в п'яти фотоелементах датчика (I_a, I_b, I_c, I_d, I_e), далі визначається величина різниці в струмі в протилежних гранях датчика ($dI_1 = I_a - I_b$; $dI_2 = I_d - I_e$) та знаходиться відносна величина помилки по току:

$$D \left(\frac{dI_2}{I_{cp2}}; \frac{dI_1}{I_{cp1}} \right).$$

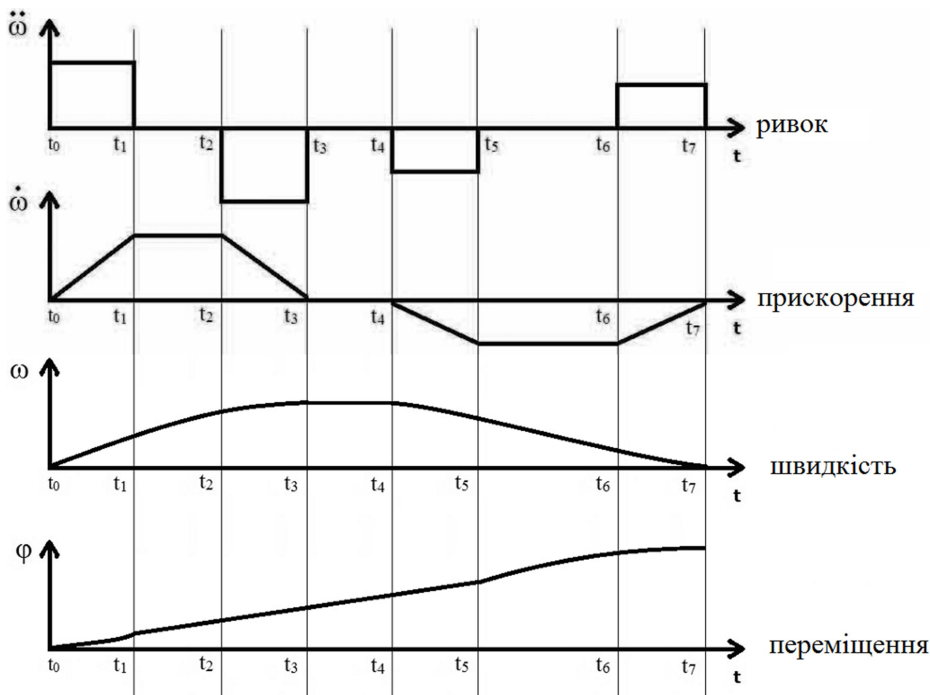


Рисунок 6. Діаграма режиму позиціонування

Якщо відносна величина помилки по струму більша граничного значення (зони нечутливості K , яка може здаватися від 0,01 ... 0,05), відбувається одне з наступних дій: переміщення рами вліво або вправо, переміщення рами вгору або вниз. Якщо відносна величина помилки по струму менше граничного значення, то відсутнє переміщення.

Це означає що: або рама з СБ точно спрямована на Сонце, або рама з СБ знаходиться в тіні. Якщо величина струму в тильній частині датчика (I_c) більше

середнього значення струму в гранях датчика по азимуту $\left(\frac{I_c - I_{cp1}}{I_{cp1}} \right)$ на 5%, то це

означає, що Сонце світить із зворотного боку рами. Це відбувається на наступний день після сходу сонця, при цьому необхідно раму розгорнути в початкове положення. При проведенні випробувань двокоординатної системи наведення в лабораторних умовах встановлено, що якщо відносна величина помилки менше зони нечутливості на $K = 0,05$, то забезпечується точність наведення рами на Сонце в 1 градус

Розроблене програмне забезпечення реалізує наступні функції: автоматичне наведення рами з СБ на Сонце; ручне переміщення (від чотирьох кнопок) рами з СБ по обох координатах; можливість налаштування в контролері заданої швидкості, прискорення і гальмування в режимі позиціонування; можливість зміни зони нечутливості (K) [5].

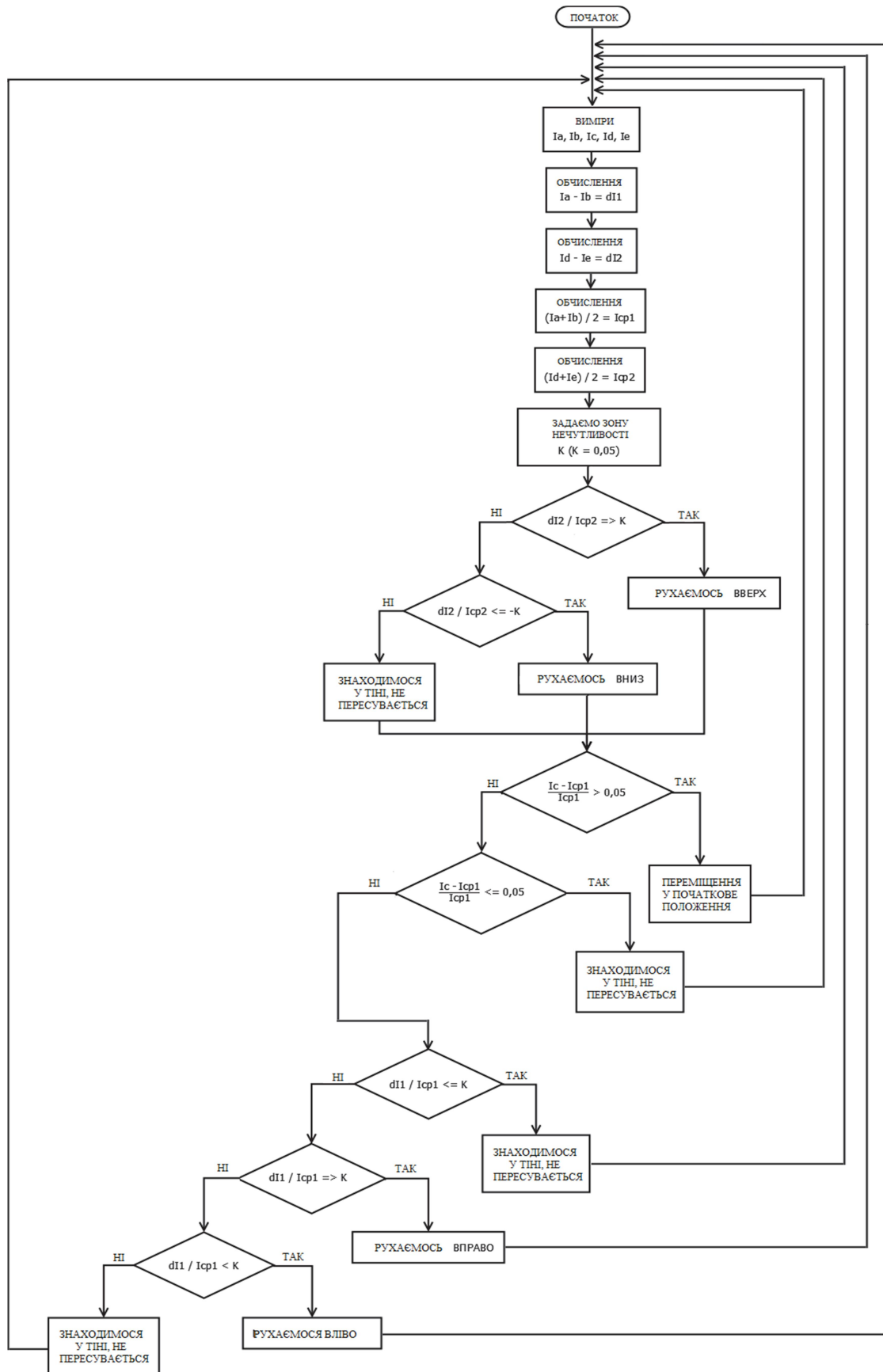


Рисунок 7. Алгоритм наведення СБ на Сонце
 ВИСНОВКИ. У фотоелектричній електростанції з вихідною потужністю до 0,5

кВт запропоновано використовувати в системі наведення СБ на Сонце двокоординатний електропривод, що містить два крокових двигуна КД-5д, мікропроцесорну систему керування транзисторними перетворювачами, адаптивний контур управління, побудований за принципом системи з еталонною моделлю і сигнальним самоналаштуванням з введенням двох похідних за завданням на вхід контуру регулювання струму електроприводу.

Для фотоелектричної електростанції розроблений контролер наведення на Сонце і блок датчиків положення Сонця, що забезпечують наведення механічної рами з СБ на Сонце з точністю 1 градус. При переміщенні механічної рами організований несиметричний режим позиціонування з обмеженням швидкості обертання, прискорення, гальмування і ривка крокового двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беленький Ю.М., Зеленков Г.С., Микеров А.Г. Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов. Санкт-Петербург, – С: Издательство ЛДНТП, 1987.– 152 с.
2. Грабко В.В., Кучерук В.Ю., Возняк О.М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Вінниця, – С: Навчальний посібник ВНТУ, 2009.– 98с.
3. Удут С.Л. Синтез адаптивной системы управления электромеханическими преобразователями двухкоординатной поворотной платформы. – Москва : дис. канд. техн. наук, 1996.– 75с.
4. Бейнарович В.А. Электромеханические системы управления непрерывными технологическими процессами. – Томск: Издательство Томского государственного университета, 1989.–123с.
5. Аржанов К.В., Система наведения солнечных батарей на солнце. – Алушта: XIX Международная Научно-техническая конференция, Силовая электроника и энергоэффективность, 2013. – 36с.

УДК

Гордієнко Б.Ю., к.т.н. Пермяков В. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.

У статті розглядаються шляхи покращення характеристик системи асинхронно-вентильний каскад за допомогою використання фаззи-регулятора.

Ключові слова: регульований електропривод, вентиляційна установка, асинхронно-вентильний каскад, нечітка логіка, фаззи-регулятори

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.

В статье рассматриваются пути улучшения характеристик системы асинхронно-вентильный каскад с помощью использования фаззи-регулятора.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, вентиляционная установка, асинхронно-вентильный каскад, нечеткая логика, фаззи-регуляторы

RESEARCH OF CONTROL SYSTEM IN THE VARIABLE SPEED FAN DRIVE USING FUZZY LOGIC.

The article discusses ways to improve system performance of wound-rotor slip recovery system using fuzzy logic.

Keywords: variable speed drive, ventilation systems, wound-rotor slip recovery system fuzzy logic, fuzzy controllers

Вступ. Під нечітким управлінням розуміється стратегія управління, заснована на емпірично придбаних знаннях щодо функціонування об'єкту (процесу), представлених в лінгвістичній формі у вигляді деякої сукупності правил. Застосування нечіткого регулювання в СУ дозволяє істотно поліпшити якість управління складними об'єктами в порівнянні з традиційними алгоритмами управління, які будуються на основі аналітичних моделей.

Алгоритми керування з використання нечіткої логіки реалізуються в системах керування електроприводом програмним способом. В програмованих контролерах передбачаються модулі з інструкціями для користувачів, а в промислових контролерах – програмні засоби з набором стандартних ситуацій.

Аналіз стану питання. До останнього десятиліття минулого століття в побудові систем управління електроприводів домінував традиційний підхід, який не завжди характеризується працездатним управлінням складними нестаціонарними об'єктами. Розвиток силової електроніки і обчислювальної техніки в останні десятиліття дозволив створювати сучасні приладові електроприводи, в яких все частіше почали використовуватися інтелектуальні системи управління, здібні до «розуміння» і навчання у відношенні об'єкту управління, обурень, зовнішнього середовища і умов роботи. Простота і дешевизна розробки систем фаззі-управління примушує проєктувальників все частіше прибігати до цієї технології. Нечіткі системи дозволяють підвищити якість продукції при зменшенні ресурсо – і енерговитрат і забезпечують вищу стійкість до дії чинників, що заважають, в порівнянні з традиційними системами автоматичного управління.

Мета роботи - покращення характеристик системи асинхронно-вентильний каскад за допомогою використання фаззі-регулятора.

Методики, матеріали і результати досліджень. Дослідження характеристик системи АВК проводиться шляхом введення в систему фаззі-контролера паралельно традиційному регулятору.

Першим серйозним кроком у цьому напрямку з'явилася теорія нечітких множин, розроблена Заде. Його робота "Fuzzy Sets", що з'явилася в 1965 році в журналі "Information and Control", заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і з'явилася початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Він же дав і назву для нової області науки – "fuzzy logic"(fuzzy – нечіткий, розмитий, м'який).

Нечітка логіка (фаззі-логіка) – це технологія розробки систем управління, яка базується в основному на інтуїції експерта в тій або іншій області і досвіді інженера. Вона використовує елементи повсякденної мови для опису поведінки системи, на відміну від складного математичного апарату при проєктуванні звичайних систем на основі моделей, що дозволяє використовувати її для побудови стійких систем управління дуже складними об'єктами.

Першим ступенем інтелектуальних систем є нечіткі системи, зокрема нечіткі (фаззі-) регулятори. Під нечітким управлінням розуміється стратегія управління, заснована на емпірично придбаних знаннях щодо функціонування об'єкту (процесу), представлених в лінгвістичній формі у вигляді деякої сукупності правил. Застосування нечіткого

регулювання в СУ дозволяє істотно поліпшити якість управління складними об'єктами в порівнянні з традиційними алгоритмами управління, які будуються на основі аналітичних моделей

Одним із сучасних пакетів прикладних програм, який доцільно використовувати при проектуванні електромеханічних систем, це пакет MATLAB з широко розвинутими доповненнями, з яких найбільш пристосованими для аналізу та синтезу різних систем електроприводів є Simulink.

Сучасна інтегрована система комп'ютерної математики MATLAB володіє потужним апаратом для синтезу системи фаззи-управління як за допомогою операторів командного рядка, так і з використанням додатку SIMULINK. Крім цього, система MATLAB містить спеціальний вбудований модуль FUZZY LOGIC TOOLBOX, який призначений для синтезу і аналізу систем нечіткого логічного виводу.

Для дослідження вибрана система підлеглого регулювання з П-регулятором швидкості та ІІІ-регулятором струму.

Перевагою систем підлеглого регулювання є зручність в експлуатації, простота налагодження, мінімальні терміни пуску об'єкта, широкі можливості уніфікації вузлів керування, можливість реалізації систем регулювання з комплекту стандартних елементів незалежно від структури та параметрів електропривода. Система дозволяє налаштовувати кожен змінну окремо, починаючи з внутрішнього контуру і робити це незалежно від налагодження зовнішнього.

Структурна схема підлеглого управління системи АВК представляє собою схему з регулюванням струму ротора та швидкості двигуна, і представлена на рис 1.

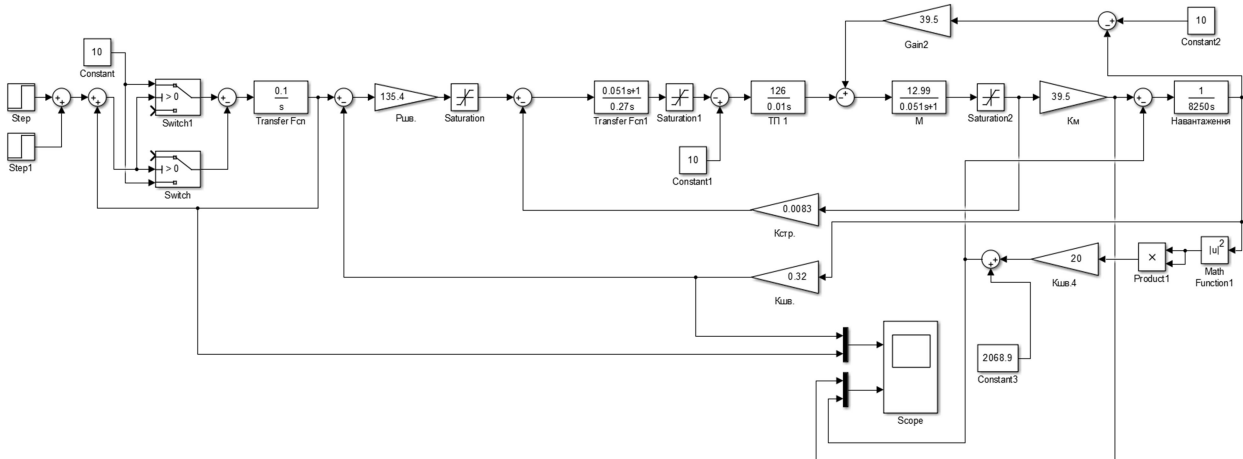


Рисунок 1 – Математична модель системи асинхронно-вентильного каскаду

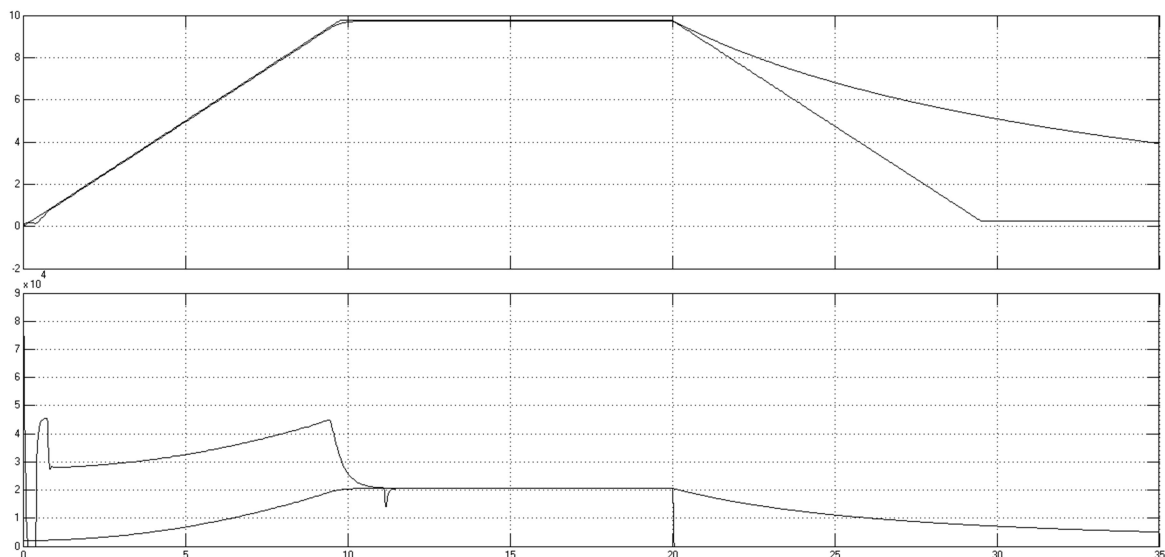


Рисунок 2 – Графічні результати моделювання системи АВК в середовищі MatLab

Нечітка логіка використовується для заміни традиційних алгоритмів керування і спільно з ними. В простішому випадку замість традиційного регулятора використовують фаззі-контролер(ФК). При побудові нечіткого регулятора виходять із припущення, що експерти зможуть сформувати базу правил в формі ЯКЩО(передумова) ТО(висновок).

Проектування нечіткого регулятора являє собою циклічно протікаючий процес, який лише після багатьох ітерацій дозволяє досягти необхідної якості керування. Узагальнена процедура проектування представлена у вигляді алгоритму. Однак, оскільки власне ядро фаззі-регулятора (фаззифікація, механізм нечітких логічних висновків, дефаззифікація) не має внутрішньої динаміки, то принципово неможливо в найпростішому випадку забезпечити необхідну динамічну поведінку регулятора. Якщо ставиться завдання забезпечення будь-якої динамічної або нединамічної поведінки регулятора (наприклад, подібну до класичного ПІД-регулятора), то це завдання вирішується введенням у контур управління блоку підготовки контрольованих параметрів на основі даних виміру сигналів датчиків. Цей блок забезпечує розрахунок необхідних параметрів на основі вимірної помилки регулювання (похідні, інтеграли й т.п.) і є, на відміну від класичних регуляторів, не складовою частиною регулятора, а самостійним модулем. Якщо деякі процеси об'єкта керування погано піддаються формалізації й математичному опису, то в існуючій системі керування використовують фаззі-контролер паралельно традиційному регулятору. При використанні методів каскадного керування із класичним регулятором у внутрішньому контурі фаззі-контролер може бути застосований у зовнішньому контурі.

Фаззі-контролер може бути розташований паралельно традиційному регулятору або послідовно з ним.

Методи нечіткої логіки успішно використовуються в адаптивних системах для настроювання й корекції параметрів регуляторів у процесі їхньої роботи. Можливі варіанти виконання таких систем. Зокрема, здійснюється настроювання параметрів традиційних регуляторів з використанням модулів адаптивної системи, реалізованих алгоритмами нечіткої логіки. В іншому випадку перебудований регулятор і модулі адаптивної системи реалізуються алгоритмами нечіткої логіки, чим створюються самоорганізуючі фаззі-контролери, які за допомогою модифікації параметрів регулятора оптимальним способом настроюються на керований процес. Основою для адаптації фаззі-контролера є спостереження за помилкою регулювання y (або) вихідною величиною об'єкта керування, з якої формується значення показника якості

(наприклад, мінімуму інтегральної квадратичної оцінки). Стратегія настроювання параметрів зосереджена в модулі алгоритму адаптації. Він має «інтелект» адаптивного регулятора у формі різних команд установки параметрів залежно від значення поточного показника якості. При цьому реалізація алгоритму адаптації як фаззі-алгоритма виконується на основі правил типу ЯКЩО..., ТО.... Всі системи з нечіткою логікою функціонують за одним принципом: показання вимірювальних приладів: фазіфікуються (перетворюються в нечіткий формат), обробляються, дефазіфікуються й у вигляді звичайних сигналів подаються на виконавчі пристрої. Для побудови графіків залежності функцій приналежності $\mu_S(e)$, $\mu_M(e)$, $\mu_B(e)$ від вхідного сигналу в режимі командного рядка створюється m-файл, який містить оператори для завдання діапазону зміни вхідного сигналу, оператори, які описують форму функцій приналежності і команда побудови графіка разом з екранною сіткою. Для обчислення координат центрів тяжіння фігур під графіками залежності функцій приналежності від вхідного сигналу (процес дефазифікації) складемо m-файл, який містить оператори для завдання діапазону зміни вхідного сигналу, оператори, які описують форму функцій приналежності і оператор, який виконує дефазифікацію «гравітаційним» методом (centroid). На рис. 3. зображено систему АВК з фаззі-контроллером, який розташований паралельно традиційному П-регулятору швидкості.

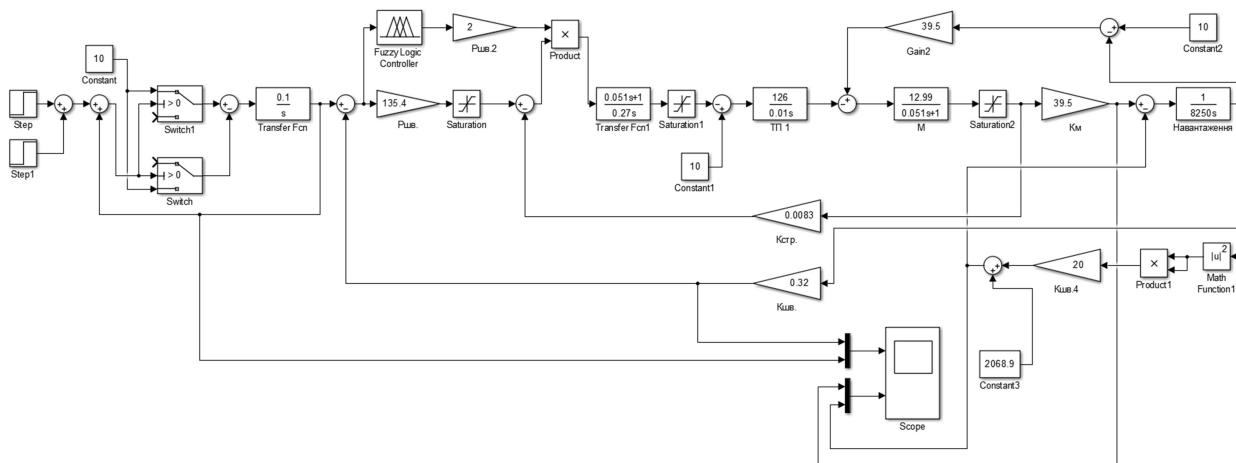


Рисунок 3 – Математична модель АВК з фаззі-контроллером в середовищі MatLab

Графічні результати моделювання представлені на рис. 4.

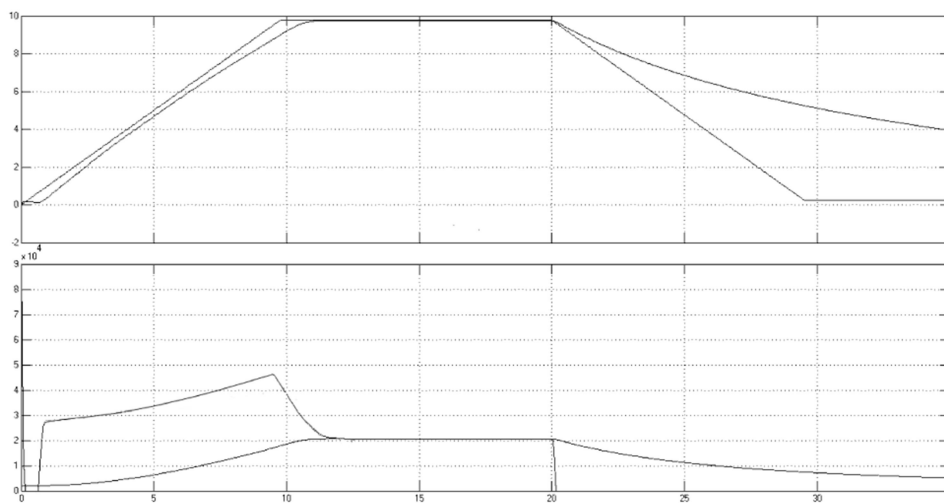


Рисунок 4 – Діаграми швидкостей та навантажень з фаззі-контроллером

Висновки. В даній роботі для покращення якості регулювання системою асинхронно-вентильний каскад паралельно регулятору швидкості у системі встановлюється фаззі-контролер. Після реалізації цієї системи в середовищі MATLAB можна зробити висновок, що після застосування фаззі-контролера характеристики системи стали кращими, ніж при використанні системи без фаззі-контролера.

Як видно з графіків, використання фаззі-контролера є більш доцільним, оскільки зменшуються коливання сигналу статичного моменту в системі, які були присутні в звичайній системі АВК.

Основною перевагою фаззі-контролера є те, що він не вимагає знання математичного опису керованим об'єктом.

Нечіткі системи дозволяють підвищити якість регулювання системи при зменшенні ресурсу – і енерговитрат і забезпечують високу стійкість до дії чинників, що впливають на неї, в порівнянні з традиційними системами автоматичного управління.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чермалых В.М. Нечеткая логика в интеллектуальных системах программного управления. Чермалых А.В., Алтухов Е.И., Данилин А.В. – К.: НТУУ "КПИ" ІЕЕ, 2006 г.
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Нечітка_логіка

УДК 621.311

К.М. Рябоконт, студент (НТУУ «КПІ»), **В.М. Пермяков**, доц. (НТУУ «КПІ»).

МОНІТОРИНГ ТА ДІАГНОСТИКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО СТРУМУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Розглянуто впровадження нових підходів до вирішення проблеми підвищення якості функціонування насосної установки з. Дієвими заходами енергозбереження можуть стати: розроблення засобів діагностування енергетичного і технічного стану та технологічних заходів з економії електроенергії. Поставлені у роботі завдання вирішуються шляхом застосування положення теорії електропривода та методи: математичного аналізу, аналізу гармонічного складу кривих струмів і напруг, математичної теорії вимірювань.

Ключові слова: багатовимірна інформація, рівняння Парка, діагностування, електропривід, метод SSA.

K. Riabokon, student (NTUU "KPI"), **V. Permiakov**, PhD. (NTUU "KPI").

Monitoring and diagnostics of energy efficiency of the AC variable speed electric drive of the pumping unit

Consider introducing new approaches to the problem of improving the quality of operation of the pumping unit. Effective energy saving measures can be: developing means of diagnosing energy and technical condition and technological measures to save energy. Delivered in the problems are solved by applying the theory of electric and methods: mathematical analysis, harmonic analysis of the composition of current and voltage curves, mathematical theory of measurement.

Keywords: multidimensional information equation Park, diagnostics, power, technique SSA.

ВСТУП. Особливе значення має застосування насосів, насосних установок або

насосних станцій у системах водопостачання та водовідведення, де вони є одним з основних вузлів. У системах водопостачання насоси забезпечують подачу води споживачам: промисловим підприємствам, тепловим електростанціям, житловим кварталам населених місць. У системах опалення й гарячого водопостачання за допомогою насосних установок здійснюється циркуляція гарячої води. У системах водовідведення насоси забезпечують подачу стічної рідини на очисні спорудження або перекачування її зі знижених районів населених місць в основні міські або районні колектори.

У рух насосні установки приводять асинхронні та синхронні двигуни. Електроприводи установок поділяються на регульовані та нерегульовані. Зміна обертів насосу є найбільш енергоефективним способом регулювання його параметрів [1,2,5,15,16]. Якщо не змінюється гідравлічний опір мережі, регулювання практично здійснюється при сталій величині ККД насосу. Відомо [1,2], що зменшення швидкості лише на 10% призводить до економії близько 27% енергії. Можливі технічні рішення для зміни обертів насосних установок представлені на рис.1.1

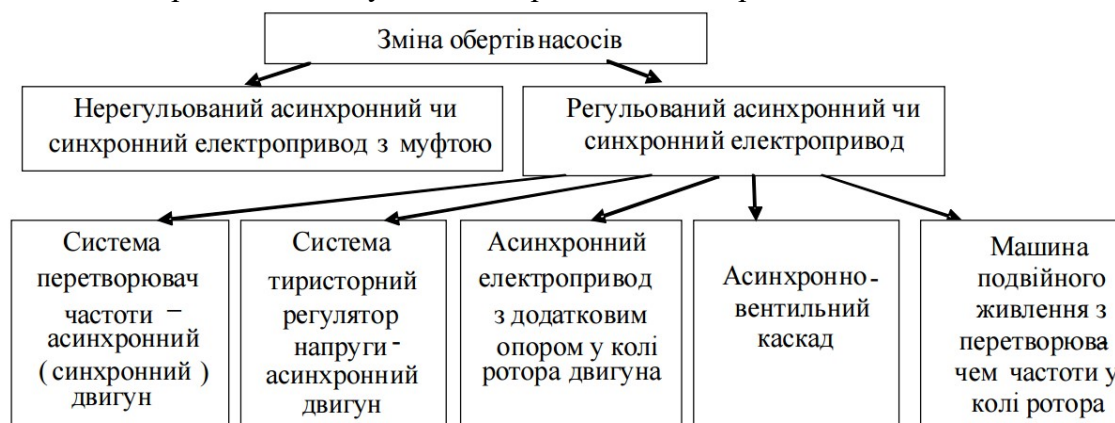


Рис. 1.1 – Технічні рішення для зміни обертів насосу

Зростання опору обмоток струмам вищих гармонік призводить несинусоїдальність напруги. Це призводить до підвищення нагрівання та викликає в двигуні суттєві втрати активної потужності.

Пропонується два варіанти вирішення проблеми, а саме – використання сучасних методів регулювання якості електроенергії шляхом використання новітніх силових електронних компонентів або робота зі зниженим ККД.

Функціональне діагностування ЕМС являє собою систему збирання накопичення, оброблення та аналізування інформації, необхідної для оцінки поточного стану і прогнозування тенденцій його розвитку. Для запобігання зменшення ресурсу двигуна та можливості виконання ЕМС її робочих функцій під час діагностування використовуються неруйнівні методи контролю.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. Бази знань системи захисту електромеханічного об'єкту, тобто електродвигуна з передатним органом та робочим механізмом, включають інформаційне вимірювальну систему, системи моніторингу, діагностики, ідентифікації параметрів моделей моніторингу та діагностики, системи прийняття рішень.

Основні методи моніторингу і діагностики електродвигунів з передатним органом та робочим механізмом основані на спектральному аналізі за допомогою швидкого перетворення Фур'є, спектрального аналізу з використанням векторів Парка струму і напруги, частотно-часового аналізу нестационарних рядів - дискретному вейвлет перетворенню одновимірного сигналу – методом SSA (SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS). Останній спосіб дозволяє виявляти в сигналах технологічної інформації багатовимірну інформацію за допомогою вейвлет-перетворень.

МЕТА РОБОТИ. Метою роботи є підвищення точності моніторингу та діагностики енергоефективності регульованого електроприводу змінного струму насосної установки

МЕТОДИКИ, МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для аналізу виділяють характерні частоти електродвигуна і пов'язаних з ними механічних пристроїв. Характер і ступінь розвитку несправності визначають шляхом порівняння значень амплітуд модуля вектора Парку струму на характерних частотах із значенням модуля вектора Парку струму на частоті нуль герц, при цьому, якщо амплітуди модуля вектора Парку струму на характерних частотах нижче амплітуди модуля вектора Парку струму на частоті нуль герц на задану величину, роблять висновок про хороший технічний стан електродвигуна і пов'язаних з ним механічних пристроїв, а в разі, якщо зазначена різниця між амплітудами менше заданої величини, роблять висновок про наявність відповідного даної характерної частоті модуля вектора Парку струму пошкодження компонентів електромеханічної системи.

Формують спектри модуля вектора Парку струму і напруги по відомим рівнянням:

$$\begin{aligned} I_a(t) &= I_a(t) - (1/2) * I_b(t) - (1/2) * I_c(t) \\ I_q(t) &= \sqrt{3}/2 * I_b(t) - \sqrt{3}/2 * I_c(t) \\ \text{Abs}(PI) &= \sqrt{I_a(t)^2 + I_q(t)^2} \\ U_a(t) &= U_a(t) - (1/2) * U_b(t) - (1/2) * U_c(t); \\ U_q(t) &= \sqrt{3}/2 * U_b(t) - \sqrt{3}/2 * U_c(t); \\ \text{Abs}(PU) &= \sqrt{U_a(t)^2 + U_q(t)^2}; \end{aligned}$$

де a, b, c - позначення фаз, I - струм, U - напруга.

При цьому тривалість запису значень напруги і струму знаходиться в межах від десятків секунд до 3 ... 4 постійних теплової постійної електродвигуна з дозволом по частоті не менше 0,01-0,2 Гц. Запис роблять за допомогою датчиків струму і напруги з лінійної амплітудно-частотної характеристикою в діапазоні частот від 0 до 10 кГц, з метою зниження ефекту розтікання спектру при виконанні спектрального аналізу використовуються віконні функції. Виділяють аналізовані частоти за допомогою фільтра низьких частот нижче частоти Найквіста, перетворення з аналогової в цифрову форму здійснюють за допомогою АЦП з діапазоном не менше 14 розрядів. Спектральний аналіз та порівняння амплітуд виробляють в частотній області від мінус 100 дБ до 0 дБ шляхом виявлення піків (амплітуд модуля вектора Парку напруги і / або струму) на характерних частотах. Характер несправності виявляють шляхом порівняння значень амплітуд модуля вектора Парку струму на характерних частотах. Наявність міжвиткових замикань в обмотках статора і пошкодження ротора діагностуються на частоті живильної мережі. Неспіввісність валів електродвигуна і пов'язаних з електродвигуном механічних пристроїв діагностується на частотах, кратних частоті обертання електродвигуна. Дефекти пасової передачі навантаження діагностуються на частотах, кратних частоті биття ременя. Пошкодження підшипників діагностуються на частотах, кратних частоті обертання ротора. Пошкодження пов'язаних з електродвигуном механічних пристроїв з групи: насос, вентилятор, компресор діагностуються на лопатковій частоті.

неспроможність засобів захисту обмоток електродвигунів від струмових перевантажень при стохастичному характері зміни експозиції і інтенсивності навантаження, за допомогою одновимірних часових рядів. Базовий алгоритм вбудовування одновимірних часових рядів в багатовимірний ряд (Singular Spectrum Analysis) [48] включає наступне.

Представляють тимчасовий ряд $\{x_i\}$ $N_i = 1$, утворений послідовністю N рівновіддалених значень деякої (можливо, випадкової) функції

$$f(t): x_i = f((i-1)Dt), (3.2.1)$$

де $i = 1, 2, \dots, N$.

Етап 1. (Розгортка одновимірного ряду в багатовимірний)

Виберемо деяке число $M < N$, зване довжиною гусениці, і уявімо перші M значень послідовності f як першого рядка матриці X . Як другого рядка матриці беремо значення послідовності з x_2 по x_{M+1} . Останнім рядком з номером $k = N - M + 1$ будуть останні M елементи послідовності. Цю матрицю, елементи якої дорівнюють $x_{ij} = x_{i+j-1}$, можна розглядати як M - мірну вибірку обсягу k або M - мірний часовий ряд, якому відповідав би M - мірна траєкторія (ламана в M - вимірному просторі з $k-1$ ланки. Відзначимо, що матриця X (будемо називати її матрицею ряду) представлена в традиційному для прикладної статистики вигляді "рядок - індивід, стовпець - ознака". При викладі теоретичних аспектів природним є зіставлення індивіду стовпчика.

Далі за звичайною схемою (за винятком стандартизації ознак) проводиться аналіз головних компонент (АГК).

Етап 2. (Аналіз головних компонент: сингулярне розкладання вибіркової коваріаційної матриці)

Спочатку обчислюється матриця:

$$V = (1/k) X^T X. \quad (3.2.2)$$

Незважаючи на те, що її елементи не центровані, ми будемо називати її коваріаційною матрицею, іноді додаючи слово "нецентральна".

Наступний крок, як зазвичай в АГК, полягає в обчисленні власних чисел і власних векторів матриці V , тобто розкладання її:

$$V = PLP^T, \quad (3.2.3)$$

де L - діагональна матриця, на діагоналі якої стоять впорядковані по спаданні власні числа, а P - ортогональна матриця власних векторів матриці V .

Матриці L і P спільно мають безліч інтерпретацій, заснованих на АГК. Зокрема, матрицю P можна розглядати як матрицю переходу до головних компонентів $XP = Y = (y_1, y_2, \dots, y_M)$.

Якщо вивчається вибірка з випадковою сукупності, то власні числа матриці V є вибірковими дисперсіями відповідних головних компонент, а квадратні корені з них - вибірковими стандартами. Графічне представлення власних чисел і деяких функцій від них в АГК традиційно використовується для виявлення структури досліджуваної сукупності і відбору та інтерпретації головних компонент.

Зауважимо також, що при виборі довжини гусениці, що дорівнює $N-M + 1$, власні вектора і головні компоненти (з точністю до нормування) просто міняються місцями.

Етап 3. (Відбір головних компонент)

В силу властивостей матриці P ми можемо уявити матрицю ряду X як $X = YP^T$. Таким чином, ми отримуємо розкладання матриці ряду по ортогональним складовим (головним компонентів).

У той же час перетворення $y_j = X p_j$ є лінійним перетворенням вихідного процесу за допомогою дискретного оператора згортки, тобто:

$$y_j[1] = S_{q=1}^M x_{1q} p_{jq} = S_{q=1}^M x_{1q-1} p_{jq}. \quad (3.2.4)$$

Таким чином, процедура "Гусениця" породжує набір лінійних фільтрів, налаштованих на складові вихідного процесу. При цьому власні вектори матриці V виступають в ролі перехідних функцій відповідних фільтрів.

Візуальне і аналітичне вивчення як власних векторів, так і головних компонентів, отриманих в результаті лінійної фільтрації, може дати багато цікавої інформації про структуру досліджуваного процесу і властивості складових його доданків.

Зокрема, серед головних компонент можна виділити

1. що відносяться до тренду (повільно мінливі),
2. періодичні,
3. шумові.

Для знаходження періодичних складових надзвичайно велику візуальну інформацію дає вивчення двовимірних графіків, аналогічних фігур Ліссажу, коли по осях x і y відкладають різні пари власних векторів або головних компонент. Відомо, якщо по осях відкладати значення синусоїди однієї і тієї ж частоти, але з різними фазами, то на площині виходить еліпс. З ортогональності власних векторів і головних компонент слід, що зрушення фаз між такими парами обов'язково буде дорівнює $\pm \pi/2$ і еліпс переходить в коло.

Етап 4. (Відновлення одновимірного ряду)

Наступним ключовим елементом методу "Гусениця" є процедура відновлення. Ця процедура заснована на розкладанні $X = YP^T$. Будемо говорити, що відновлення проводиться з даного набору головних компонентів, якщо при застосуванні формули відновлення $X = Y*P^T$ матриця $Y*$ отримана з матриці Y обнуленням всіх не входять в набір головних компонент. Таким чином, ми можемо отримати наближення матриці ряду або інтерпретуємо частину цієї матриці.

Перехід до вихідного ряду формально може бути здійснений усередненням матриці ряду по побічним діагоналям і може привести до деякого спотворення отриманої структури.

Зауважимо, що при програмної реалізації етапи наведеного вище алгоритму не відтворює безпосередньо. Наприклад, етап побудови матриці X відсутня, а формули перетворені до виду зручному для проведення прискорених обчислень.

Висновки:

Ідеологія побудови баз знань штучного інтелекту систем моніторингу та діагностування включає попереднє розширення масиву технологічної інформації шляхом встроювання одновимірних часових рядів сигналів технологічної інформації в 1,5; 2; 2.5; 3 вимірний простір. До баз знань штучного інтелекту систем діагностики асинхронних електродвигунів включено спектральний аналіз за допомогою швидкого перетворення Фур'є, спектральний аналіз з використанням рівнянь Парка струму та напруги, модифікований частотно-часовий аналіз нестационарних рядів методом SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS, системи прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Родькин Д.И., Черный А.П., Здор И.Е. Задачи диагностики параметров асинхронных двигателей при испытаниях и в системах промышленного привода. "Вісник Кременчуцького Державного Політехнічного інституту", №1, 1999, 76с.
- 2.Сивокобыленко В.Ф., Полковниченко Д.В., Кукуй К.А. Диагностика асинхронного электропривода по данным измерений рабочего режима // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний університет". Збірник наукових праць. Тематичний випуск. "Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика". – Харків: НТУ "ХПІ", 2003, № 10. – Т. 1. – 502-505с.

3. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Развитие частотных методов оценки параметров двигателей переменного тока // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 5 (34). – Кременчук: КДПУ, 2005. – 43-46с.
4. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
5. Закладний О.М. Оцінка енергетичної та економічної ефективності застосування регульованого електропривода в насосних установках / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. - 2008. - №16. - С. 90-97.
6. Ромашихин Ю. В. Алгоритмы системы определения параметров двигателей переменного тока / Ю. В. Ромашихин, Д. И. Родькин // Вісник КДПУ. Зб. наук, праць КДПУ ім. М.Остроградського. Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2010. - Вип. 4(63), ч. 2. -С. 130-134.
7. Данилов Д.Л., Жиглявский А.А. , Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница", Санкт-Петербургский университет 1997 Режим доступа к книге : <http://www.gistatgroup.com/gus/index.html>; <http://www.gistatgroup.com/gus/book1/index.html>.
8. Патент RU №2005110648, G01R31/34. Способ диагностики электродвигателей переменного тока и связанных с ними механических устройств. Петухов Виктор Сергеевич (RU), Соколов Василий Александрович (RU), Опубликовано: 27.05.2007.
9. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников Под ред. Л.Г. Мамякоянца. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984 . – 240 с.
10. Родькин Д.И., Грядущин С.А., Черный А.П. Обоснование параметров источников полигармонического питания для диагностики электрических машин переменного тока // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 2 (19). – Кременчук: КДПУ, 2003. – 194 – 195 с.
11. Родькин Д.И., Здор И.В. Современные методы определения параметров асинхронных двигателей после их ремонта // Вестник КГПУ. Труды КГПИ, 2000, вып. 1. 76-81с.

УДК 62-523

Є.В. Шумський

М.Ю. Горобець

Науковий керівник: А.В. Торопов, к.т.н.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОКОВИХ ДВИГУНІВ В ГРАНИЧНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Анотація

Запропоновано математичну та фізичну моделі електромеханічної системи з крокових приводів для визначення частоти прийнятності та граничних значень моменту при максимальних швидкостях. Формування навантаження при високих швидкостях машини здійснювалось за допомогою синхронної машини, що працює в режимі генератора з активним навантаженням у вигляді реостату.

Ключові слова

Кроковий електропривод, кроковий двигун, синхронна машина, модель, механічні характеристики, фізична модель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ГРАНИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Аннотация

Предложено математическую и физическую модели электромеханической системы с шаговых приводов для определения частоты приемистости граничных значений момента при максимальных скоростях. Формирование нагрузки при высоких скоростях машины осуществлялось с помощью синхронной машины, которая работает в режиме генератора с активной нагрузкой в виде реостата.

Ключевые слова

Шаговый электропривод, шаговый двигатель, синхронная машина, модель, механические характеристики, физическая модель

INVESTIGATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STEPPER MOTORS IN BORDER OPERATING MODES

Abstract

A mathematical and physical model of an electromechanical system with stepper motor drives is proposed to determine the pickup frequency of torque boundary values at maximum speeds. The load was formed at high machine speeds with a synchronous machine that operates in a generator mode with an active load in the form of a rheostat.

Keywords

Stepper motor drive, stepper motor, synchronous machine, model, mechanical characteristics, physical model

Вступ. Крокові електродвигуни (КД) все частіше застосовуються в приводах систем автоматичного та автоматизованого управління де значне поширення крокового електроприводу визначається високою можливістю інтеграції з цифровими обчислювальними пристроями з програмним управлінням.

Крокові двигуни створюють порівняно високий момент при низьких швидкостях обертання, та при збільшенні швидкості обертання момент істотно падає. Також пусковий момент крокового двигуна значно залежить від частоти прийнятності, а саме початкової частоти руху двигуна. При цьому, зазвичай, більшість виробників не надає кінцевому споживачу характеристики крокових двигунів, а вказує лише номінальні дані, такі як граничний момент та допустима швидкість роботи підшипників.

Слід зазначити, що у деяких приводних задачах, таких як пакування «стікерів», саме номінальний момент не є визначальним, а параметром від якого залежить продуктивність всього обладнання є частота прийнятності. Також, в значній мірі, на продуктивність впливатиме і максимальна швидкість переміщення виконавчого механізму.

Саме тому, при закладанні нового крокового двигуна в проект пакувального апарату актуальною необхідністю є визначення вищезазначених граничних параметрів для розрахунку продуктивності обладнання. При цьому визначення характеристик повинно проводитися для того значення напруги живлення, яке буде використовуватися у пакувальному механізмі.

Слід зазначити, що динамічні характеристики двигуна можуть бути значно поліпшені при використанні драйверів з можливістю адаптації параметрів регулятора струму. Для цього необхідно використовувати драйвер з можливістю доступу до персонального комп'ютеру (ПК) та цифровою корекцією даних.

Іншою проблемою є вибір простого та зручного в користуванні навантаження, що

дозволятиме визначати граничні значення моменту двигуна при високих швидкостях. На сьогодні при дослідженні характеристик КД, переважно, використовують навантаження, такі як, наприклад, маховики чи стрілочні індикатори. При цьому можна дослідити динамічні характеристики, однак, важко визначити параметри роботи в граничних режимах.

Одним з підходів для дослідження механічних характеристик крокових електродвигунів є використання в якості навантаження машини, що працює в режимі генератора з активним навантаженням у вигляді реостату. При цьому як сама модель, так і її фізична реалізація стають зрозумілими та ефективними для подальшого аналізу.

Постановка задачі, мета дослідження. Основною задачею даної роботи є створення математичної моделі стенду для дослідження роботи крокових двигунів в граничних режимах роботи та послідуоючої її фізичної реалізації.

Метою представленої роботи є розробка фізичної моделі навантаження, що дозволить досліджувати роботу крокових двигунів в граничних режимах роботи.

Основні матеріали досліджень. Робота складається з двох частин: математичного моделювання лабораторного стенду та його фізичної реалізації.

Моделювання системи проведено за допомогою програмного пакету Matlab Simulink та Simscape.

Для цього була реалізована структурна схема моделі лабораторного стенду для дослідження механічних характеристик крокових електродвигунів, котра представлена на рис. 1.

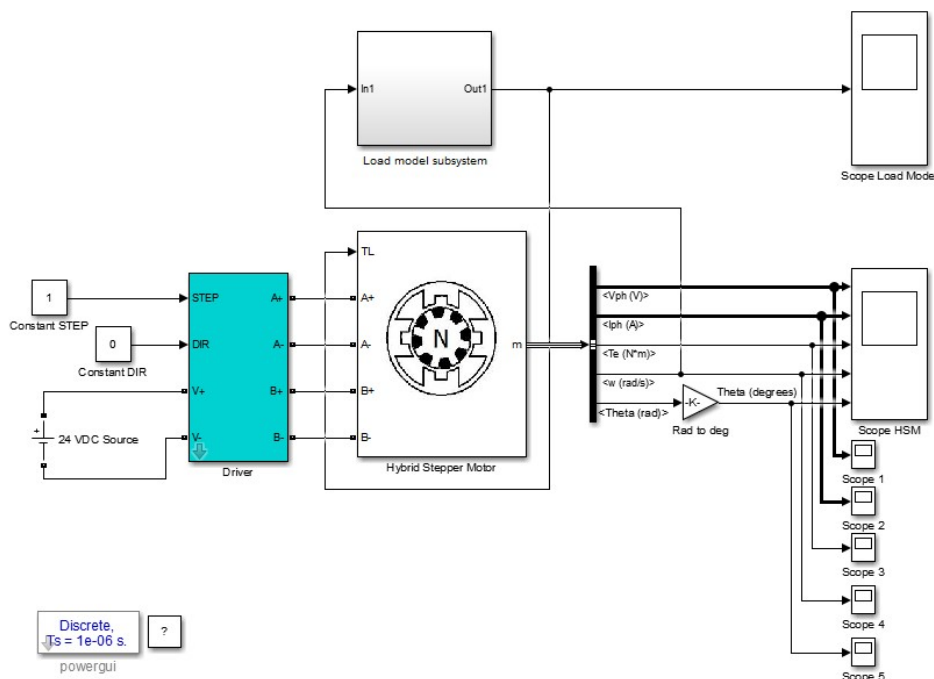


Рисунок 1 - Структурна схема моделі лабораторного стенду для дослідження механічних характеристик крокових електродвигунів

Введені наступні позначення елементів, з яких складається модель:

Constant Step – одиничний вплив; Constant DIR – завдання напрямку оберту;
 24 V DC Source – джерело живлення 24 В постійного струму; Load model subsystem – підсистема моделі навантаження; Driver – драйвер крокового двигуна; Hybrid Stepper Motor - гібридний кроковий двигун; Scope Load Model та Scope HSM – осцилографи;

Після проведення моделювання роботи системи отримано дані, котрі представлені на рис. 2 та 3.

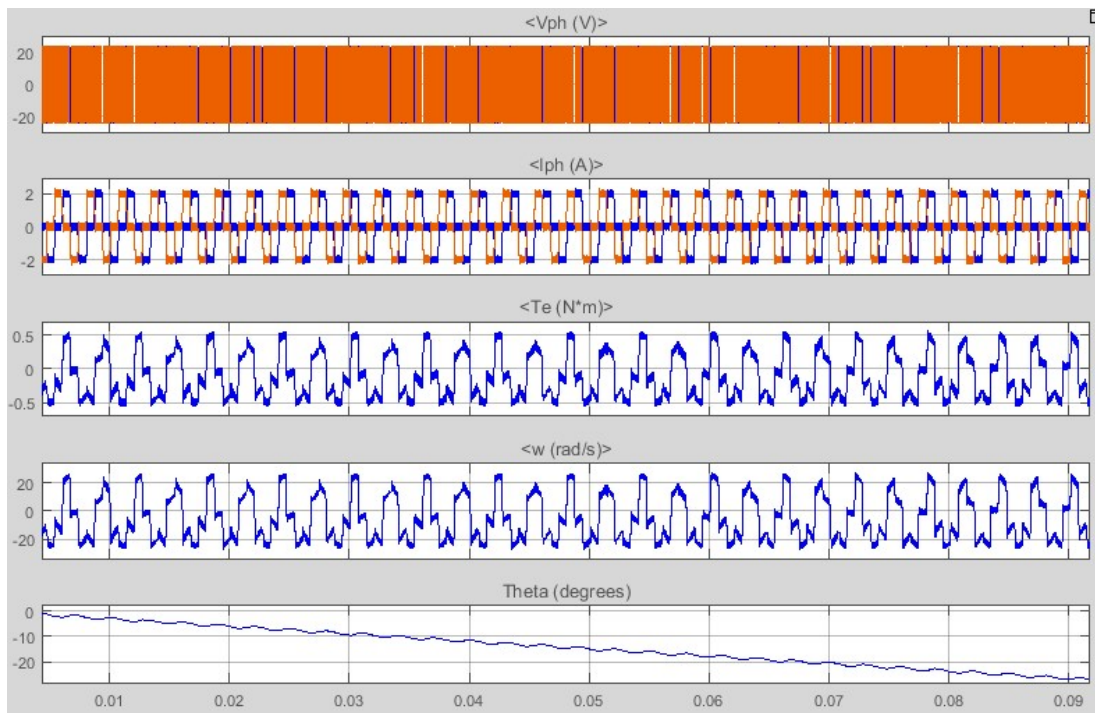


Рисунок 2 – Отримані характеристики досліджуваного крокового двигуна
 Введені наступні позначення:
 $V_{ph} (V)$ – напруга в фазах, В; $I_{ph} (A)$ – струм в фазах, А; $T_e (N*m)$ – момент, Н·м;
 $\omega (rad/s)$ – кутова швидкість, рад/с; $Theta (degrees)$ – кут повороту валу КД, град;

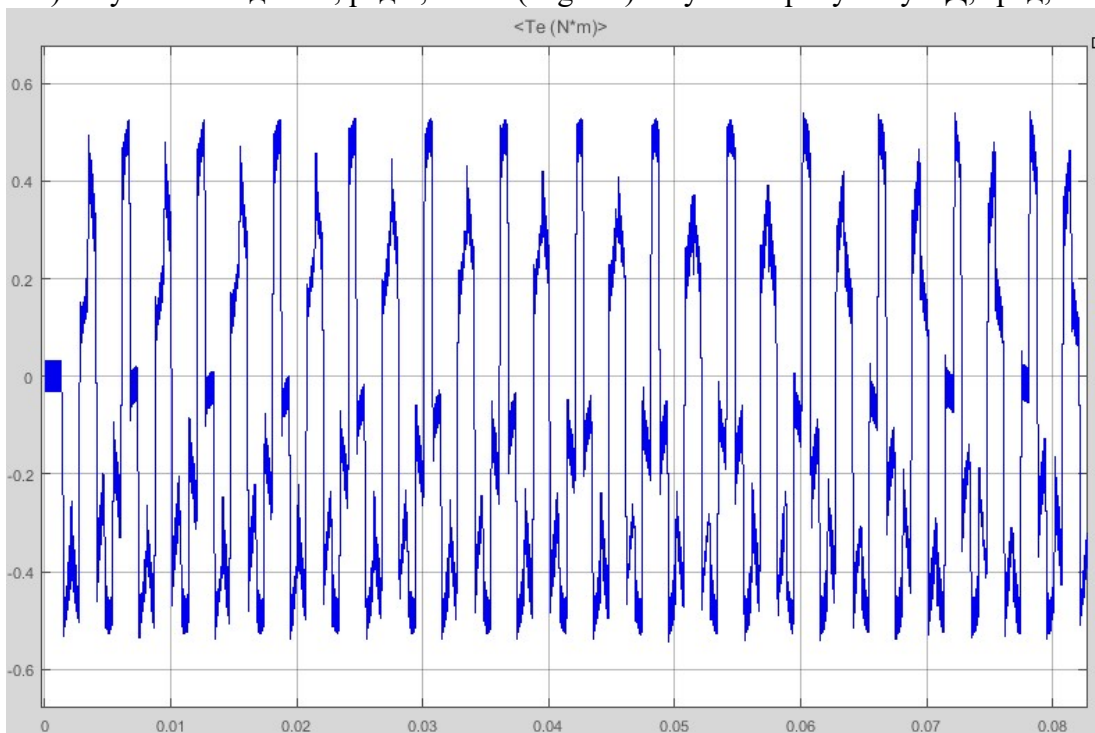


Рисунок 3 – Момент підсистеми моделі навантаження
 Введені наступні позначення: $T_e (N*m)$ – момент, Н·м;

Фізична реалізація крокового двигуна з відповідним драйвером, а також необхідною системою навантаження представлена на рис. 4.

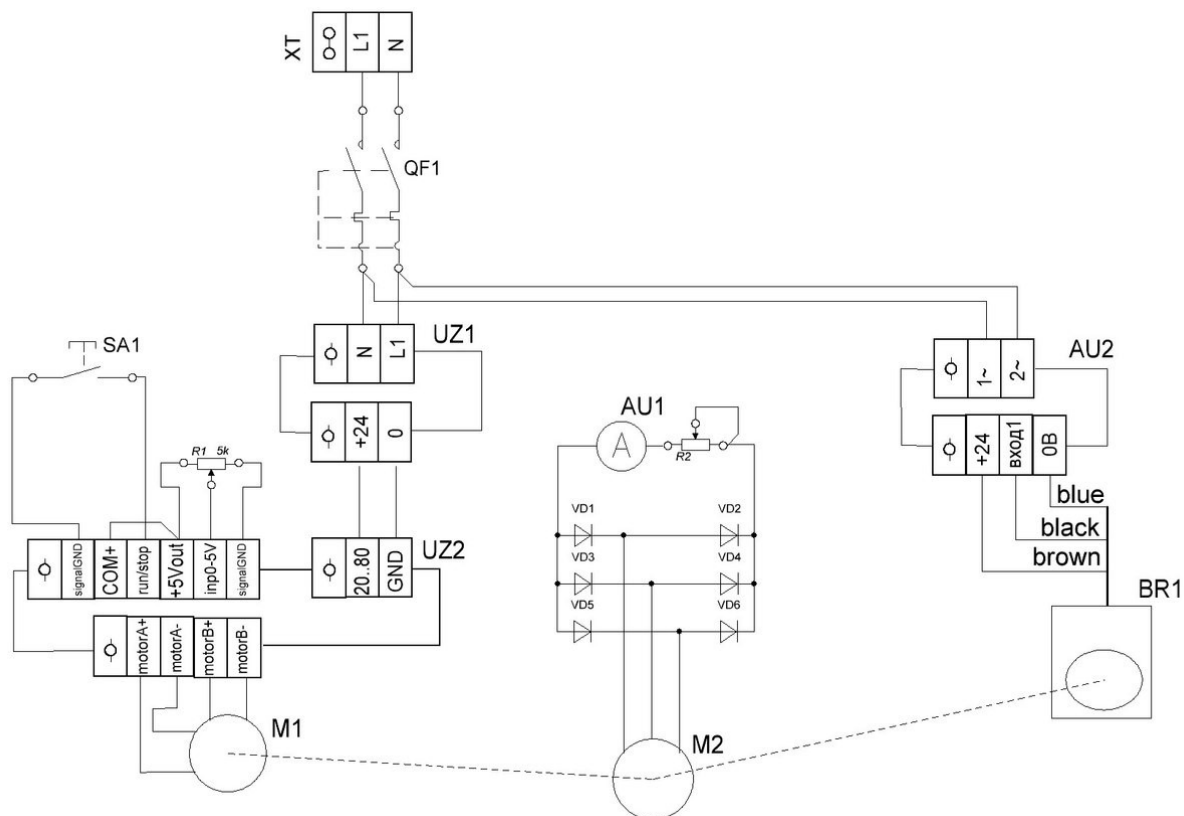


Рисунок 4 – Схема дослідницького стенду для визначення режимів роботи крокового двигуна в граничних режимах роботи.

Стенд складається з: QF1 - ввідного автомату; UZ1 - блоку живлення; досліджуваного двигуна (M1) Motion King 23HS0618 [1] з інкрементальним енкодером (BR1) на валу; навантажувальної машини (M2), що працює в режимі генератора з активним навантаженням у вигляді реостату (R2); UZ2 – цифрового драйвера крокового двигуна Leadshine DM805-AI [2] зі вбудованим генератором імпульсів для керування швидкістю; AU1 – мікропроцесорного вимірювача-регулятора ОВЕН 2ТРМ1 [3] з підключеним датчиком струму; AU2 – лічильника імпульсів ОВЕН СИ8 [4]; елементів керування: потенціометра (R1) для завдання швидкості оберту досліджуваного двигуна та тумблера (SA1); клемників та індикатора подачі напруги на блок живлення.

Вибраний режим керування драйвером КД – аналогове керування швидкістю (сигнал - напруга від 0В до 5В) з завданням швидкості за допомогою потенціометра R1.

Налаштування драйверу виконано за допомогою прикладного програмного забезпечення «Pro Tuner for DM805-AI» [5]. Діалогові вікна з налаштуваннями зображено на рис. 5.

Саме за допомогою цієї програми здійснюється адаптація параметрів регулятора струму до підключеного двигуна. Це дозволяє, у разі необхідності, під'єднувати до стенду будь-які двигуни типорозміру 23 або 24, при цьому параметр частоти прийнятності буде вірним для цього драйвера.

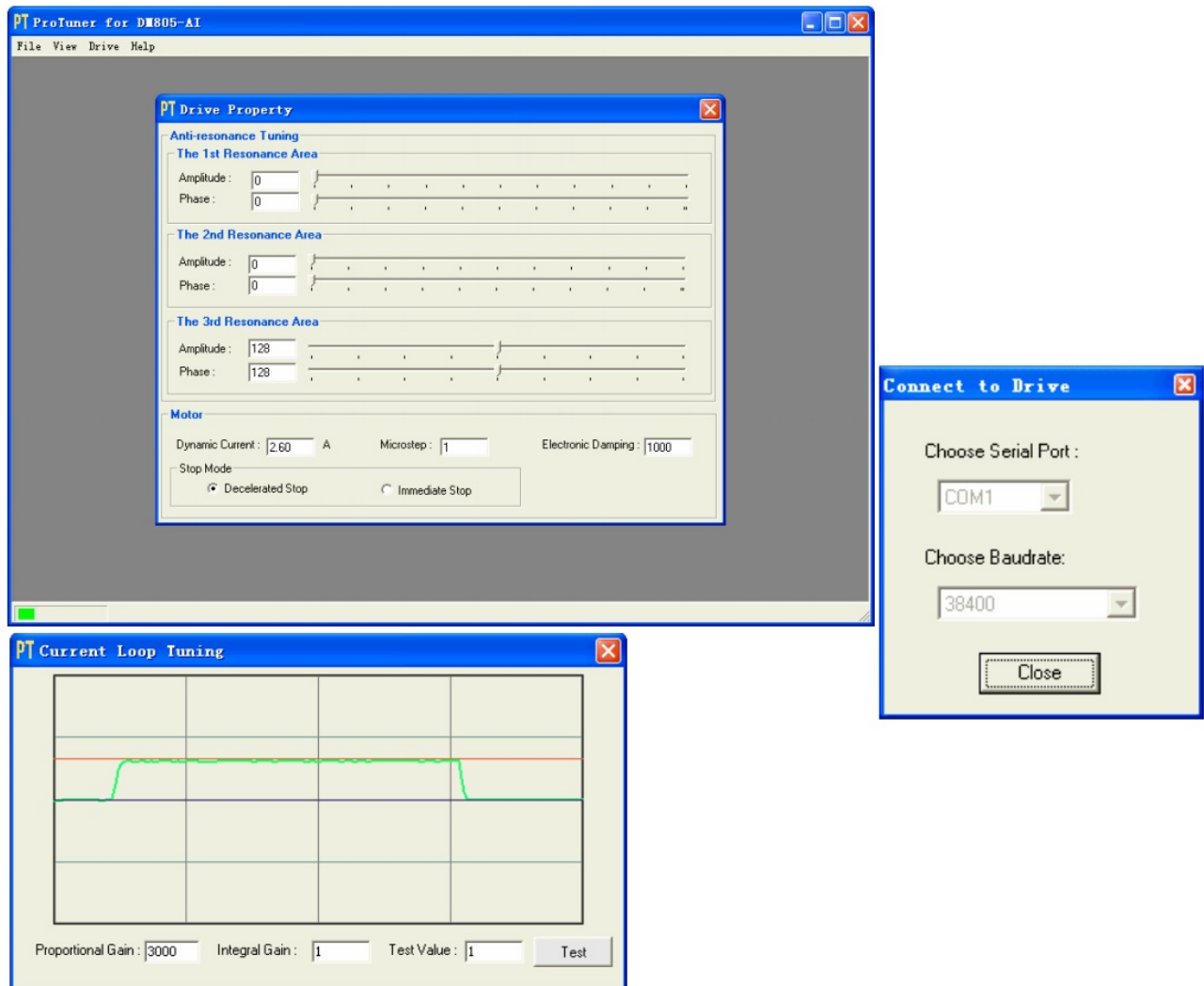


Рисунок 5 – Програмне забезпечення «Pro Tuner for DM805-AI»

Фізична реалізація дослідницького стенду для дослідження характеристик крокових двигунів з використанням в якості навантаження синхронної машини, що працює в режимі генератора з активним навантаженням у вигляді реостату зображена на рис.6.



Рисунок 6 – Фізична реалізація дослідницького стенду для дослідження характеристик крокових двигунів. Загальний вигляд

Висновки. Результати досліджень показують, що запропонований лабораторний стенд для дослідження роботи крокових двигунів в граничних режимах цілком задовольняє основним потребам його використання. Чітко видно, що математична модель та фізична реалізація є достатньо ефективними і прозорими для послідуєчого аналізу.

Враховуючи отримані результати, достатню простоту реалізації та зручність аналізу, запропоновану математичну модель та фізичну реалізацію стенду з використанням в якості навантаження машини, що працює в режимі генератора з активним навантаженням у вигляді реостату можна рекомендувати для застосування при дослідженні граничних характеристик крокових електродвигунів.

Література

- Шаговые двигатели, приводы, контроллеры MotionKing.
Available: http://motionking.com.ua/?inc=drive/01_step_motors/00_stepper_motors/
Last accessed 15th May 2017.
- Leadshine DM805-AI цифровой драйвер шагового двигателя со встроенным
Available: http://refit.com.ua/files/leadshine/leadshine_dm805-ai_d_RU.pdf
Last accessed 16th May 2017.
- 2TRM1 измеритель-регулятор двухканальный (Руководство по эксплуатации).
Available: http://www.owen.ru/uploads/re_2trm1_m_din_2371.pdf
Last accessed 16th May 2017.
- СИ8 счетчик импульсов и времени наработки (Руководство по эксплуатации).
Available: http://www.owen.ru/uploads/re_si8_2336.pdf
Last accessed 15th May 2017.
- Leadshine Technology Co., Ltd. (Pro Tuner for DM805-AI).
Available: <http://www.leadshine.com/Download.aspx?Type=software>
Last accessed 15th May 2017.

6. Волков Н. И., Миловзоров В. П. «Электромашинные устройства автоматики: Учеб. для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика"».- 2-е изд.- М.:Высш.шк., 1986.- 162с.
7. Кенио Т. «Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления». – пер. с англ. – М: Энергоатомиздат, 1987.-256с.

УДК 62-523

М.Ю. Горобец,

Е.В. Шумский,

А.В. Торопов, к.т.н., доцент кафедры АУЭК НТУУ «КПИ» им.И. Сикорского

НЕЛИНЕЙНОЕ КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УСИЛИЕМ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПО ОБОБЩЕННОМУ КРИТЕРИЮ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И ТОЧНОСТИ

В статье рассмотрен один из подходов к решению задачи повышения быстродействия систем пиления путем адаптации скорости подачи режущего инструмента. Решена задача синтеза квазиоптимального регулятора с учетом нескольких критериев качества обработки.

The article considers approach for solving task of increasing of sawing systems adapting feeding speed of the cutting tool. The problem of synthesizing a quasi-optimal regulator taking into account several criteria of processing quality is solved.

Введение. В последнее время при растущих требованиях к производительности деревообрабатывающих станков стали находить применение системы стабилизации технологических параметров резания [1,2]. К таким параметрам относится мощность резания, усилие пиления, линейная скорость вращения обрабатываемой детали. При использовании обратной связи по одному из этих технологических параметров, можно обеспечить повышенное качество обработки, уменьшить пиковые нагрузки на режущий инструмент, исключить скалывание древесины. Существуют два основных способа регулирования параметров при пилении – регулирование скорости двигателя пилы и снижение скорости подачи режущего инструмента. Второй вариант является более предпочтительным, поскольку позволяет обеспечить близкую к линейной зависимость усилия пиления от сигнала задания, а также требует использования регулируемого высокоточного электропривода меньшей мощности. Поэтому, одним из наиболее эффективных применений систем стабилизации параметров при пилении больших заготовок является их реализация путем адаптации скорости подачи режущего инструмента [3].

Анализ состояния проблемы. Большинство систем регулирования усилия строятся на базе пропорциональных регуляторов технологического процесса, при этом нагрузка отслеживается по датчику тока от двигателя самой пилы. Такие системы просты в наладке и в ряде случаев дают удовлетворительное качество регулирования. В более сложных системах используются ПИД – регуляторы, однако их применение затруднено вследствие значительного увеличения интегральной составляющей в перерывах между резами. Поэтому, в последнее время, все чаще находят применение адаптивные и оптимальные регуляторы, обеспечивающие наилучшее поведение системы при «плавающих» параметрах объекта, в частности, обеспечивающих существенное повышение быстродействия [3].

Цель работы. Разработка систем управления электромеханическими системами, обеспечивающие высокую производительность при обработке древесины без снижения износостойкости реза.

Методы, материалы и результаты исследований. При проектировании электромеханических систем порезки дерева необходимо учитывать два основных требования к таким установкам – обеспечение максимальной производительности и ограничение усилия пиления на допустимом уровне.

Структурная схема, описывающая динамику системы стабилизации усилия пиления, в общем случае имеет вид:

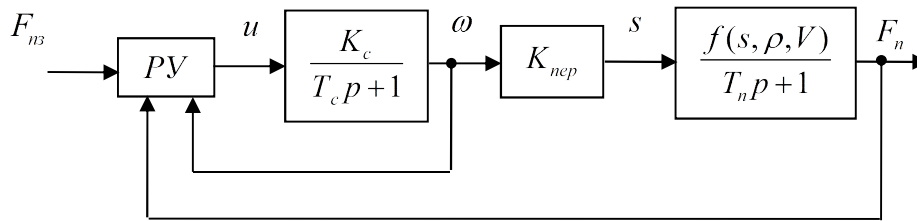


Рис.1. Структурная схема контура стабилизации усилия пиления древесины.

На рис.1 введены следующие обозначения: F_{nz} , F_n - заданное и реальное усилие пиления, K_{nep} - коэффициент передаточного механизма, u - управляющее воздействие, ω - скорость вращения двигателя подачи, s - подача пилы, $f(s, \rho, V)$ нелинейная функция зависимости усилия пиления от подачи, ρ - плотность древесины, V - скорость вращения пилы, T_n - постоянная времени процесса пиления, K_c , T_c - коэффициент усиления и постоянная времени привода, настроенного на апериодический характер переходного процесса по скорости.

Функция усилия пиления от подачи является существенно нелинейной зависимостью. Поиск уравнения оптимального регулятора для такого объекта в этом случае сведется к достаточно сложной с вычислительной точки зрения процедура, причем сам алгоритм управления получится громоздким и сложным в реализации. Поэтому, целесообразным будет использовать процедуру линеаризации в рабочей точке, при этом процедура синтеза регулятора существенно упростится. Полученный алгоритм управления будет квазиоптимальным, стремящимся к оптимальному по мере приближения к точке номинального режима работы.

Математическая модель системы, представленной на рис.1 без учета регулятора усилия, имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{F}_n &= -\frac{1}{T_n} F_n + \frac{K_n K_{nep}}{T_n} \omega; \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T_c} \omega + \frac{K_c}{T_c} u. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь K_n - коэффициент линеаризации нелинейной зависимости усилия пиления от подачи.

Составим систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику контура стабилизации усилия срезания в форме Коши:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -a_1 x_1 + a_2 x_2, \\ \dot{x}_2 &= -a_3 x_2 + b u; \end{aligned} \tag{2}$$

где $a_1 = \frac{1}{T_n}$, $a_2 = \frac{K_n K_{nep}}{T_n}$, $a_3 = \frac{1}{T_c}$, $b = \frac{K_c}{T_c}$.

Функционал качества выбираем, исходя из существующих требований к деревообрабатывающим станкам. Основным требованием является максимальное быстродействие системы при высокой точности обработки. Таким образом, функционал качества является комбинацией критерия максимального быстродействия и минимума динамической ошибки по выходным координатам и управляющему

воздействию [4]:

$$\int_0^{\infty} (1 + \alpha_1^2 x_1^2 + \alpha_1^2 x_1^2) dt \rightarrow \min \quad (3)$$

Общий вид функционального уравнения Беллмана принимает вид:

$$\min_u [1 + \alpha_1^2 x_1^2 + \alpha_1^2 x_1^2 + cu^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} (-a_3 x_2 + bu)] \rightarrow 0, \quad (4)$$

где V – функция Беллмана.

Необходимо отметить, что решение данного уравнения относительно управляющего воздействия крайне сложно. Одним из способов его решения является представление подынтегральной функции критерия максимального быстродействия в виде суммы квадратичных составляющих с переменными весовыми коэффициентами:

$$\int_0^{\infty} (\gamma_1 x_1^2 + \gamma_2 x_2^2 + \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $\gamma_1 = \frac{1}{x_1^2}$, $\gamma_2 = \frac{1}{x_2^2}$.

В этом случае функциональное уравнение Беллмана переписывается в виде:

$$\min_u [\gamma_1 x_1^2 + \gamma_2 x_2^2 + \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + cu^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} (-a_3 x_2 + bu)] \rightarrow 0. \quad (6)$$

Для нахождения управляющего воздействия в явном виде продифференцируем полученное выражение по u, получим:

$$u = -\frac{b}{2c} \left(\frac{\partial V}{\partial x_2} \right). \quad (7)$$

Подставляя полученное выражение для управления в функциональное уравнение Беллмана, получим уравнение Гамильтона – Якоби – Беллмана (ГЯБ) в замкнутой форме:

$$\gamma_1 x_1^2 + \gamma_2 x_2^2 + \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} (-a_3 x_2) = \frac{b^2}{4c} \left(\frac{\partial V}{\partial x_2} \right)^2. \quad (8)$$

Решением данного уравнения является функция Беллмана в виде квадратичной формы. Коэффициенты функции Беллмана могут быть найдены из системы квадратных уравнений Риккати [6]. Процедуру поиска этих коэффициентов можно упростить, введя в функционал качества системы составляющую $cu_{опт}^2$, компенсирующую правую часть уравнения ГЯБ [7]. Модифицированное уравнение ГЯБ принимает вид:

$$\gamma_1 x_1^2 + \gamma_2 x_2^2 + \alpha_1 x_1^2 + \alpha_2 x_2^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} (-a_1 x_1 + a_2 x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} (-a_3 x_2) = 0. \quad (9)$$

Искомая функция Беллмана в общем виде запишется:

$$V = k_{11} x_1^2 + 2k_{12} x_1 x_2 + k_{22} x_2^2. \quad (10)$$

Дифференцируем ее по переменным состояниям и подставляем в модифицированное уравнение ГЯБ.

Модифицированная система уравнений Риккати запишется:

$$\begin{aligned} \gamma_1 + \alpha_1 - 2k_{11} a_1 &= 0; \\ -2k_{12} a_1 + 2k_{11} a_2 - 2k_{12} a_3 &= 0; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\gamma_2 + \alpha_2 + 2k_{12} a_2 - 2k_{22} a_3 = 0.$$

Коэффициенты квадратичной формы функции Беллмана запишутся:

$$\begin{aligned}
 k_{11} &= \frac{\gamma_1 + \alpha_1}{2a_1}; \\
 k_{12} &= \frac{2k_{11}a_2}{2(a_1 + a_3)}; \\
 k_{22} &= \frac{\gamma_2 + \alpha_2 + 2k_{12}a_2}{2a_3}.
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Управляющее воздействие в явном виде запишется:

$$\begin{aligned}
 u &= -\frac{b}{2c} \left(\frac{\partial V}{\partial x_2} \right) = -\frac{b}{2c} (2k_{12}x_1 + 2k_{22}x_2) = \\
 &= -\frac{b}{2c} \left(\frac{a_2}{(a_1 + a_3)} \cdot \left(\frac{\gamma_1 + \alpha_1}{a_1} \right) x_1 + \frac{\gamma_2 + \alpha_2 + \left(\frac{(\gamma_1 + \alpha_1)a_2^2}{a_1(a_1 + a_3)} \right)}{a_3} x_2 \right).
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Подставляя вместо весовых коэффициентов γ_1 и γ_2 функции переменных состояния, получим:

$$u = -\frac{b}{2c} \left(\frac{a_2}{(a_1 + a_3)} \cdot \left(\frac{\frac{1}{x_1^2} + \alpha_1}{a_1} \right) x_1 + \frac{\frac{1}{x_2^2} + \alpha_2 + \left(\frac{\left(\frac{1}{x_1^2} + \alpha_1 \right) a_2^2}{a_1(a_1 + a_3)} \right)}{a_3} x_2 \right).
 \tag{14}$$

В общем виде квазиоптимальное управляющее воздействие запишется в виде:

$$u = -\frac{K_1}{x_1} - K_2 x_2 - \frac{K_3}{x_2} - K_4 x_2 - K_5 \frac{x_2}{x_1^2},
 \tag{15}$$

где $K_i, i = \overline{1,5}$ - коэффициенты квазиоптимального регулятора.

Исследование динамических характеристик объекта с синтезированным квазиоптимальным регулятором было проведено методом цифрового моделирования с помощью математического пакета MATLAB и его приложения SIMULINK. Сравнение результатов проводилось для синтезированного алгоритма управления и классического ПИД – регулятора. Коэффициенты ПИД - регулятора были получены с помощью того же MATLAB путем поиска оптимального решения методом последовательных итераций, реализуемого с помощью блока Signal Constraint.

Графики переходных процессов при врезании пилы в древесину при использовании различных регуляторов представлены на рис.2.

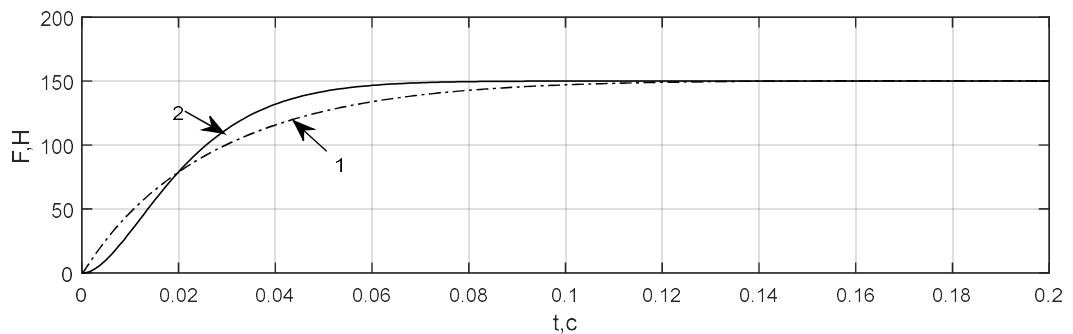


Рис.2. Графики переходных процессов при врезании в древесину при использовании ПИД – регулятора (кривая 1) и синтезированного нелинейного регулятора (кривая 2).

Очевидно, что график переходного процесса при критерию повышения быстродействия и минимума динамической ошибки лучше при использовании нелинейного оптимального регулятора.

Выводы:

1. Использование процедуры аналитического конструирования оптимальных регуляторов позволяет получить качество регулирования усилия среза выше, чем поиск оптимального решения методом последовательных итераций.

2. Представление подынтегральной функции критерия качества по быстродействию в виде квадратичных составляющих с весовыми коэффициентами, являющимися функциями переменных состояния, позволяет существенно упростить процедуру аналитического конструирования.

3. Использование квадратичной весовой составляющей по оптимальному управлению в квадратичном критерии качества позволяет свести задачу решения квадратных уравнений Риккати к решению системы линейных уравнений. Это, в свою очередь, приводит к значительному снижению сложности реализации регулятора без существенного уменьшения качества регулирования в целом.

Литература.

1. Якунин Н. К. Влияние скорости резания на процесс пиления древесины круглыми пилами./ Н.К. Якунин// Лесной вестник. – 2003. - №1. – с.39-61.
 2. Пижурин А.А. Оптимальные режимы пиления древесины дисковыми пилами./Пижурин А.А. М: ВНИПИЭИ леспром, 1971. – 28 с.
 3. Сахаров М.Д. Автоматизация деревообрабатывающего производства./ Сахаров М.Д. Учебное пособие для средних профессионально-технических училищ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1977. — 310 с.: ил.
 4. Кудин В. Ф. К вопросу построения нелинейного регулятора методом динамического программирования / В. Ф. Кудин // Автоматика АН УССР. – К. : 1968. – № 1. – С. 32 – 38.
 5. Кудин В.Ф. Субоптимальное нелинейное управление по критерию быстродействия на основе метода Беллмана – Ляпунова. /В.Ф.Кудин, С.П. Колесниченко// Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2011. - № 1. – с.144-149.
 6. Ту Ю. Современная теория управления. – М. : Машиностроение. 1971. – 472 с.
- Справочник по теории автоматического управления: под редакцией А. А. Красовского. – М : Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит. – 1987. –712 с.

УДК 629.7.03

О.М. Шарий, магістр (НТУУ «КПІ»), **Л.М. Лебедєв**, доцент (НТУУ «КПІ»),
В.Г. Дубовик, ст. викладач (НТУУ «КПІ»)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПУСКУ АВІАДВИГУНІВ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Розглянуто підхід до вирішення задачі підвищення ступеню ідеальності, вельності та інтелектуалізації систем запуску авіадвигунів шляхом використання останніх досягнень науки та техніки – нанотехнологій (нових матеріалів для суперконденсаторів, таких як гібрид графена і нанотрубки), надпотужних магнітів, систем авторегулювання. Суть методу полягає у використанні переваг безколекторних вентильних двигунів у ролі стартера, швидкість обертання якого керується системою управління з контролером нечіткої логіки; вдосконаленні накопичувача енергії, шляхом поєднання функцій акумулятора та суперконденсатора, які дозволять збільшити кількість циклів заряд/розряд, зменшивши масогабаритні показники системи в цілому.

Ключові слова: система запуску; стартер; вентильний двигун; фазі-логіка; суперконденсатор.

O. Sharyi, student (NTUU "KPI"), **L. Lebediev**, associate professor (NTUU "KPI"),
V. Dubovyk, senior lecturer (NTUU "KPI")

INCREASING THE EFFICIENCY OF AIRCRAFT ENGINE LAUNCH IN FUNCTIONING CONDITIONS OF AUTOMATED SYSTEMS

The approach to solving the problem of increasing the degree of ideality, universality and intellectualization of aircraft engine launch systems by using the latest achievements of science and technology – nanotechnologies (new materials for supercapacitors as a hybrid of graphene and nanotubes), super-powerful magnets, automation systems. The essence of the method is applying the advantages of brushless DC electric motors as a starter, the rotation speed of which is controlled by the control system with a fuzzy logic controller; improvement of power source by combining the functions of the battery and supercapacitor which allows to increase the number of charge/discharge cycles, reducing the weight and size parameters of launch system as a whole.

Keywords: Launch system; starter; brushless DC electric motor; fuzzy-logic; supercapacitor.

ВСТУП. Авіаційні двигуни призначені для приведення в рух різних літальних апаратів. В даний час застосовують газотурбінні двигуни (ГТД). Запуск таких двигунів досить складний. Для забезпечення запуску, необхідно, щоб паливо подавалося в камеру згоряння, починаючи з того моменту часу, коли в ній створені сприятливі для роботи двигуна умови – певний рівень витрати повітря і тиск.

Щоб створити ці умови, необхідно розкрутити ротор авіадвигуна від зовнішнього джерела механічної енергії. У поняття ротор ГТД входить компресор і турбіна. В якості зовнішнього джерела механічної енергії використовується електропривод. У відповідності зі своїми функціями цей електропривод називається електростартером. Призначення електростартера – розкрутити ротор авіадвигуна до швидкості, достатньої для самостійного і надійного виходу турбіни на режим малого

газу (стійкий режим роботи з мінімальною потужністю, з якого забезпечується надійний вихід на будь-який робочий режим за заданий час). Тобто, запуском авіадвигуна називається процес його виведення на режим малого газу.

Розглянувши особливості запуску авіаційних двигунів, можна зазначити, що вони потребують особливої системи автоматичного запуску та додаткових допоміжних силових агрегатів.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. Тенденції розвитку систем запуску авіаційних двигунів підкорюються законам розвитку складних технічних систем. У відповідності з цими законами, автоматизовані системи запуску авіадвигунів потребують підвищення ступеню ідеальності, вепольності та інтелектуалізації. Створення сучасної системи запуску є актуальною науково-технічною задачею.

МЕТА РОБОТИ. Підвищення ступеню ідеальності, вепольності та інтелектуалізації систем запуску шляхом використання останніх досягнень науки та техніки – нанотехнологій (нових матеріалів для суперконденсаторів таких як гібрид графена і нанотрубки), надпотужних магнітів, новітніх систем авторегулювання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В даний час більшість розвинених країн широко впроваджують високотехнологічну електротехнічну продукцію, яка не тільки вирішує питання зниження енергоспоживання, а й дозволяє створювати електротехнічні комплекси з малим виділенням втрат і цілим рядом нових якостей. Успіхи в області силової і мікропроцесорної техніки відкрили сприятливі умови для створення нового покоління електроприводів на базі вентильних електродвигунів (ВД).

ВД з електронною системою управління об'єднує в собі кращі якості безконтактних двигунів і двигунів постійного струму. На виготовлення ВД потрібно в середньому в 2-3 рази менше міді, ніж для колекторного електродвигуна такої ж потужності, і в 1,3 рази менше міді, ніж для асинхронного електродвигуна. У більшості випадків ВД може бути виконаний з порожнистим ротором. Товщина спинки ротора при цьому повинна бути не менше половини ширини полюса. Підбором кількості полюсів статора і ротора можуть бути оптимізовані масогабаритні характеристики електродвигуна/генератора, його потужність при заданому моменті та діапазонні частоти обертання.

Переваги ВД:

- Висока швидкодія і динаміка;
- Широкий діапазон зміни частоти обертання;
- Безконтактність і відсутність вузлів, що вимагають техобслуговування;
- Можливість використання у вибухонебезпечному і агресивному середовищі;
- Велика перевантажувальна здатність по моменту;
- Високі енергетичні показники (ККД більше 90% і $\cos\phi$ більш 0,95);
- Великий термін служби, висока надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзаючих електричних контактів;
- Низький перегрів електродвигуна, при роботі в режимах з короткочасними перевантаженнями.

Однією з основних перешкод для широкого впровадження вентильних приводів, є велика вартість постійних магнітів, проте в авіаційній і космічній галузі вартість виробу є другорядним параметром, що робить доцільним використання саме цього типу електродвигуна завдяки його численним перевагам в порівнянні з іншими типами електродвигунів.

Проаналізувавши всі переваги ВД, можна зробити висновок, що використання електродвигунів такого типу в системах запуску авіаційних двигунів дозволить підвищити рівень ефективного використання енергії джерел живлення та надійність

системи, а також зменшити масогабаритні показники зовнішнього джерела механічної енергії (електростартера).

Для забезпечення найбільш ефективної електромагнітної сумісності інвертора і стартера, перспективним є застосування багаторівневий інвертора напруги. За рахунок підвищеного рівня фазної напруги, такий тип інвертора дозволить знизити струм споживаний електростартером.

ВД є найбільш перспективним і універсальним типом регульованого електроприводу з ефективною системою автоматичного управління.

Нечітка логіка є одним з найбільш перспективних напрямків сучасної теорії управління. В основі нечіткої логіки лежить теорія нечітких множин, де функція приналежності елемента множини не бінарна (так/ні), а може приймати будь-яке значення в діапазоні 0-1. Це дає можливість визначати поняття, нечіткі за самою своєю природою: "високий", "середній", "низький" і т.д. Нечітка логіка дозволяє виконувати над такими величинами весь спектр логічних операцій: об'єднання, перетин, заперечення та ін. Нечітка логіка дає можливість будувати бази знань та експертні системи нового покоління, здатні зберігати і обробляти неточну інформацію.

У порівнянні з традиційними методами управління, методи нечіткого управління дозволяють швидко проводити аналіз завдання і отримувати необхідний результат з високою точністю.

Основні переваги застосування нечіткої логіки для вирішення задач автоматизації в порівнянні з традиційними підходами теорії автоматичного управління полягають у наступному:

- значне підвищення швидкодії процесів управління при використанні нечітких контролерів;
- можливість створення систем управління для об'єктів, алгоритми функціонування яких важко формалізуються методами традиційної математики;
- можливість синтезу адаптивних регуляторів на базі класичних ПД регуляторів;
- підвищення точності алгоритмів фільтрації випадкових збурень при обробці інформації від датчиків;
- зниження вірогідності помилкових рішень при функціонуванні керуючих алгоритмів.

Характерними рисами алгоритмів розв'язання задач методами нечіткої логіки є наявність деякого набору тверджень (правил), кожне правило складається з сукупностей подій (умов) і результатів (висновків). Даний підхід передбачає використання знань експертів про об'єкт управління. При описі об'єкта використовуються лінгвістичні змінні, що визначають стан об'єкта. Подальші процедури формалізації спрямовані на отримання так званих нечітких множин, що визначають параметри об'єкта управління. Подальший розрахунок управління проводиться за допомогою застосування бінарних операцій t-норм ,або триангулярних норм, до нечітких множин. Триангулярні норми, реалізують логічні операції "І", "АБО", "НІ", а також операції взяття мінімуму, максимуму над нечіткими множинами. Останнім етапом є зворотне перетворення управління, отриманого у вигляді нечіткої множини, в реальне значення виходу регулятора. Базовими типами такого роду регуляторів є контролери Мамдані і Суджено.

Застосування фазі-регулятора дозволяє зменшити час перехідного процесу, скоротивши при цьому час роботи стартера під короткочасним перевантаженням, що в свою чергу дозволить зменшити потужність, масу і габарити стартера. Регулятор швидкості складається з паралельно з'єднаних П-регулятора і фазі-регулятора. П-регулятор служить для створення основного керуючого сигналу для інвертора з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ).

Для роботи фазі-регулятора (рис. 1) використовуються два вхідних сигнали:

відхилення швидкості (помилка) і похідна відхилення. Так як фазі-регулятор має тільки один вхідний порт, зазначені вище сигнали перетворюються в один векторний за допомогою мультиплексора. Для створення фазі-регулятора були визначені діапазони його вхідних величин, а також терми і відповідні їм функції приналежності. Кількість терм прийнято рівним 4: NB - негативна велика, NS - негативна мала, PS - позитивна мала, PB - позитивна велика величини.

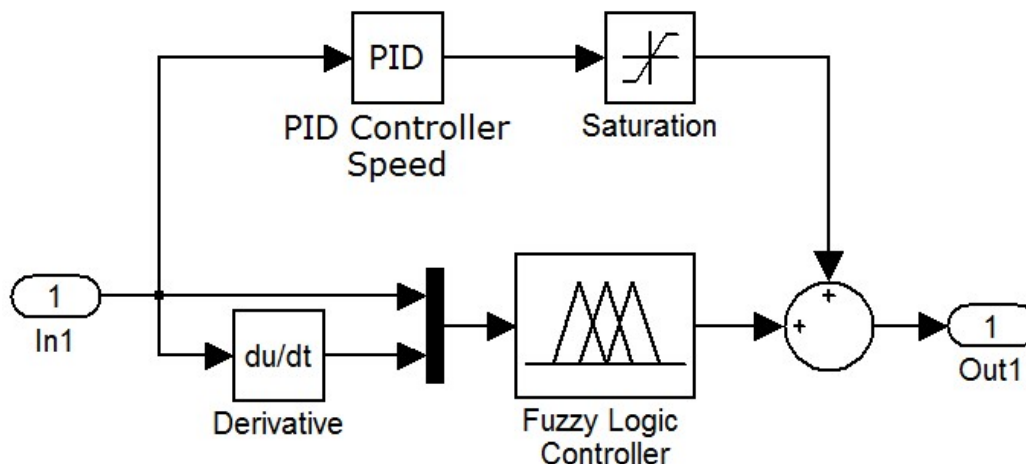


Рисунок 1 – Схема фазі-регулятора

Обчислення керуючого сигналу виконується за алгоритмом Мамдані. Даний алгоритм описує декілька послідовно виконуваних етапів (рис. 2). При цьому кожний наступний етап отримує на вхід значення отримані на попередньому кроці.



Рисунок 2 – Діаграма алгоритму нечіткого виводу

Алгоритм примітний тим, що він працює за принципом «чорного ящика». На вхід надходять кількісні значення, на виході вони ж. На проміжних етапах використовується апарат нечіткої логіки та теорія нечітких множин. В цьому і полягає елегантність використання нечітких систем. Можна маніпулювати звичними числовими даними, але при цьому використовувати гнучкі можливості, які надають системи нечіткого виводу.

Для виявлення раціональних кутів випередження комутації в сталих режимах була складена таблиця середніх значень струмів двигуна (табл. 1) при різних швидкостях і кутах, при постійному номінальному моменті навантаження.

Жирним шрифтом позначені найбільш раціональні струми при відповідних кутах випередження комутації. Прочерк означає, що моделювання при даних параметрах не проводилося, так як по іншим значенням вже помітна тенденція до збільшення струму, або при таких значеннях β_0 не досягається необхідна швидкість.

Таблиця 1

Середнє значення струмів двигуна при різних швидкостях і кутах випередження комутації ключів інвертора

ω , рад/с \ $\beta_0, ^\circ$	0	2	4	6	8	10	12	14	16
30	28	30	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	30	29	30	33	-	-	-
300	-	-	30	29	33	38	-	-	-
450	-	-	35	29	33	47	-	-	-
600	-	-	-	30	35	52	-	-	-
750	-	-	-	-	-	64	71	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	95	107
1050	-	-	-	-	-	-	-	-	107

Регулятор кута випередження комутації (рис. 2) забезпечує раціональні настройки з метою зменшення змінних втрат вентильного двигуна з постійними магнітами (ВДПМ) в сталому режимі і зменшення часу перехідного процесу. На входи спроектованого регулятора подаються сигнали поточної і заданої швидкостей. Шляхом ділення першої на другу визначається відносне відхилення поточної швидкості від заданої. Потім отриманий сигнал надходить на блоки Interval Test для перевірки входження величини відхилення в задані інтервали.

Величина необхідного кута випередження комутації для перехідного режиму визначається вищенаведеним способом. Спочатку обчислюється відносна швидкість обертання шляхом ділення поточної швидкості на базову швидкість.

Далі цей сигнал множиться на базовий індуктивний опір. При швидкості обертання 0 величина коефіцієнта становить 1, при відносній швидкості 1 величина коефіцієнта становить 0,5. Введення даного коефіцієнта дозволяє плавно змінювати характеристику роботи регулятора від $\beta = \varphi$ до $\beta = (\frac{1}{2}) \varphi$, де φ – фаза комутації.

Оскільки вихідний сигнал регулятора в процесі роботи змінюється стрибкоподібно при переході з однієї характеристики на іншу, що може вивести систему з рівноваги, на виході регулятора встановлений задатчик інтенсивності.

Схема математичної моделі привода з регулятором кута випередження комутації і фазі-регулятором швидкості зібрана в прикладній програмі MatLab Simulink та зображена на рисунку 4.

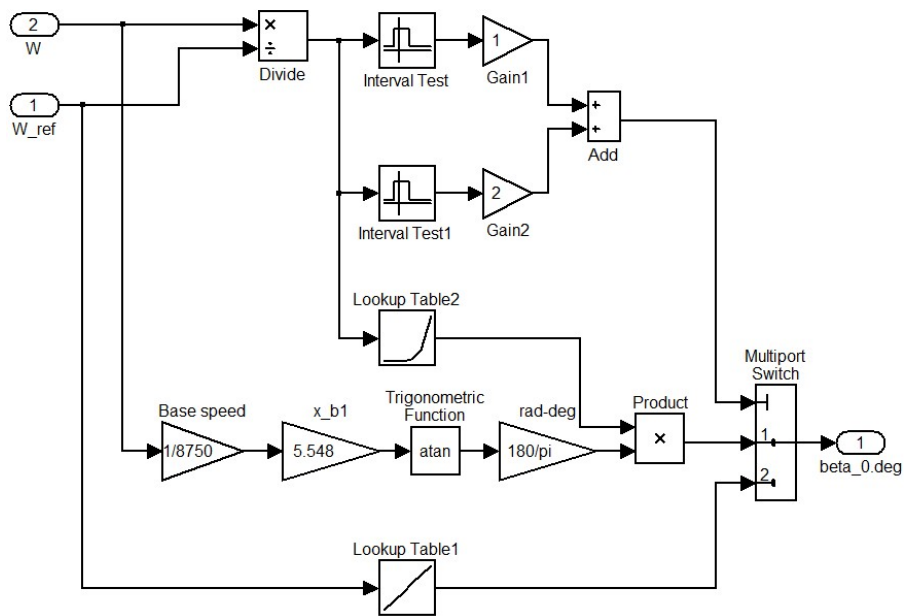


Рисунок 3 – Схема регулятора кута випередження комутації

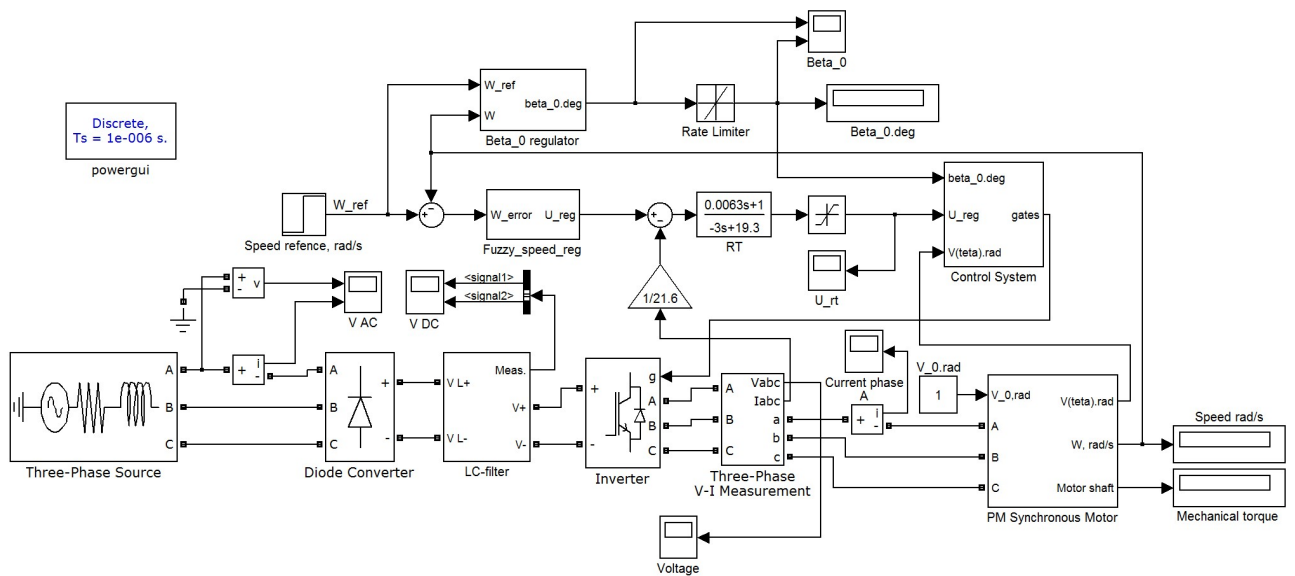


Рисунок 4 – Схема математичної моделі привода з регулятором кута випередження комутації і фазі-регулятором швидкості в прикладній програмі MatLab Simulink

Аналіз результатів моделювання показав, що запропоноване регулювання кута випередження комутації ключів інвертора дозволяє скоротити час перехідного процесу досягнення значення номінальної швидкості з 4 с до 1,1 с (рис. 6). Система з використанням фазі-регулятора швидкості має кращі динамічні показники.

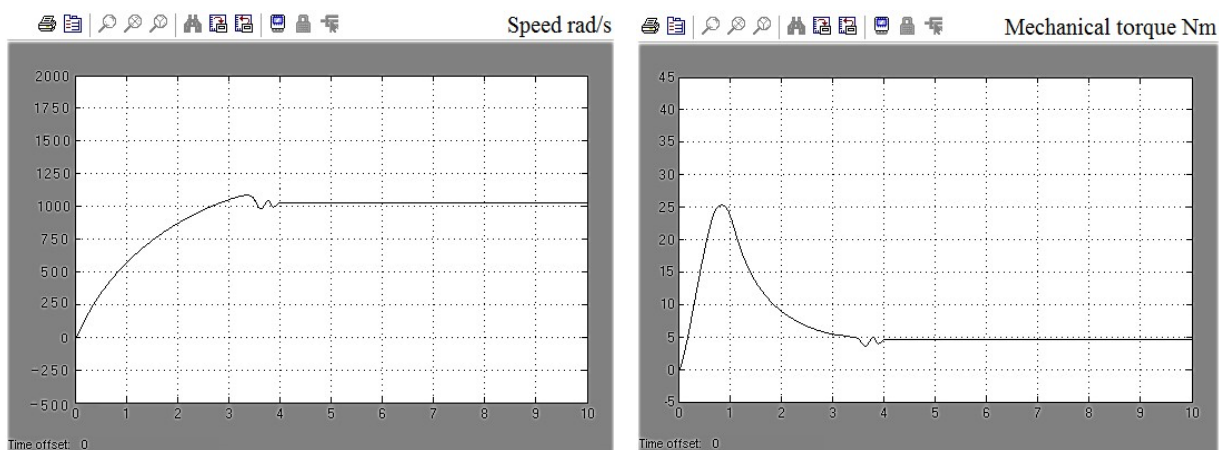


Рисунок 5 – Графіки швидкості та моменту без фазі-регулювання швидкості та кута випередження комутації ключів інвертора

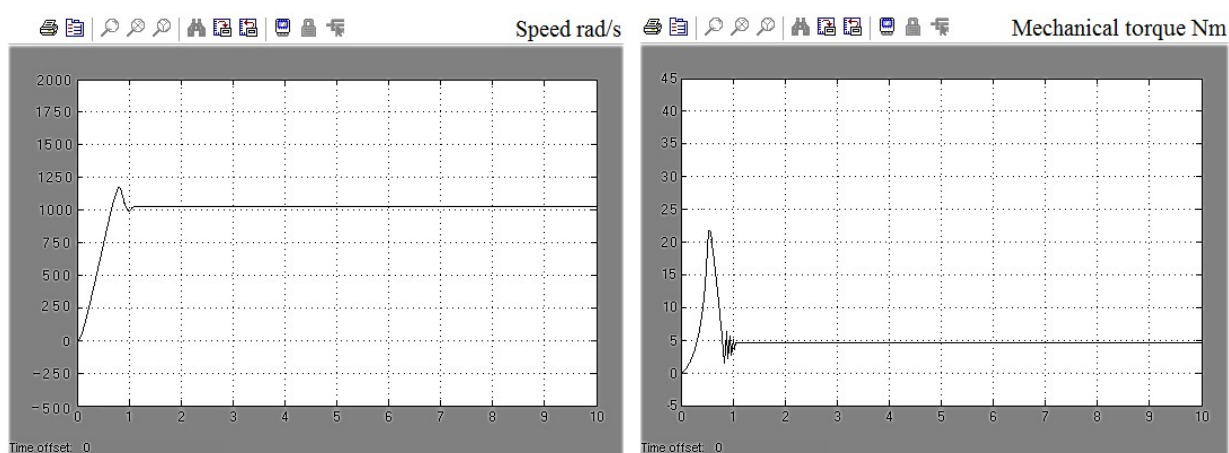


Рисунок 6 – Графіки швидкості та моменту з використанням фазі-регулятора швидкості та регулюванням кута випередження комутації ключів інвертора

Наведені графіки показують, що використання фазі-регулятора забезпечує високу точність відтворення сигналу заданої швидкості. Тому при зміні вхідного сигналу за певною програмою, за такою самою програмою буде змінюватися і вихідний сигнал. Крім цього адаптивний фазі-регулятор дає можливість змінювати амплітуду коливань, що виникають в перехідних режимах через інерційності окремих ланок і параметрів пружних механічних зв'язків.

Робимо висновок, що використання контролерів нечіткої логіки у системах керування запуском дозволяє зменшити час перехідних процесів та прискорити запуск.

Однією з найбільш актуальних науково-технологічних проблем є створення накопичувача енергії, що має максимальною питомою потужністю при одночасному максимальному питомому значенні енергоємності.

Надійність системи електропостачання повітряних суден (ПС) є одним з основних факторів безпеки польоту. Тому передбачається комплекс заходів для надійності функціонування і підвищення живучості бортової системи електропостачання ПС. Бортова система живлення на повітряних судах характеризується як змінною потужністю джерел живлення, яка зумовлена різними режимами роботи силової установки, так і змінним навантаженням, яке визначається великою кількістю споживачів електроенергії і режимами їх роботи. В силу зазначених

причин, доцільним видається розглянути можливість використання СК для підтримки струму в бортовій мережі при зниженні потужності джерел і збільшенні навантаження.

На борту повітряних суден присутня велика кількість електроспоживачів які працюють в періодичному короткочасному режимі, для живлення яких можливо було б використання СК.

Всі відомі споживачі енергії працюють в двох основних режимах - стаціонарному, при якому рівень споживання енергії практично не змінюється, і перехідному, при якому відбувається різка зміна споживання енергії як в більшу сторону, так і в меншу.

Тому робота джерела енергії для окремого споживача оцінюється як величиною енергії, що віддається для забезпечення стаціонарних режимів його роботи, так і величиною потужності, для забезпечення перехідних режимів.

Під час запуску ПС, допоміжна силова установка працює з максимальним навантаженням, витрачаючи енергію акумуляторних батарей. Величезні пускові струми знижують робочий ресурс акумуляторів, які внаслідок неодноразового повторення циклів запуску стають непридатними для експлуатації. Для усунення цієї проблеми можливий такий варіант: при запуску, для максимально швидкого досягнення номінальної швидкості обертання валу електростартера при запуску ПС, використовувати енергію СК спільно з акумулятором.

Реалізація енергозберігаючих технологій заснована на використанні комбінованих або гібридних енергетичних установок, в яких використовуються фізично рознесене джерело енергії і джерело потужності. При цьому джерело енергії (основне джерело енергетичної установки) - акумуляторна батарея, забезпечує роботу системи в стаціонарному режимі роботи, а джерело потужності (додаткове джерело енергетичної установки) - система накопичення енергії на базі суперконденсаторів, забезпечує роботу системи в перехідних режимах.

Очевидно, що комбінована енергетична установка має безумовні переваги в порівнянні з традиційним використанням акумуляторних батарей, як за експлуатаційними характеристиками, так і за економічними показниками.

Суперконденсатори є необхідними джерелами потужності, які можуть забезпечити роботу споживача в перехідному режимі максимальних навантажень. При цьому на основі суперконденсаторів будується система накопичення енергії, яка в певний час є додатковим джерелом енергії. Таким чином, комбінована енергетична установка є системою з двох енергетичних джерел.

У комбінованих енергоустановках для запуску авіаційних двигунів, застосування суперконденсаторних систем накопичення енергії дає можливість знизити встановлену потужність акумуляторних батарей приблизно в два рази, зменшити масогабаритні показники, а також збільшити термін служби в 1,5 - 2 рази.

Змоделюємо функціональну схему комбінованої енергоустановки (рис. 7) на прикладі системи пуску електростартера газотурбінного двигуна, що включає в себе вентильний двигун, інвертор, систему накопичення енергії і систему управління.

Електростартер отримує живлення від інвертора, який керується за допомогою спеціальних алгоритмів системи управління.

Система накопичення енергії складається з суперконденсатора і акумуляторної батареї, з'єднаних паралельно. Така система реалізує цикли накопичення енергії і віддачі енергії в момент запуску.

Система управління призначена для реалізації керуючих впливів на ключі комутації інвертора.

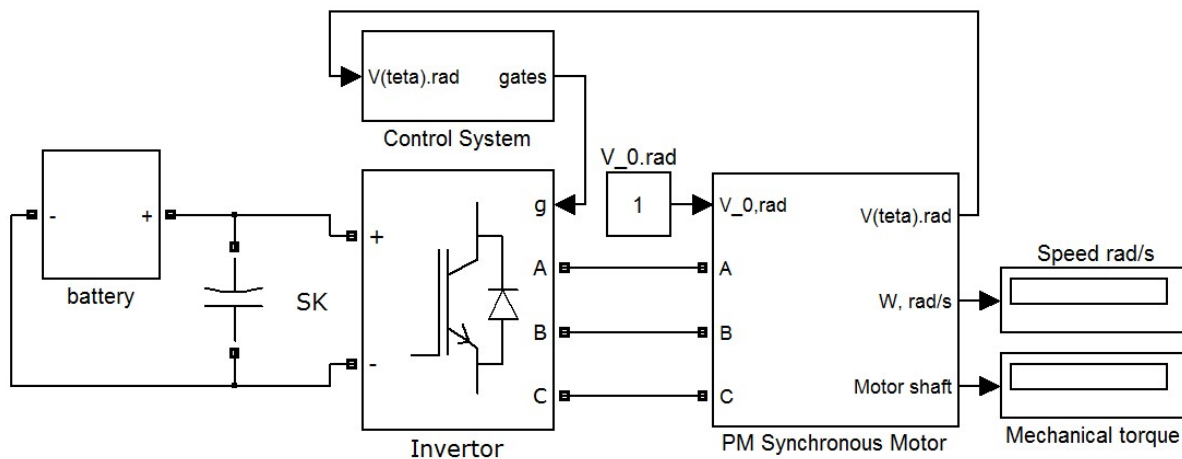


Рис. 7. Узагальнена схема спільної роботи акумуляторної батареї і суперконденсатора

Робимо висновок, що застосування симбіозу функцій акумулятора та суперконденсатора в одному пристрої дозволить зменшити масогабаритні розміри, збільшити надійність та загальний час експлуатації.

ВИСНОВКИ. Сумісне використання електроприводу змінного струму (ВД), синергічної взаємодії суперконденсаторів та акумуляторних батарей, а також застосування системи керування з фазі-логікою, дає можливість зменшити масогабаритні показники системи запуску у першому наближенні до 25%. Подальше зниження масогабаритних показників системи можливо за рахунок послідовно-паралельного з'єднання акумулятора з конденсаторами та послідовно-паралельного з'єднання конденсаторів ступенів багаторівневого перетворювача вентильного двигуна для підвищення рівня напруги та зменшення струмів навантаження електричної машини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корельский Д.В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В. Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами. – С.: Науковий журнал "Радиоелектроника. Інформатика. Управління", 2001. – 159 с.
2. Горшков Р.Г. Регулирование частоты вращения вентильного двигателя с постоянными магнитами на основе фаззи-логики и изменения угла коммутации ключей инвертора. – Сызрань: Филиал ФГБОУ ВПО СамГТУ, 2013. – 142 с.
3. Щерба А.А., Белецкий О.А. Энергетические характеристики суперконденсаторов при их заряде от источника напряжения и разряде на резистивную нагрузку. – Киев: Институт электродинамики НАН України, 2014. – 73 с.
4. Кац Б.М., Жаров Э.С., Винокуров В.К. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.
5. Елифанов С.В., Сиренко Ф.Ф., Головин И.И. Анализ методик синтеза математических моделей газотурбинных двигателей на этапе запуска. – Харьков: Национальний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2013. – 107 с.

УДК 621.314.5

Дубовик В.Г., Лебедєв Л.Н., Костіков К.Л., студ., Єсаулов Д.М., студ.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ЗАХИСТ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ
ПРИ НЕВІРНОМУ ПІДКЛЮЧЕННІ**

В статті показано, що для виключення аварійних режимів перетворювача частоти при неправильному підключенні до нього напруги живлення та навантаження можна використати удосконалений пристрій, який дозволяє запобігти виходу з ладу.

Ключові слова: перетворювач частоти, аварійні режими, керування та захист.

Dubovyk Volodymyr., Lebedev Lev, Kostikov Kostya, stud., Esaulov Dmitro, stud.

**DEFENCE OF TRANSFORMER OF FREQUENCY
DURING INCORRECT CONNECTING**

It is shown in the article, that for the exception of malfunctions of transformer of frequency during the wrong connecting to him of tension of feed and loading it is possible to utilize the improved device, that allows to prevent an exit from a line-up.

Keywords: transformer of frequency, malfunctions, managements and defence.

Вибір силових напівпровідникових приладів перетворювачів частоти (ПЧ), що працюють в пристроях з великими кратностями перевантажень по струму, зокрема в електроприводах змінного струму, визначається, як правило, не номінальними значеннями навантажень, а необхідною перевантажувальною характеристикою. Ця характеристика визначає залежність величини струму перевантаження від часу її дії при заданому температурному режимі роботи перетворювача частоти. Найважливішою умовою, що визначає надійність перетворювача, є наявність захисту його силових ключів від теплового руйнування при струмових перевантаженнях. Найбільш ефективний захист ключів реалізується на основі контролю температури їх кристалів. Оскільки безпосереднє вимірювання температури кристала провести вельми проблематично, то захист перетворювача, зазвичай, створюється на основі контролю температури в інших точках: на охолоджувачі в безпосередній близькості від силового модуля, або за допомогою вбудованого в модуль датчика, що вимірює температуру корпусу. Очевидно, що унаслідок інерційності датчиків температури і наявності перехідних теплових опорів «охолоджувач-корпус» і «корпус-кристал», контроль температури у вказаних місцях може ефективно захищати модулі електронних ключів тільки при тривалих перевантаженнях з невеликими значеннями збільшення струму [1].

Відомий перетворювач частоти із захистом, що містить випрямляч, інвертор, реактор підключений до входу інвертора, конденсатор фільтра, магнітний елемент не забезпечує захист від аномальних режимів при неправильному підключенні напруги живлення та навантаження [2].

При використанні перетворювачів частоти малої потужності до п'яти процентів від їх парку, що живляться від низьковольтних мереж, виходить з ладу при першому включенні на етапі введення в експлуатацію або при першому підключенні після ремонту, технічного обслуговування. Відбувається це із-за помилкового сполучення та подачі мережевої напруги на виходи інвертора – ланцюги U, V, W. Підключення перетворювача частоти проводиться повинно за допомогою клем з позначеннями L1, L2, L3 – до мережі живлення та U, V, W – до навантаження. Це прийнято у більшості виробників (Siemens, ABB, Allen-Bradley, Control Techniques, Invertek Drives, Baumuller, Schneider Electric, General Electric, Lovato Electric, AuCom, Danfoss, Eaton, Helmke, Honeywell, Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, LS Industrial Systems (LG), Delta Electronics, Lenze, Vacon, Emotron, Moeller, KEB, INVT, Santerno,

Carel, Rexroth, Nord, SEW-EURODRIVE, Fairford Electronics, Transresch, B&R, Bonfiglioli, Parker, Gefran, Sprint Electric, Ansaldo Sistemi Industriali та ін.). Є моделі, наприклад, ПЧ фірми Danfoss, де для підключення мережевої напруги використовуються навіть інші найменування виводів. При першому підключенні ПЧ і, особливо, при підключенні після ремонту, достатньо часто, навіть досвідчені електрики, помилково підключають мережеві клеми до виводів U, V, W, а електродвигун до виводів L1, L2, L3. Це відбувається через те, що кабелі підключення мають велику довжину, укладені в кабельні канали, а виводи на їх кінцях не мають маркування. Крім того, клемники ПЧ з виводами L1, L2, L3 і U, V, W знаходяться завжди на одній панелі поряд [3].

Для підвищення надійності експлуатації та використання перетворювача частоти запропоновано його удосконалення. Це дозволяє виключити аварійні режими при неправильному підключенні напруги живлення та навантаження.

На рис. 1 приведена структурна схема пристрою захисту перетворювача частоти, на рис. 2 - схема сполучення силових елементів інвертора.

Пристрій захисту перетворювача частоти, рис. 1, складається з першого випрямляча 1, який сполучений двома ланцюгами 11 та 12 з інвертором 2 між якими підключено конденсатор 3 фільтру, три входи випрямляча 1 являються входами L1, L2, L3 перетворювача частоти для підключення мережі живлення, а три виходи 19, 20, 21 інвертора 2 являються фазами U, V, W виходу перетворювача частоти для підключення навантаження, також містить блок 4 живлення та управління, ключовий шестиканальний елемент 5, індикаторний елемент 6 та послідовно сполучені другий випрямляч 7, пороговий елемент 8, елемент І-НЕ 9, другий ключовий елемент 10, перший вихід якого через індикаторний елемент 6 сполучено з одним ланцюгом конденсатора 3 фільтру, а другий вихід - з другим ланцюгом конденсатора 3 фільтру, вхід елемента І-НЕ 9 також сполучено з входом ключового шестиканального елемента 5, шість інших входів якого сполучені з шістьма виходами блока 4 живлення та управління, а шість виходів сполучено з шістьма іншими входами інвертора 2, три входи другого випрямляча 7 сполучено з трьома входами першого випрямляча 1, другий ланцюг індикаторного елемента 6 сполучено з входом блока 4 живлення та управління, другий вхід якого сполучено з ланцюгом ПУСК [4].

Випрямляч 1 трифазний мостовий забезпечує перетворення трифазної змінної напруги в постійну та може бути виконаний по схемі Ларіонова, який складається з шести силових діодних елементів (діодні елементи на фіг. 1 не показані).

Інвертор 2 являється вихідним блоком (фіг. 2) перетворювача частоти та забезпечує перетворення напруги постійного струму на його вході 11,12 в напругу вихідну в точках 19-21 трифазну змінних значень частоти та може бути виконаний з використанням силових електронних ключів 22-27 на основі IGBT транзисторів, а також діодних елементів 28-33. Інвертор 2 може бути виконаний також з використанням ІРМ модуля.

Конденсатор 3 фільтру забезпечує згладжування пульсацій випрямляча 1 та може бути виконаний з використанням одного або декількох електролітичних конденсаторів.

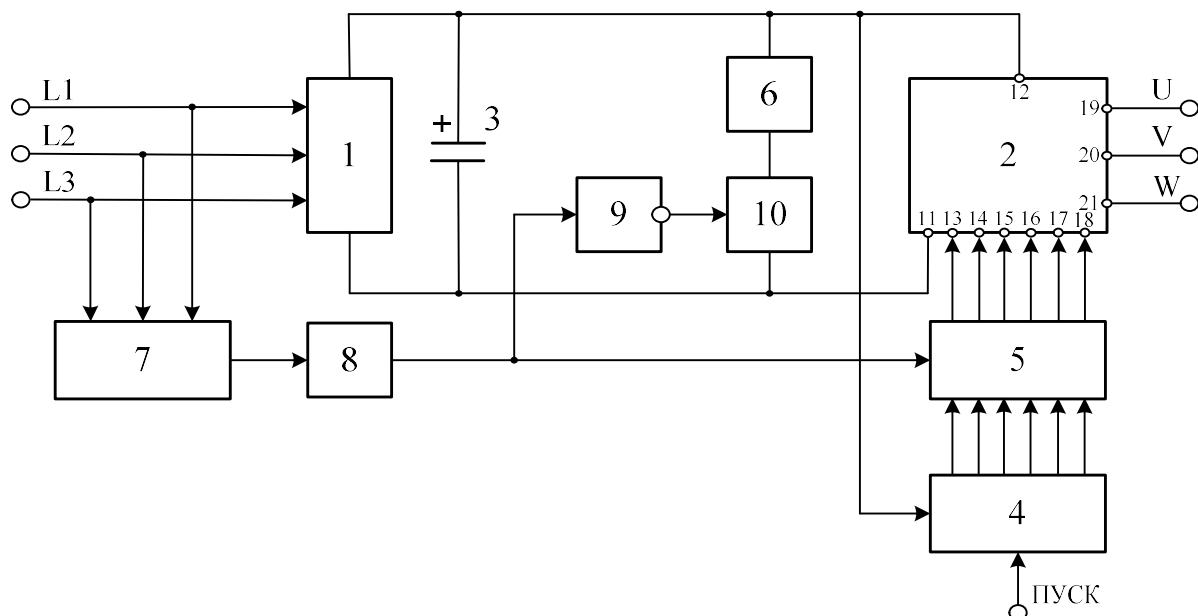


Рисунок 1 - Структурна схема пристрою захисту перетворювача частоти

Блок 4 живлення та управління входить до складу перетворювача частоти та забезпечує формування сигналів по визначеному алгоритму для управління інвертором 2 по сигналу ПУСК високого логічного рівня, який подається на другий вхід блока 4 живлення та управління, що забезпечує перехід перетворювача частоти в робочий режим. Зворотній перехід перетворювача частоти в режим очікування виконується сигналом ПУСК низького логічного рівня. Живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 8, 9, 10 перетворювача частоти забезпечується від імпульсного вузла блока 4, який формує необхідні вторинні напруги та має вхідне живлення від шин ланцюгів 11-12 постійної напруги випрямляча 1. Ланцюги живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 8, 9, 10 перетворювача частоти на рис. 1 не показано.

Ключовий шестиканальний елемент 5 забезпечує підключення шести виходів блока 4 живлення та управління до відповідних шести входів 13-18 інвертора 2 при високому логічному рівні сигналу на першому вході та може бути виконаний в вигляді шестиканального електронного ключа, а розмикання зазначених ланцюгів відбувається при низькому логічному рівні.

Індикаторний елемент 6 забезпечує світлову індикацію аварійного стану перетворювача частоти.

Другий випрямляч 7 трифазний мостовий забезпечує перетворення трифазної змінної напруги в постійну та може бути виконаний по схемі Ларіонова, яка складається з шести діодних елементів.

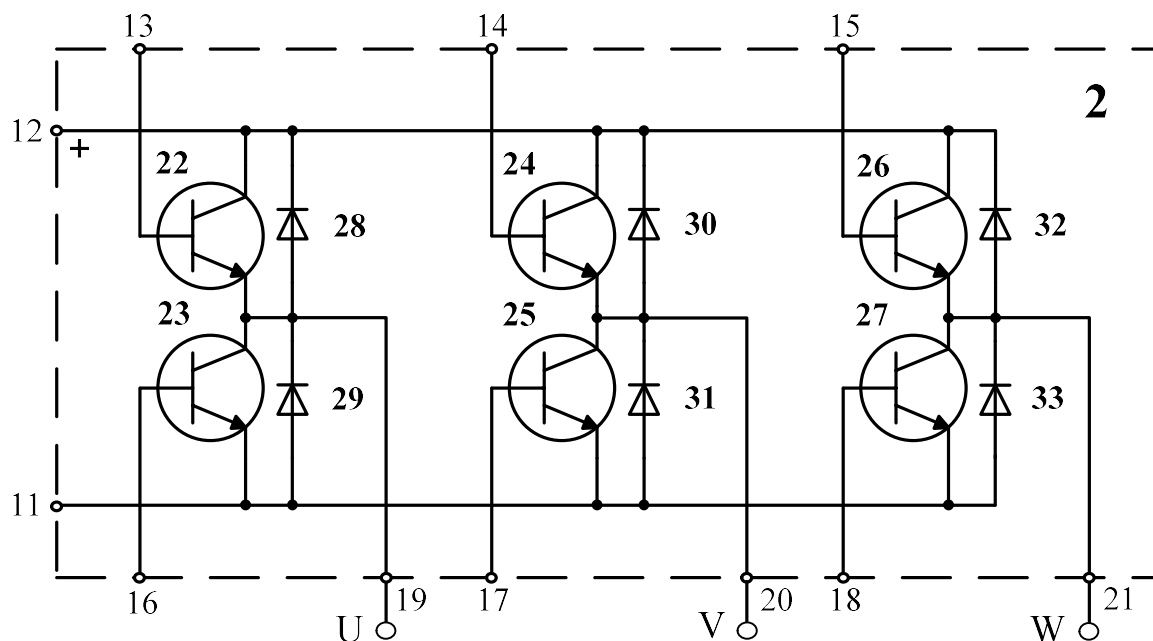


Рисунок 2 - Схема сполучення силових елементів інвертора

Пороговий елемент 8 формує вихідний високий логічний рівень при входному, що перевищує значення $0,9U_{L1,L2,L3}$ налаштування порогового рівня, яке встановлюється відповідно до виразу

$$U_8 = \begin{cases} 1 & \text{при } U_7 \geq 0,9 U_{L1,L2,L3} \\ 0 & \text{при } U_7 \leq 0,9 U_{L1,L2,L3} \end{cases}$$

Пороговий елемент 8 має гальванічну розв'язку між входними та вихідними ланцюгами. Ланцюги для налаштування порогового рівня не показано.

Елемент І-НЕ 9 забезпечує логічну функцію І-НЕ.

Ключовий елемент 10 забезпечує підключення індикаторного елемента 6 до ланцюга 11 при високому логічному рівні його входного сигналу та може бути виконаний в вигляді електронного ключа. Розмикання зазначеного ланцюга відбувається при низькому входному логічному рівні. Ключовий елемент 10 має гальванічну розв'язку між входними та вихідними ланцюгами.

Навантаженням перетворювача частоти можуть бути електродвигуни трифазні різних видів і їх необхідно правильно підключати, тобто до ланцюгів виходів U, V, W інвертора 2. Ланцюги мережевого живлення, на рис. 1 не показано, підключаються до входів L1, L2, L3. Навантаження перетворювача частоти також не показано.

При відсутності захисту перетворювача частоти та невірному підключенні навантаження та ланцюгів живлення після подавання напруги мережі живлення на клеми U, V, W в ланцюгах 11, 12 появляється постійна напруга після перетворення на діодах 28-33 з змінної і перетворювач частоти знаходиться в режимі очікування. Блок 4 живлення та управління одержує живлення по ланцюгах 11, 12. При подачі сигналу ПУСК на блок 4 живлення та управління, силові транзистори 22-27 інвертора 2 відкриваються. При цьому через пари транзисторів, що відкрилися, наприклад, 22-25, 23-26, 24-27 протікає струм, визначуваний напругою мережі і, відповідно, напругою ланцюгів 11-12 та відбувається коротке замикання між включеними фазами інвертора. Так як, в класичному виконанні перетворювачів частоти відсутні елементи та ланцюги захисту від такого режиму, то це приводить до виходу з ладу транзисторів 22-27 та

діодів 28-33 інвертора 2 із-за проходження неприпустимих струмів. При цьому виходять з ладу також вузли блока 4 живлення та управління, які сполучені з ланцюгами 13-18 інвертора. Ремонт таких ПЧ полягає в заміні дорогих напівпровідникових силових транзисторних модулів IGBT або IPM та елементів ланцюгів їх управління.

Прийняті позначення U_n^i - амплітуда сигналу на i -му виході n -го блоку.

Працює пристрій наступним чином.

Для запуску ПЧ попередньо підключається навантаження (електродвигун) до його ланцюгів U, V, W, а також подається напруга від мережі живлення до його ланцюгів L1, L2, L3. Змінна трифазна напруга проходить через випрямляч 1, на виході його появляється пульсуюча напруга постійного струму, яка згладжується конденсатором 3 фільтру та далі подається на інвертор 2 та блок 4 живлення та управління. Живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 8, 9, 10 перетворювача частоти забезпечується від імпульсного вузла живлення блока 4 живлення та управління, який формує необхідні вторинні напруги. Ланцюги живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 8, 9, 10 перетворювача частоти на фіг. 1 не показано. Напруга з виходу випрямляча 1 подається також на один ланцюг індикаторного елемента 6, який не забезпечує світлову – не включається, тому, що його стан залежить від стану ключового елемента 10. Змінна трифазна напруга проходить також через випрямляч 7, на виході якого формується постійна напруга і вона перевищує значення налаштування порогового рівня для порогового елемента 8, який має характеристику

$$U_8 = \begin{cases} 1 & \text{при } U_7 \geq 0,9 U_{L1,L2,L3} \\ 0 & \text{при } U_7 \leq 0,9 U_{L1,L2,L3}. \end{cases}$$

Високий логічний рівень U_8 подається на елемент І-НЕ 9, що забезпечує логічний нульовий рівень U_9 і ключовий елемент 10 залишається в розімкнутому стані (опір елемента 10 між виходами один та два - $R_{10_{\text{вихід } 1-2}}$ дорівнює високоімпедансному значенню), так як при

$$U_9 = \begin{cases} 1, & \text{тоді } R_{10_{\text{вихід } 1-2}} = 0 \\ 0, & \text{тоді } R_{10_{\text{вихід } 1-2}} = \infty, \end{cases}$$

а високим логічним рівнем U_8 забезпечується включення ключового елемента 5, що забезпечує підключення шести виходів блока 4 живлення та управління до відповідних шести входів інвертора 2. При подачі сигналу ПУСК високого логічного рівня, перетворювач частоти переходить в робочий режим – електродвигун починає розгін до значення швидкості, яке задане в блоці 4 живлення та управління. Перехід перетворювача частоти в режим очікування виконується сигналом ПУСК низького логічного рівня.

Розглянемо роботу пристрою при неправильному підключенні навантаження. При цьому попередньо підключене навантаження (електродвигун) до ланцюгів L1, L2, L3, а напруга від мережі живлення подається до ланцюгів U, V, W інвертора 2 перетворювача частоти. Змінна трифазна напруга проходить через діоди 28-33 інвертора 2 і на їх виходах 11,12 появляється пульсуюча напруга постійного струму, яка згладжується конденсатором 3 фільтру та далі подається на блок 4 живлення та управління. Живлення всіх вузлів блоків 4, 5, 8, 9, 10 перетворювача частоти забезпечується від імпульсного вузла живлення блока 4 живлення та управління, який формує необхідні вторинні напруги, аналогічно правильному підключенню живлення ПЧ. Але при цьому змінна трифазна напруга не подається на випрямляч 7, так як, вхід його підключений до електродвигуна, тому на виході постійна напруга дорівнює нулю і вона не перевищує значення налаштування порогового рівня порогового елемента 8. $U_8=0$. Низький логічний рівень U_8 подається на елемент І-НЕ 9, що забезпечує високий

логічний рівень U_9 і ключовий елемент 10 замикається, так як при

$$U_9 = \begin{cases} 1, \text{ тоді } R10_{\text{вихід } 1-2} = 0 \\ 0, \text{ тоді } R10_{\text{вихід } 1-2} = \infty. \end{cases}$$

На індикаторний елемент 6 подається напруга, яка забезпечує світлову індикацію аварійного стану перетворювача частоти. Низький логічний рівень U_8 подається також на вхід ключового шестиканального елемент 5, який залишається в розімкненому стані, що залишає відключеними шість виходів блока 4 живлення та управління з відповідними шести входами інвертора 2. При подачі сигналу ПУСК високого логічного рівня, сигнали блоку 4 живлення та управління не подаються через ланцюги 13-18 на бази IGBT транзисторів 22-27. Перетворювач частоти не переходить в робочий режим, а IGBT транзистори 22-27 не відкриваються, звичайно не руйнуються. Перетворювач частоти 2 залишається в режим очікування. Для виходу з аварійного режиму сигнал ПУСК подається низького логічного рівня та відключається мережа живлення від ланцюгів U, V, W перетворювача частоти. Після цього проводиться правильне підключення ланцюгів живлення та навантаження до перетворювача частоти.

Запропонований пристрій захисту перетворювача частоти дозволяє удосконалити перетворювач частоти, що підвищує надійність його експлуатації та використання шляхом виключення аварійних режимів при неправильному підключенні до нього напруги живлення та навантаження – тобто при підключенні виходу перетворювача частоти до ланцюгів мережі живлення, а навантаження до його вхідних ланцюгів.

Джерела інформації

1. Виноградов А.Б. Реализация защиты преобразователя частоты на основе динамической тепловой модели IGBT модуля / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, И.Н. Колодин // Силовая электроника. №2, 2006.
2. Зеленов В.Е. Преобразователь частоты с защитой / В.Е.Зеленов, С.В.Липатов. Истринский филиал Всесоюзного электротехнического института им. В.И.Ленина // Авторское свидетельство СССР №1684883. МПК H02M 5/27, H02H 7/10 Бюл. №38. 1991 г.
3. Дубовик В.Г. Защита преобразователей частоты от недопустимых токов при неправильном подключении / В.Г. Дубовик, Л.Н. Лебедев // Деп. в ДНТБ України 16.10.2006 р., № 54 - Ук2006. РЖ "Депоновані наукові роботи", 2006 р, №1-2; ВИНТИ РАН "Депонированные научные работы", 2007, №1, №б 8.
4. Дубовик В.Г. Пристрій захисту перетворювача частоти / В.Г.Дубовик, Л.М.Лебедев, С.Ю.Докшина, Д.С.Матушкін // Заявка №u201703560 від 12.04.17 р на корисну модель. МПК H02H 7/10.

УДК 621.316.9

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Брагина Л.Е., Чевельча О.В., студ.
 Национальный технический университет Украины
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

УПРАВЛЕНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье показано, что для упрощения контроля состояния насосной установки можно использовать сигналы тока электродвигателя, что позволяет распознавать режимы «сухого хода» насоса и аварийные состояния электродвигателя, обеспечить энергоэффективные режимы работы.

Ключевые слова: насосная установка, управление, аварийные режимы, энергоэффективность.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Брагина Л.Є., Чевельча О.В., студ.
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ УСТАНОВКОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАЛІВ СТРУМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

У статті показано, що для спрощення контролю стану насосної установки можна використовувати сигнали струму електродвигуна, що дозволяє розпізнавати режими «сухого ходу» насоса і аварійні стани електродвигуна, забезпечити енергоефективні режими роботи.

Ключові слова: насосна установка, управління, аварійні режими, енергоефективність.

Dubovyk Volodymyr., Lebedev Lev, Bragina Ludmyla., Chevelcha Oleg., stud.

MANAGEMENT OF PUMPING UNIT USING THE SIGNALS OF THE MOTOR CURRENT

The article shows that in order to simplify status monitoring pumping units, you can use the signals of motor current that allows you to recognize the mode "dry run" of the pump and the emergency condition of the motor, to ensure energy efficient operation modes.

Keywords: pumping unit, control, emergency modes, energy efficiency.

В копальнях, вугільних шахтах і на нерудних підприємствах, як на одиночних водовідливних установках, так і на стаціонарних, головних водовідливних установках в складі декількох насосних агрегатів апаратура автоматизації виконує операції замість машиністів насосів, забезпечує точність, безпомилковість і своєчасність цих операцій. Це дозволяє продовжити міжремонтні терміни за рахунок виключення випадків неодруженої роботи водовідливу. Економічна ефективність автоматизації досягається за рахунок підвищення ефективності і надійності використання устаткування шляхом контролю справної роботи в сталі і перехідні періоди роботи, зниження числа пусків і виключення холостого ходу насосних агрегатів, виконання технологічних захистів і ін.

Головна водовідливна установка відповідно до вимог правил безпеки обладнується не менше чим трьома насосними агрегатами, а по стовбуру прокладаються не менше двох нагінатальних трубопроводів. Кожен насос і нагінатальний трубопровід включаються в роботу по черзі, кожен з них розрахований на відкачування

нормальної добової притоки, і лише при підвищеній притоці (навесні, восени) передбачається одночасне включення декількох насосів.

У насосній камері трубопровід обладнаний розподільними засувками, що утворює колектор. За допомогою цих засувок кожен з насосів може працювати на один з напірних ставів або на обидва стави в паралель.

До основного устаткування водовідливної установки відносяться насоси, електродвигуни, трубопроводи вхідні і напірні. На вхідному трубопроводі, вмонтовується приймальний пристрій, який складається із запобіжної сітки і приймального клапана. У напірному трубопроводі вмонтовуються засувки і зворотний клапан, який запобігає зворотному ходу води і спорожненню трубопроводу при зупинці насоса [1].

В даний час в гірничій промисловості більшість водовідливних установок автоматизована із застосуванням серійної апаратури. Одночасно з цим в експлуатації знаходиться багато автоматизованих водовідливних установок, виконаних по індивідуальних проектах. Це пояснюється як станом спаду гірничої промисловості, так і різноманітністю гідрогеологічних і гірничотехнічних умов шахт, відкачування кислотних шахтних вод і освоєнням глибоких горизонтів. Багато комплектів апаратури автоматизації водовідливних установок морально застарілі і вимагають модернізації. Тому розширення функціональних можливостей існуючої базової апаратури автоматизації головної водовідливної установки за рахунок використання в ній принципово нових методів і засобів управління є актуальною темою.

Однією з важливих вимог до насосної установки є використання насосів в режимах, відповідних їх номінальним параметрам. Відхилення робочих параметрів насоса від номінальних може викликати перехід насосів в неприпустимий режим роботи, спричиняє за собою зниження коефіцієнта корисної дії і, як наслідок, перевитрату споживання електроенергії.

Для управління насосною установкою відомо пристрій, що містить датчик рівня, джерела постійної вхідної дії, ключі електронні сполучені з ланцюгами магнітних пускачів та джерелом їх живлення, містить два датчики продуктивності, чотири елементи І-НІ, два елементи І, елемент АБО, два R-S тригери, три порогових елементи [2].

Недоліком пристрою є відсутня можливість контролю "сухого ходу" насосів без використання датчиків продуктивності та контролю обриву фази в ланцюгах живлення, а також не забезпечується послідовне підключення не задіяних одного або декількох насосів при виході з ладу основних, що знижує надійність насосної установки.

Для удосконалення відомих пристроїв керування насосною установкою, шляхом введення додаткових елементів, блоків та нових функціональних зв'язків між ними, що забезпечить можливість контролю "сухого ходу" насосів та обриву фази в ланцюгах живлення з використанням сигналів струмів в фазах електродвигунів, а також забезпечить послідовне підключення одного або декількох насосів при виході з ладу основних, що не завжди потребує включення резервного насоса. Ці ознаки підвищують надійність насосної установки в цілому.

Запропонований пристрій керування насосною установкою (рис. 1) складається з датчика І рівня, до виходу якого підключено блок 2 порогових рівнів, перший вихід якого сполучено з входами елементів І - 3, 4 та 5, другий та третій виходи сполучено, відповідно, з другим та третім входами елемента І 4, а другий вихід ще сполучено з другим входом елемента І 3, вихід якого сполучено з входом елемента І 6, вихід елемента І 4 сполучено з входом п'ятого елемента І 7, вихід елемента І 3 сполучено з входом елемента АБО 8 та входом елемента І 4, вихід якого сполучено з другим входом елемента АБО 9 та першим входом елемента АБО 10, другий вхід якого з виходом елемента І 7, входи чотирьох блоків 11-14 контакторів сполучені з джерелом живлення Е1, а виходи сполучені з входами чотирьох блоків 15-18 датчиків струму, які другими,

третіми, четвертими виходами сполучені, відповідно, з трьома входами чотирьох елементів І-НЕ 19-22, виходи яких сполучені, відповідно, з другими входами чотирьох блоків 11-14 контакторів, а першими виходами підключені до чотирьох електродвигунів 23-26, другий та третій входи першого блоку 11 контактора сполучено, відповідно, з першим та другим входами третього елемента І 3, вихід якого сполучено з другим входом другого елемента АБО 8, вихід якого сполучено з третім входом другого блоку 12 контактора, другий вхід якого сполучено з другим входом елемента І 6, вихід другого елемента І 4 сполучено з входом елемента АБО 9, вихід якого сполучено з третім входом третього блоку 13 контактора, другий вхід якого сполучено з другим входом елемента І 7, вихід якого сполучено з другим входом елемента АБО 10, вихід якого сполучено з третім входом четвертого блоку 14 контактора [3].

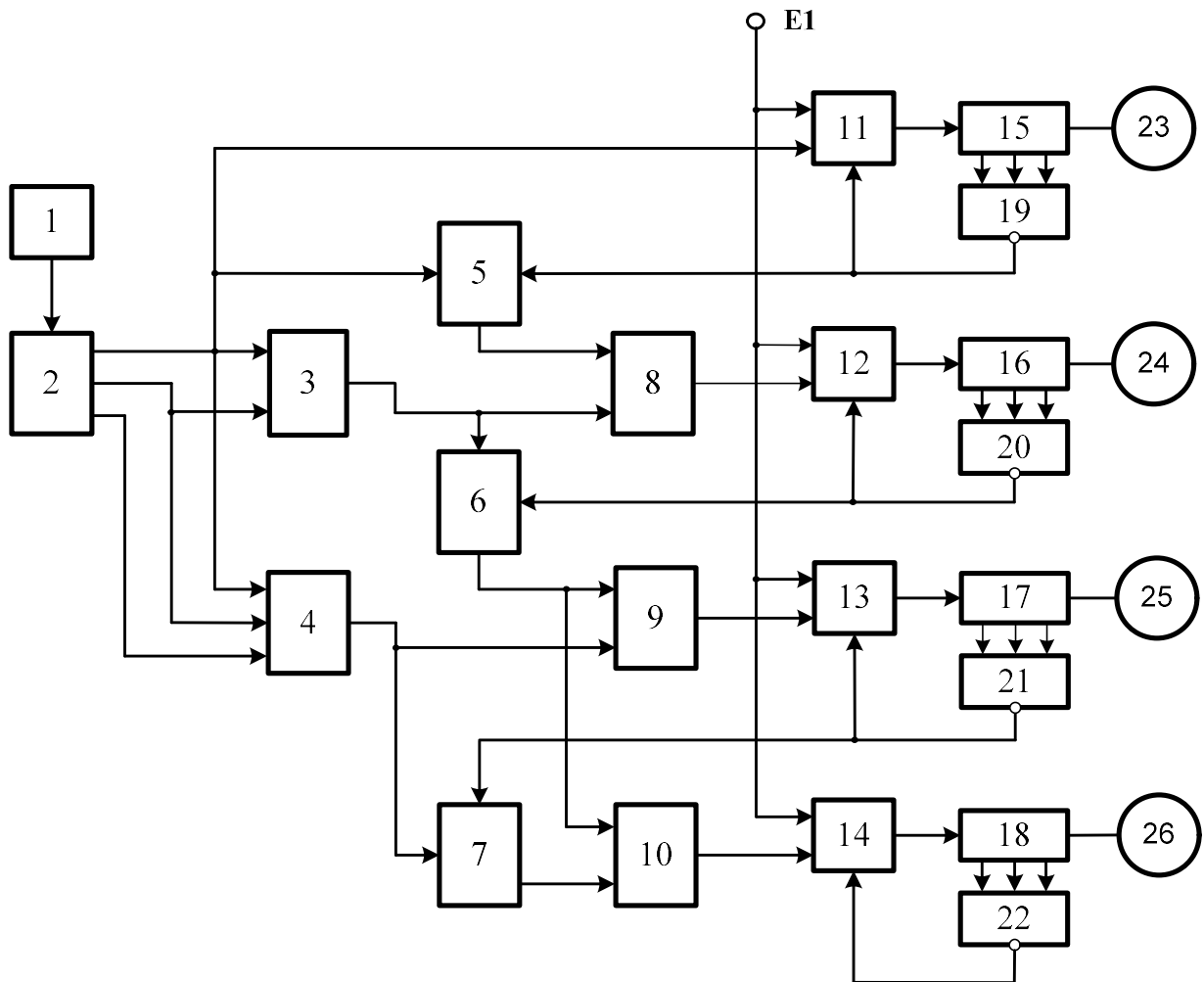


Рисунок 1 - Структурна схема управління насосною установкою

Датчик 1 рівня забезпечує формування сигналу, пропорційного рівню води в водозбірнику і може бути виконаний з використанням, наприклад, ультразвукових, магнітострикційних, мікрохвильових або ємнісних датчиків безперервного вимірювання. Вони використовуються в залежності від умов розміщення водозбірника, а також матеріалу стінок та глибини відкачування води. Ультразвукові датчики рівня - безконтактні, які використовують ультразвукові імпульси, що посилюються передавачем у напрямі поверхні води і вимірюється при цьому час t проходження сигналу від передавача до поверхні і назад. Відстань S визначається із співвідношення S

$= V \cdot t/2$, де V – швидкість розповсюдження ультразвуку. Безконтактний метод робить їх нечутливими до зміни властивостей води - тиску, щільності, в'язкості в діапазоні вимірювання до 50 м з точністю до 2 мм. Магнітострикційні датчики складається з хвилеводу, розташованого усередині стрижня і зовнішнього постійного магніту усередині поплавця. Датчик посиляє сигнал, який створює магнітне поле, що розповсюджується уздовж хвилеводу. З іншого боку, постійний магніт усередині поплавця створює додаткове магнітне поле і при перетині цих двох магнітних полів виникає торсіонна хвиля, яка розповсюджується уздовж хвилеводу із швидкістю звуку. Вона уловлюється чутливим елементом датчика, далі обчислюється відстань з точністю до 0,01%. Мікрохвильові датчики рівня використовують високочастотні імпульси, які прямують по зонду у вигляді троса або стрижня та досягнувши поверхні води відбиваються від неї. Одержані ехо-сигнали з урахуванням часу проходження імпульсу перетворюють в сигнали, пропорційні значенню рівня води. На результати вимірювання не впливають значні наростання відкладень на зонді рівнеміра або стінці ємності, відомі такі датчики, наприклад, типу KSR-GT. Ємнісні датчики використовується для штучних водозбірників з металевими стінками на принципі вимірювання ємності, утвореної металевими стінками і чутливим елементом датчика. До чутливого елемента подається високочастотний синусоїдальний сигнал. Зміна рівня води контролюється шляхом вимірювання сили струму прикладеного сигналу при довжині чутливого елемента датчика до 50 метрів, відомі такі датчики серії EB фірми FineTek.

Блок 2 порогових рівнів забезпечує порівняння значення вхідного сигналу від датчика 1 рівня по амплітуді з пороговими і формування вихідного високого логічного рівня на одному з виходів при умові перевищення установлених порогових значень для кожного з трьох рівнів і може бути виконаний з використанням операційних підсилювачів. Перший вихід $U_2^1 = 1$ при досягненні нижнього рівня, при досягненні верхнього $U_2^2 = 1$ та аварійного рівнів $U_2^3 = 1$. Ланцюги та елементи для встановлення порогових рівнів не показано.

Логічні елементи 3-10, 19-22 мають загальне живлення, перші входи елементів I 5, I 7, I 8 підключені через ланцюги затримки, наприклад з використанням R та C елементів, що дозволяє виключити помилкові спрацьовування пристрою, ланцюги та елементи для цього не показано.

Блоки 11-14 контакторів мають вхідні електронні ключі, які забезпечують комутацію контакторів на замикання силових ланцюгів при подачі логічного високого рівня на треті входи блоків і можуть бути виконані на напівпровідникових елементах з гальванічною розв'язкою. Блоки 10-13 контакторів мають також на других входах вузли їх блокування (відключення) рівнем логічної одиниці після активації. Вузли блокування активуються після їх включення – подачі сигналу на треті входи блоків 11-14 і деактивуються при рівні логічного нуля або при відключенні живлення. Вузли блокування можуть бути виконані на електронних ключах з гальванічною розв'язкою та спрацьовують з затримкою при подачі логічного високого рівня на другі входи блоків 11-14. Вхідні електронні ключі та вузли блокування блоків 11-14 контакторів на фіг. не приведено.

Блоки 15-18 датчиків струму виконані на датчиках струму з ефектом Холла. Кожний блок має три датчики струму Холла – по кількості фаз. Напряга вихідних сигналів датчиків струму пропорційна струму електродвигуна. Як відомо, датчики струму Холла призначені для вимірювання постійного або змінного струмів з гальванічною розв'язкою між силовими ланцюгом і ланцюгом контролю. Конструкція включає в себе магнітопровід з зазором і компенсаційною обмоткою, датчик Холла та електронну плату обробки сигналів. Магніточутливий датчик Холла закріплений в зазорі магнітопровода і з'єднаний з входом електронного підсилювача. В вихідних ланцюгах кожного з датчиків струму – на другому, третьому, четвертому виходах для

коректної роботи елементів І-НЕ 19-22 встановлюють обмежувачі вихідних сигналів, які мають характеристики

$$U_{15-18}^i = 0 \text{ при } I_{23-26} \leq 0,5I_n$$

$$U_{15-18}^i = 1 \text{ при } I_{23-26} > 0,5I_n$$

U_{15-18}^i – значення сигналів на другому третьому та четвертому виходах блоків 15-18 датчиків струму,

I_{23-26} – фактичні значення струмів електродвигунів 23-26 при роботі насосів,

I_n – номінальні значення струмів електродвигунів 23-26 при роботі насосів

Ланцюги вихідні обмежувачів напруги, які можуть бути виконані з використанням стабілітронів, та елементи живлення датчиків струму Холла не показано.

Електродвигуни 23-26 механічно сполучені з насосами, відповідно, нижнього рівня, верхнього рівня, аварійного рівня та резервним, які на рис. 1 не показано.

Ідентифікація режиму „сухого ходу” визначається по зниженню значення робочих струмів електродвигунів 23-26 насосів з використанням блоків 15-18 датчиків струму та з контролем часу дії недовантаження по струму на період затримки спрацювання (блокування) блоків контакторів. Перший параметр з можливістю регулювання встановлюється на рівень недовантаження до 50% від номінального струму і налаштування виконуються в блоках 15-18 датчиків струму. Другий параметр вибирається в діапазоні до 10 секунд так, що б виключити помилкові спрацювання і одночасно забезпечити ефективність захисту від наслідків „сухого ходу”, з використанням блокування електроживлення одного з робочих електродвигунів насосів та підключення іншого. Такі налаштування виконуються в блоках 11-14 контакторів.

Блок живлення та елементи його підключення на кресленні не приведені.

Прийняті позначення U_n^i - амплітуда сигналу на і-му виході n-го блоку.

Працює пристрій наступним чином. Подається живлення на всі блоки та елементи, а також ланцюги живлення джерела Е1. У початковому стані при рівні води нижче нижнього рівня електродвигуни 23-26 насосів відключені від мережі живлення, три вихідні сигнали блоку 2 порогових рівнів дорівнюють нулю, так як на першому виході $U_2^1 = 0$, на другому виході $U_2^2 = 0$ та $U_2^3 = 0$.

При цьому три вихідні сигнали кожного з блоків 15-18 датчиків струму мають нульовий рівень і на виходах елементів І-НЕ 19-22 сигнали мають значення логічної одиниці, але це не призводить до включення реле блокування блоків 10-13 контакторів, так як, його ланцюги активуються при першому включенні блоків контакторів сигналами високого рівня по третім входах та деактивуються при відключенні всіх ланцюгів живлення. Рівень води нижче нижнього рівня, сигнал з датчика 1 рівня подається до блоку 2 порогових рівнів, на всіх трьох виходах якого сигнал має значення логічного нуля.

При підвищенні рівня води до нижнього рівня сигнал з датчика 1 рівня достатній для забезпечення на першому виході блоку 2 порогових рівнів значення логічної одиниці і цей сигнал подається на третій вхід першого блоку 11 контакторів та з затримкою на перший елемента І 5. В блоку 11 контактора контактор замикається і подається живлення на електродвигун 23 від джерела Е1, а також активується вузол блокування контактора. Електродвигун 23 включається та забезпечує роботу насоса нижнього рівня. До запуску електродвигунів 23-25 на другому вході елементів І 5, І 6, І 7 присутній рівень логічної одиниці від виходів елементів І-НЕ 19, 20, 21, а на їх виходах появляється рівень логічної одиниці з затримкою при зміні рівнів води, що не викликає випадкового включення відповідних блоків контакторів. На трьох інформаційних виходах блоку 15 датчиків струму, які мають характеристики

$$U_{15-18}^i = 0 \text{ при } I_{23-26} \leq 0,5I_n$$

$$U_{15-18}^i = 1 \text{ при } I_{23-26} > 0,5I_n$$

значення сигналів досягне рівнів логічної одиниці, а на виході елемента І-НЕ 19 встановиться рівень логічного нуля.

При підвищенні рівня води до верхнього рівня сигнал з датчика 1 рівня достатній для забезпечення на першому та другому виходах блоку 2 порогових рівнів значень логічної одиниці і ці сигнали подається на два входи елемента І 3, на виході якого стане рівень логічної одиниці і він подається через елемент АБО 8 на третій вхід блоку 12 контактора, в якому контактор замикається і подається живлення на електродвигун 24 від джерела Е1, а також активується вузол блокування контактора. Електродвигун 24 включається та забезпечує роботу насоса верхнього рівня. На трьох інформаційних виходах блоку 16 датчиків струму, значення сигналів досягне рівнів логічної одиниці, а на виході елемента 20 І-НЕ стане рівень логічного нуля.

При підвищенні рівня води до аварійного значення сигнал з датчика 1 рівня достатній для забезпечення на першому, другому та третьому виходах блоку 2 порогових рівнів значень логічної одиниці і ці сигнали подаються на три входи елемента І 4, на виході якого стане рівень логічної одиниці і він подається через елемент АБО 9 на третій вхід блоку 13 контактора, в якому контактор замикається і подається живлення на електродвигун 25 від джерела Е1, а також активується вузол блокування контактора. Електродвигун 25 забезпечує роботу насоса аварійного рівня. На трьох інформаційних виходах блоку 17 датчиків струму, значення сигналів досягне рівнів логічної одиниці, а на виході елемента І-НЕ 21 стане рівень логічного нуля.

Розглянемо ситуацію для випадку зменшення рівня води нижче аварійного рівня. Сигнал з датчика 1 рівня достатній тільки для забезпечення на першому та другому виходах блоку 2 порогових рівнів значень логічної одиниці, а на виході елемента І 4 стане рівень логічного нуля і він подається на перший вхід елемента АБО 9, на його другий вхід подається також рівень логічного нуля, так як, електродвигун 24 в робочому режимі, тому з виходу елемента АБО 9 подається рівень логічного нуля далі на третій вхід блоку 13 контакторів, в якому контактор розмикається, що приводить до відключення блоку 13 контактора, деактивації блокування, розмикання ланцюга живлення електродвигуна 25, який зупиняється. Значення сигналів на інформаційних виходах блоку 17 датчиків струму перейдуть в нульове значення, а на виході елемента І-НЕ 21 стане рівень логічної одиниці.

Розглянемо ситуацію для випадку зменшення рівня води нижче верхнього рівня. Сигнал з датчика 1 рівня достатній тільки для забезпечення на першому виході блоку 2 порогових рівнів значення логічної одиниці, на виході елемента І 3 стане рівень логічного нуля і він подається на перший вхід елемента АБО 8, а на його другий вхід подається також рівень логічного нуля, так як, електродвигун 23 в робочому режимі, тому з виходу елемента АБО 8 подається рівень логічного нуля далі на третій вхід блоку 12 контактора. В якому контактор розмикається, що приводить до відключення блоку 12 контактора, деактивації блокування, розмикання ланцюга живлення електродвигуна 24, який зупиняється. Значення сигналів на інформаційних виходах блоку 16 датчиків струму перейдуть в нульове значення, а на виході елемента І-НЕ 20 стане рівень логічної одиниці.

Розглянемо ситуацію для випадку зменшення рівня води нижче нижнього рівня. Сигнали на всіх виходах блока 2 порогових рівнів стануть логічними нулями, що приводить до відключення блоку 11 контактора, деактивації блокування, розмикання ланцюга живлення електродвигуна 23, який зупиняється. Значення сигналів на інформаційних виходах блоку 15 датчиків струму перейдуть в нульове значення, а на виході елемента І-НЕ 19 стане рівень логічної одиниці.

Розглянемо ситуацію роботи електродвигуна 23 насоса нижнього рівня для випадку переходу його в режим зменшення продуктивності. Струм навантаження електродвигуна 23 зменшується $I_{23} \leq 0,5I_n$ і значення сигналів на інформаційних виходах блоку 15 датчиків струму перейдуть в нульове значення, а на виході елемента І-НЕ 19 стане рівень логічної одиниці, який подається на другий вхід блоку 11

контактора та на другий вхід елемента І 5, а на перший його вхід подається рівень логічної одиниці з першого виходу блока 2 порогових рівнів. Це забезпечує блокування роботи блоку І1 контактора та відключення його контактора з затримкою, що викликає розмикання ланцюга живлення електродвигуна 23, який зупиняється. Рівень логічної одиниці з виходу елемента І 5 через елемент АБО 8 подається на третій вхід блоку І2 контактора, його контактор замикається і подається живлення на електродвигун 24 від джерела Е1, а також активується вузол блокування контактора. Електродвигун 24 насоса запускається. На трьох інформаційних виходах блоку І6 датчиків струму значення сигналів досягне рівнів логічної одиниці, а на виході елемента І-НЕ 20 стане рівень логічного нуля.

Порядок включення іншого двигуна при переході робочого насоса в режим „сухого ходу” при досягненні верхнього та аварійного рівнів аналогічно розглянутому вище. Електродвигун 26 включається в роботу при верхньому та аварійному рівнях води і зупинці електродвигунів 24 або 25.

Розглянемо ситуацію зменшення в ланцюгах живлення одного з електродвигунів струму навантаження в одній з обмоток. Це виникає при обриві фазної обмотки електродвигуна або збільшенні опору перехідного контакту контактора. При виникненні такої ситуації під час роботи, то струм в фазі однієї з обмоток дорівнює нулю, а в двох інших він значно підвищується. Електродвигун продовжує працювати в такому аварійному режимі. В цьому випадку необхідно вимкнути живлення для такого електродвигуна. Пристрій забезпечує відключення аварійного електродвигуна, так як, зменшується один з трьох вихідних інформаційних сигналів блоків І5-І8 датчиків струмів та зміни стану виходу відповідного елемента І-НЕ з нульового логічного рівня на високий, що приводить до відключення та блокування відповідного блоку контактора, розмикання ланцюга живлення електродвигуна, який зупиняється.

Пристрій забезпечує управління насосною установкою в процесі зміни рівня води з можливістю відключення одного або декількох електродвигунів насоса при переході їх в режим холостого ходу та підключенням іншого, що забезпечує зниження витрат електроенергії і підвищує надійність пристрою, забезпечує також можливість контролю обриву фази в ланцюгах живлення з використанням сигналів струмів в фазах електродвигунів, підвищує надійність насосної установки в цілому.

Пристрій забезпечує дистанційний метод вимірювання рівня води в водозбірнику в всьому діапазоні його глибини з одержанням аналогового сигналу, пропорційного значенню рівня води, що дозволяє просто адаптувати пристрій при можливих змінах в технології його роботи.

Джерела інформації

1. Груба В.И. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие / В.И Груба, Э.К. Никулин, А.С. Оголубченко. Под общей редакцией докт. техн. наук, проф. В.И. Грубы // Киев: ИСМО, 1998. – 373 с.

2. Дубовик В.Г. Пристрій керування насосною установкою/ В.Г Дубовик, Л.М Лебедев, Д.О Мішурняев Д.О. // Патент України на корисну модель №66712. МПК F04D 15/00. Бюлетень "Промислова власність", №1, 2012 р.

3. Дубовик В.Г. Пристрій керування насосною установкою./ В.Г Дубовик, Л.М Лебедев, А.А., Хотян, Г.І .Новиков // Заявка №u201704178 від 24.04.17 р на корисну модель. МПК F04D 15/00.

УДК 681.52

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Шумелянко В.В, студ., Майстренко Л.Ю., студ.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**УПРАВЛЕНИЕ ЗАЩИТОЙ НЕСКОЛЬКИХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ**

В статье показано, что защита группы асинхронных электродвигателей одинаковой мощности для привода машин потоковых технологических линий обеспечивается в аварийных ситуациях при обрыве фаз или нарушения порядка их чередования, затянутых пусках, технологических перегрузках и позволяет снизить затраты на оборудование.

Ключевые слова: электродвигатели, аварийные режимы, автоматическая защита.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Шумелянко В.В., студ., Майстренко Л.Ю., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**УПРАВЛІННЯ ЗАХИСТОМ ДЕКІЛЬКОХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ**

У статті показано, що захист групи асинхронних електродвигунів однакової потужності для приводу машин поточних технологічних ліній забезпечується в аварійних ситуаціях при обрывах фаз або порушеннях порядку їх чергування, затягнутих пусках, технологічних перевантаженнях та дозволяє знизити затрати на обладнання.

Ключові слова: електродвигуни, аварійні режими, автоматичний захист.

Dubovyk Volodymyr., Lebedev Lev, Shumelanko Volodymyr, stud., Maystrenko Luba, stud.

**MANAGEMENT DEFENCE OF A FEW ELECTRIC MOTORS
FROM MALFUNCTIONS**

It is shown in the article, that defence of group of asynchronous electric motors of identical power for the occasion of machines of production technological lines is provided in emergency situations: dug round phases or disturbing their duty, starting is tightened, technological overload and allows to reduce expenses on an equipment.

Keywords: electric motors, malfunctions, automatic defence.

Благодаря простоте конструкции, высокой надежности и низкой стоимости асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (далее АД) является наиболее распространенным. Свыше 85% всех электрических машин – это трехфазные асинхронные электродвигатели. АД обычно рассчитаны на срок службы более 15 лет без капитального ремонта при условии, когда их эксплуатация происходит в соответствии с номинальными параметрами. Однако, при их использовании имеют место значительные отклонения от номинальных режимов, что обусловлено низким качеством питающего напряжения, технологическими перегрузками, изменениями условий окружающей среды, снижением сопротивления изоляции, нарушением охлаждения [1]. Последствием таких отклонений являются аварийные режимы работы АД. В результате аварий ежегодно выходят из строя до 10% используемых

електродвигателей. Работа в аварийных режимах ведет к повышенному энергопотреблению из сети, увеличению значения реактивной мощности.

Нормативный срок службы электродвигателя определяется, в конечном счете, допустимой температурой нагрева его изоляции. В современных двигателях применяется несколько классов изоляции, допустимая температура нагрева которых составляет для класса А – 105°C, Е – 120°C, В – 130°C, F – 155°C, Н – 180°C, С - свыше 180°C. Превышение допустимой температуры ведет к преждевременному разрушению изоляции и существенному сокращению срока службы электродвигателя [2].

Многолетний опыт эксплуатации АД показал, что большинство существующих защит не обеспечивают безаварийную работу АД. Так, например, тепловые реле рассчитывают на длительную перегрузку 25-30% от номинальной, но, чаще всего, они срабатывают при обрыве одной фазы при нагрузке 60% от номинальной. При меньшей нагрузке реле не срабатывает и АД продолжает работать на двух фазах, что вызывает перегрев изоляции обмоток. Правильный выбор защитного устройства – это важный фактор в обеспечении безопасной эксплуатации АД.

Общие недостатки традиционных защитных устройств:

- *неоправданная избирательность срабатывания, не поддающаяся корректировке - срабатывание при допустимых рабочих режимах и несрабатывание при аварийных режимах;*
- *отсутствие отстройки от процесса пуска - пусковые токи превышают номинальные в 5-10 раз и необходимо увеличивать время реакции реле, что снижает эффективность функции защиты;*
- *невозможность отключения заторможенного ротора за определенное минимальное время;*
- *отсутствие сигнала о начале перегрузки;*
- *несогласованность токо-временной характеристики с перегрузочной кривой двигателя;*
- *неспособность точного определения критического тепла, накопленного двигателем.*

Одно из важнейших требований к устройствам защиты двигателей – адекватное ее действие при аварийных и ненормальных режимах работы, вместе с тем, недопустимость ложных срабатываний. Поэтому аппараты защиты должны быть правильно выбраны и тщательно отрегулированы.

Известно устройство автоматической защиты группы электродвигателей от аномальных режимов работы, содержащее блоки включения-отключения электродвигателей, блоки световой, звуковой сигнализации и цифровой индикации, блок питания, контролирующие полуккомплекты, каждый полуккомплект содержит первичный измерительный преобразователь температуры, блок усиления, блок сравнения напряжения, поступающего с преобразователя температуры и стабилизатор напряжения преобразователя, а также содержит для каждого контролирующего полуккомплекта блок первичных преобразователей тока [3].

Известно другое устройство защиты асинхронного электродвигателя от перегрузок и обрыва фазы, содержащее блок питания, блок датчиков тока с датчиками, соединенными по схеме "звезда", нулевая точка которой соединена с "общим" проводником устройства, блок контроля времени пуска и тока, последовательно соединенные блок контроля наличия напряжения и порядка чередования фаз, блок независимой выдержки времени, ключевой элемент в цепи питания катушки пускателя электродвигателя [4].

Недостатками приведенных устройств являются недостаточные функциональные возможности, связанные с отсутствием элементов для защиты группы асинхронных электродвигателей одинаковой мощности в аварийных ситуациях.

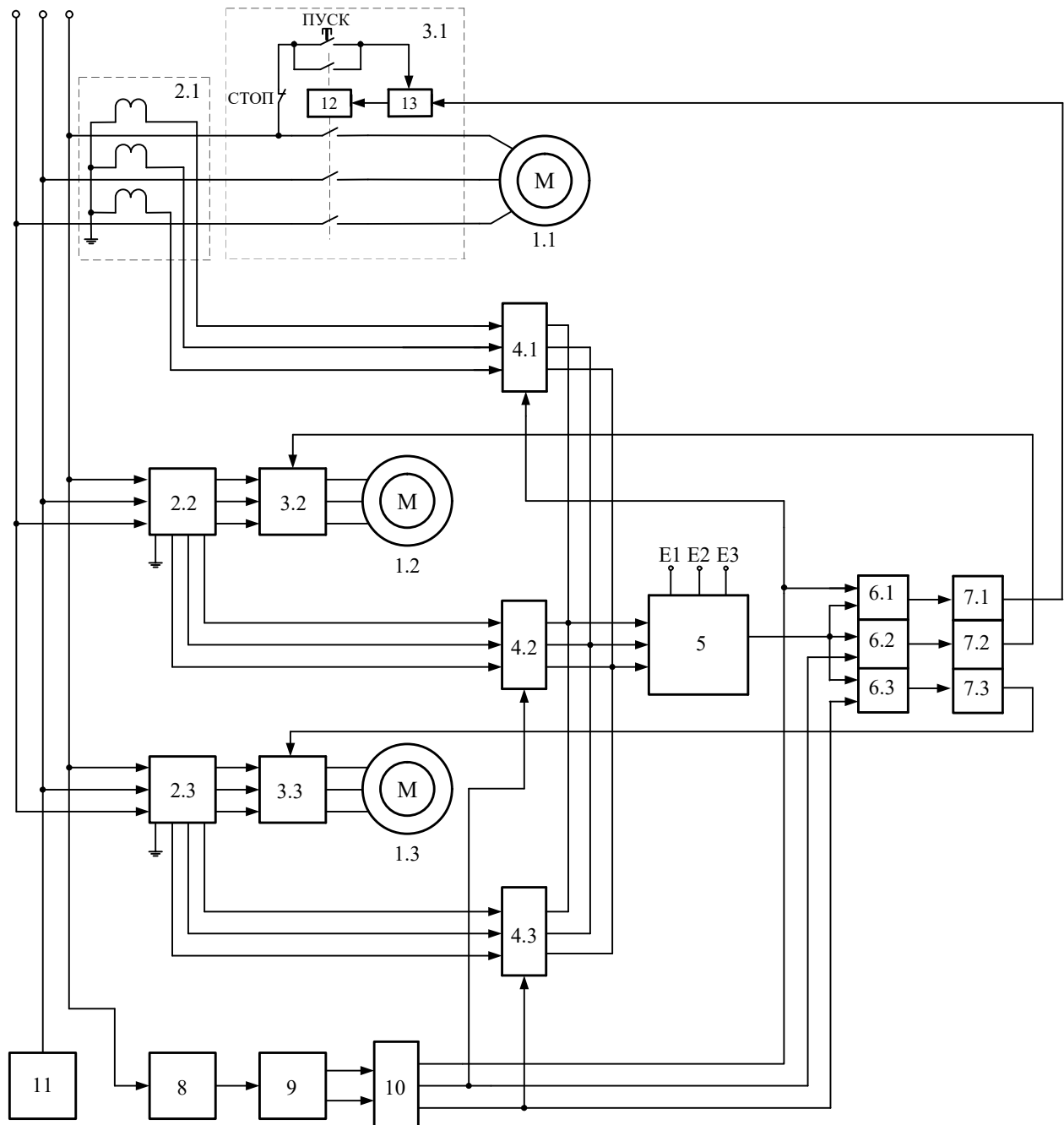


Рисунок 1 - Функциональная схема устройства защиты группы асинхронных электродвигателей

Усовершенствование известных устройств защиты, путем введения дополнительных элементов, блоков и новых функциональных связей между ними позволило создать устройство защиты группы электродвигателей, которое обеспечивает повышения надежности, расширяет функциональные возможности и имеет более низкую себестоимость. Применяется для электродвигателей одинаковой мощности привода машин технологических линий при возникновении аварийных ситуаций: обрыв или нарушения порядка чередования фаз, затянутый пуск, технологическая перегрузка.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства защиты группы асинхронных электродвигателей, на примере подключения трех асинхронных электродвигателей, а на рис. 2 - структурная схема блока защиты [5].

Устройство защиты группы асинхронных электродвигателей 1.1..1.3 состоит из

блоков 2.1..2.3 датчиков тока с датчиками, соединенными по схеме "звезда", нулевая точка которых соединена с "общим" проводником устройства. Для включения и отключения электродвигателей 1.1..1.3 используются блоки 3.1..3.3 управления.

Блоки 2.1..2.3 датчиков тока выходами подключены ко второму, третьему, четвертому входам ключей аналоговых трехканальных 4.1..4.3, каждый из трех выходов которых объединены между собой и подключены, соответственно, к трем входам блока 5 защиты, выход которого соединен со вторыми входами ключей одноканальных 6.1..6.3, выходы которых через блоки 7.1..7.3 независимой выдержки времени соединены с входами блоков 3.1..3.3 управления электродвигателями 1.1..1.3.

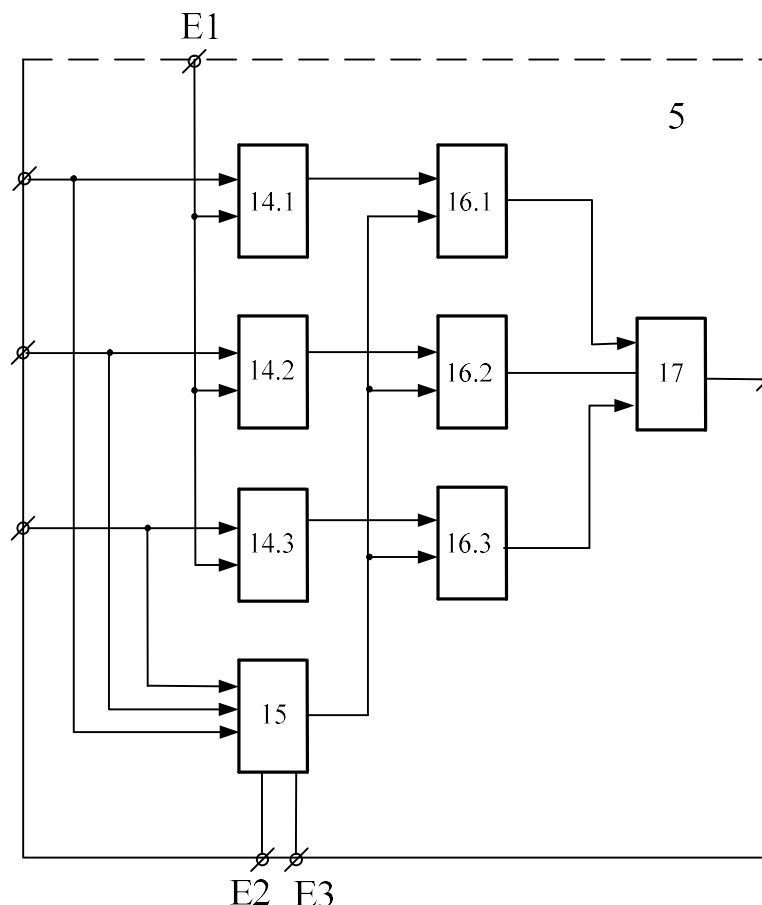


Рисунок 2 - Структурная схема блока защиты

Формирователь импульсов 8 через счетчик 9 двоичный подключен к демультиплектору 10, три выхода которого соединены с первыми входами ключей одноканальных 6.1..6.3 и с первыми входами ключей аналоговых трехканальных 4.1..4.3. Количество n выходов счетчика двоичного 9 принимается в зависимости от числа M электродвигателей по выражению $M = 2^n$.

Питания узлов устройства выполняется с использованием блока 11 питания, подключенного к одной из фаз цепей питания. Блоки 3.1..3.3 управления, включают кнопки управления ПУСК и СТОП, катушки 12 электромагнитных пускателей, соединенных с выходами ключевых элементов 13, которые подключены входами ко входу блока 5 защиты, а вторые входы ключевых элементов 13 соединены с цепями управления электродвигателями 1.1..1.3. Третий, четвертый и пятый входы блока 5 защиты соединены, соответственно с первым, вторым и третьим источниками постоянного входного воздействия.

Блок 5 защиты, рис. 2, тремя входами соединен со входами трех пороговых

элементов 14.1...14.3, подключенных вторым входом к четвертому входу блока 5 и источнику E1 постоянного входного воздействия, соединенный также с тремя входами блока 15 контроля тока и времени пуска, четвертый вход которого является пятым входом блока 5 и подключен ко второму источнику E2, шестой вход блока 5 подключен к третьему источнику E3 постоянного входного воздействия. Выход блока 15 контроля тока и времени пуска соединен со вторыми входами трех элементов 16.1..16.3 И-НЕ, первые входы которых соединены с выходами трех пороговых элементов 14.1..14.3, а выходы - с тремя входами блока 17 контроля наличия напряжения и порядка чередования фаз, выход которого подключен к выходу блока 5 [4].

Формирователь импульсов 8 может быть реализован на основе порогового элемента и узла с гальванической развязкой.

Двоичный 9 счетчик может быть построен для одного разряда с использованием Т-триггера на основе универсального D триггера с обратной связью. Для обеспечения необходимого количества разрядов используются последовательные цепочки триггеров, имеющие максимальное число переключений, кратное степени два. Количество переключений М с различными двоичными числами для такого счетчика зависит от количества n разрядов. $M = 2^n$ - последовательность двоичных чисел.

Примером такого счетчика является микросхема 555ИЕ5. Четырнадцатиразрядный счетчик-делитель реализован в микросхеме 561ИЕ16 или CD4020А.

Демультимплексор 10 обеспечивает передачу сигналов с одного информационного входа на тот информационный выход, который зависит от кода на его адресных шинах. Число выходов М связаны с числом адресных входов n соотношением $M = 2^n$ для двоичных демультимплексор. В устройстве демультимплексор 10 работает как дешифратор, так как, на его информационном входе постоянно поддерживается логическая единица, которая передается на тот выход, номер которого задан на адресном входе, а число выходов М равно возможному числу электродвигателей. Например, микросхема КМ155ИД4 является вдвоенным дешифратором-демультимплексором с двумя адресными входами на четыре информационных выхода, а микросхема КР1533ИД3 - дешифратор-демультимплексор для четырех адресных входов с шестнадцатью информационными выходами.

Ключи аналоговые трехканальные 4.1..4.3 соединены с выходами демультимплексора 10 и могут быть выполнены на электронных ключах-коммутаторах и обеспечивают передачу входных сигналов любой формы на выходы при значениях логической единицы на входах управления.

Принятые обозначения U_n^i - напряжение на i-м выходе n-го блока.

Работает устройство следующим образом. После подачи напряжения в цепи питания электродвигателей 1.1..1.3, на блок питания 11 и формирователь импульсов 8 нажимается кнопка ПУСК, например, цепи управления электродвигателя 1.1, напряжение подается через размыкающий контакт кнопки СТОП, ключевой элемент 13 на катушку 12 пускателя электродвигателя 1.1. Силовые контакты пускателя подключают статор электродвигателя 1.1 к сети, замыкающий блок-контакт пускателя ставит кнопку ПУСК на блокировку. Рабочий режим пускателя обеспечивается при нулевом выходном логическом уровне блока 5, который передается через ключ 6.1 одноканальный, на блок 7.1 независимой выдержки времени, и с его выхода единичный логический уровень подается на ключевой элемент 13. При этом размыкающий контакт кнопки СТОП замкнут. Электродвигатель 1.1 запускается и по статору начинает протекать ток. Сигналы датчиков тока блока 2.1 импульсные по форме поступают через ключ аналоговый трехканальный 4.1 на входы блока 5 защиты и далее на пороговые элементы 14.1..14.3 элементы 16.1..16.3 И-НЕ на блок 17 контроля наличия напряжения и порядка чередования фаз, а также в блок 15 контроля тока и времени пуска.

Если амплитуда импульсов тока каждой из фаз превышает значение порога срабатывания пороговых элементов 14.1...14.3, имеющих характеристику

$$U_{14.1} = \begin{cases} 1 & \text{при } U_2 > E_1; \\ 0 & \text{при } U_2 < E_1, \end{cases}$$

то импульсы подаются на входы элементов I-HE 16.1..16.3. На их первые входы поступает сигнал логической единицы с выхода блока 15 контроля тока и времени пуска, что позволяет прохождения сигналов на блок 17 контроля наличия напряжения и порядка чередования фаз, логическая схема которого контролирует наличие импульсов на выходе каждого порогового элемента 16.1..16.3 и порядок их следования. При нормальном рабочем режиме на выходе блока 17 сигнал равен логическому нулю $U_{17} = 0$, а на выходе блока 7.1 независимой выдержки времени $U_{7.1} = 1$. При снижении тока в одной из фаз ниже порогового уровня или при изменении порядка следования фаз и, соответственно, порядка следования импульсов на входах элементов 14.1..14.3 на выходе блока 17 сигнал становится равным логической единице $U_{17} = 1$, он передается через ключ одноканальный 6.1 на блок 7.1 независимой выдержки времени, который выдает сигнал $U_{7.1} = 0$ с выдержкой времени $t \leq 5$ сек, далее переключается ключевой элемент 13 и снимается питания катушки 12 пускателя. При этом силовые контакты и замыкающий блок-контакт пускателя 12 размыкаются, напряжение с электродвигателя 1.1 снимается и он останавливается. Блоки независимой выдержки времени 7.1..7.3 позволяют устанавливать и другую необходимую выдержку времени.

Количество выходов демультиплексора 10 равна числу электродвигателей и предопределяет время замкнутого состояния ключей аналоговых трехканальный 4.1..4.3 и ключей одноканальных 6.1..6.3 с учетом частоты 50 Гц на выходе формирователя импульсов 8. При двух разрядах ($n = 2$) на выходе счетчика 9 двоичного количество выходов демультиплексора 10 максимально равно четырем. При этом время замкнутого состояния ключей аналоговых трехканальный 4.1..4.3 и ключей одноканальных 6.1..6.3 составляет четыре периода сетевого напряжения, что равна 0,08 сек.

На рис. 1 приведены две линии связи между счетчиком двоичным 9 и демультиплексором 10. При этом возможно подключение до четырех электродвигателей в группе. При увеличении их количества до M число соединений n - линий между счетчиком 9 двоичным и демультиплексором 10 определяется соотношением $M = 2^n$.

При затынутом пуске время разгона электродвигателя 1.1 превышает выдержку времени, которая устанавливается с помощью источника E_3 и на выходе блока 15 появляются импульсы низкого уровня от трех фаз, которые подаются на блок 17 и далее на выход блока 5, что приводит к переключению уровня сигнала на его выходе с нулевого в высокий, а на выходе блока 7.1 - с высокого в низкий, что вызывает размыкание ключевого элемента 13, далее отключается питание катушки пускателя 12 и электродвигатель 1.1 останавливается. При нормальных режимах пуска электродвигателя 1.1 на выходе блока 15 устанавливается уровень логической единицы и не изменяется работа блока 17 контроля наличия напряжения и направления чередования фаз.

При перегрузке, как и при затынутом пуске, когда значение $U_2 > E_2$ сигналы блока 15 имеют вид последовательностей импульсов с частотой 150 Гц при симметричных токах в фазах электродвигателя 1.1 частотой 50 Гц, а при перегрузке в одной или двух фазах -100 Гц. Происходит нарушение очередности прохождения сигналов от элементов 16.1..16.3 на блок 17, что вызывает переключение уровня сигнала на выходе блока 17 из нулевого в высокий и это приводит к отключению электродвигателя 1.1, аналогично приведенному ранее.

Синхронизация работы устройства обеспечивается формирователем импульсов 8 при подключении его к любой из фаз питания.

Для использования устройства в широком диапазоне мощностей электродвигателей используются источники постоянного входного действия, что позволяет проводить настройку режимов устройства на потребляемую мощность группы электродвигателей по значениям рабочего тока с помощью источника E1, максимального допустимого тока электродвигателей - E2, допустимого времени разгона - E3.

Литературные источники

1. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначенності.
2. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. - М.: Колос, 1979.
3. Патент Украины № 34858. Нестерчук Д.М., Квитка С. А. Устройство автоматической защиты группы электродвигателей от аномальных режимов работы. Н02 Н07/09. Бюл. № 16. 26.08 08.
4. Патент України на корисну модель №28445. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна від перевантаження та обриву фази. Н02Н 7/09. Бюл. №20. 10.12.2007.
5. Патент України на корисну модель №63308. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Алексеенко М.С. Пристрій захисту групи асинхронних електродвигунів. МПК Н02Н 7/09. Бюл. №19. 10.10.2011.

УДК 681.51

Л. Нгуен, магистр (НТУУ «КПИ»), **А.Н. Шарый**, магистр (НТУУ «КПИ»), **И.Н. Шарый**, магистр (НТУУ «КПИ»), **А.В. Чермалых**, доцент (НТУУ «КПИ»)

ВНЕДРЕНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРОФИЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМИ ИНЖЕНЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ «УМНОГО ДОМА»

Рассмотрен подход к решению задачи управления элементами «умного дома», используя пользовательские профили управления основными инженерными системами. Пользовательская система профилей позволила обеспечить принятие компромиссных решений в управлении элементами умного дома, учитывая приоритеты профилей и ограничения.

Ключевые слова: умный дом; пользователь; профиль; система управления; безопасность.

L. Nguen, student (NTUU "KPI"), **A. Sharyi**, student (NTUU "KPI"), **I. Sharyi**, student (NTUU "KPI") **A. Chermalyh**, associate professor (NTUU "KPI")

IMPLEMENTATION OF USER MANAGEMENT PROFILES IN MAIN ENGINEERING SYSTEMS OF «SMART HOME»

The approach to the solution of the task of controlling the elements of the "smart house" is considered, using the user profiles for managing the basic engineering systems. The user profile system made it possible to ensure the adoption of compromise solutions in the management of smart home elements, taking into account the profile priorities and limitations.

Keywords: smart home; user; profile; control system; security.

ВВЕДЕНИЕ. История умного дома началась еще в XIX столетии при создании

первых систем жизнеобеспечения. Все существующие на сегодняшний день технологии основываются на разработках, которые были созданы на рубеже XX столетия. Эти технологии медленно видоизменялись по мере продвижения вперед технического прогресса. Оснащение дома необходимым техническим оборудованием привело к современному виду жилого дома: кухня со встроенным оборудованием, включая газовую или электрическую плиту и холодильник, ванная и туалет с современной сантехникой и т.д. Дальнейшее усовершенствование домашнего оборудования привело к внедрению в обиход телефона, радио и телевидения. Этот процесс протекал одновременно с созданием проектов будущего жилья с принципиальной переменной представления о нем [1].

При этом основной акцент делается на интерактивность. Эта интерактивная система состоит на данный момент из нескольких различных сетей, таких как электросеть, телефонная и телевизионная сети. На данный момент происходит процесс объединения сетей, создается оптимальный интерфейс между сетью и окончательным устройством и, главное, интерфейс между человеком и машиной в виде графического пользовательского интерфейса, сенсорного экрана или просто идентификации голоса или жеста.

АКТУАЛЬНОСТЬ. Умный дом это жилой дом современного типа, организованный для проживания людей при помощи автоматизации и высокотехнологичных устройств. Под «умным» домом следует понимать систему, которая обеспечивает безопасность, комфорт и ресурсосбережение для всех пользователей. По первоначальной задумке «Умный дом» не предполагает реализацию интеллектуального управления окружением. Система управляется по профилям с приоритетами или в ручном режиме, но с развитием систем искусственного интеллекта и расширением функциональных возможностей оборудования. Именно «интеллектуальное» управление окружением становится вполне реализуемым и даже желательным, при котором система «умный дом» это «мыслящее здание», самостоятельно принимающее решения в изменяющихся обстоятельствах [2]. Поэтому создание пользовательских профилей управления основными инженерными системами умного дома, которые обеспечивают компромисс между комфортом и безопасностью пользователей в системе является актуальной задачей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью работы является повышение качества управления основными инженерными системами умного дома с помощью внедрения в систему управления дополнительных пользовательских профилей, имеющих индивидуальные критерии и ограничения, которые позволяют повысить уровень комфорта и безопасность пользователей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Существующий традиционный подход к проектированию «умного дома» базируется на профильном управлении [3-4]. Под профилем в работе будем понимать набор индивидуальных настроек, определяющий в каких пределах поддерживать те или иные параметры, в зависимости от статуса (имеющий профиль или не имеющий его, принадлежащий уязвимым категориям или нет).

Первоначально создается несколько профилей под каждого пользователя, определяющие в каких пределах поддерживать те или иные параметры. В процессе эксплуатации каждый пользователь такой системы вынужден вручную перенастраивать свой профиль или довольствоваться параметрами микроклимата доминирующего профиля. Пока в отдельно взятой комнате находится один человек или нет уязвимых категорий людей, такое управление оправдывает себя. Но оно не делает систему гибкой, когда в присутствии нескольких человек необходимо искать компромисс

между комфортом и безопасностью.

Учесть все возможные ситуации методом простых профилей невозможно. Нам придется постоянно подстраивать и перестраивать такую систему каждый раз под каждую конкретную ситуацию. Для решения поставленной задачи необходимо, чтобы система была гибкой и в присутствии нескольких человек могла искать компромисс между комфортом и безопасностью.

Рассмотрим модель предпочтений пользователя в системе «умный дом». Эта модель включает в себя категории людей, имеющих ограничения по определенным факторам воздействия на них, а также включает приоритет профилей.

Все категории пользователей делятся на легитимные и нелегитимные (рис. 1). К легитимным относятся жильцы дома, а к нелегитимным гости. У легитимных пользователей в системе УД имеются личные настройки (профили). А нелегитимные пользователи делятся на классы и у них обобщенные настройки. Пользователь настраивает свои предпочтения, и система под него адаптируется.

Следовательно, в конкретной ситуации – профиль должен автоматически определяться в процессе определения некоторого количества людей и качества в комнате [5]. Поэтому мы говорим не просто о компромиссном, а динамическом синтезе настроек профиля.

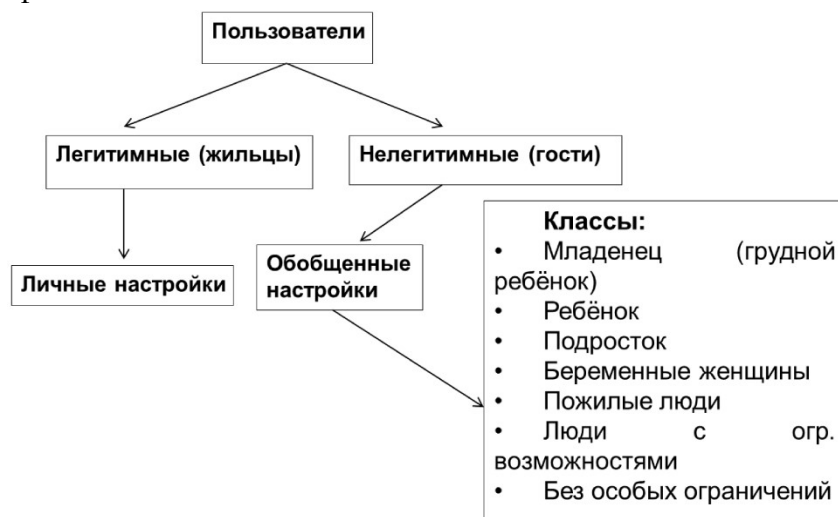


Рисунок 1 – Классы пользователей

Для того чтобы посмотреть каким образом система должна реагировать на общие уязвимые категории пользователей, сформируем режим работы основных инженерных систем умного дома с учетом показателей ограничений, прописанных в профилях для разных типов людей.

Основной режим системы может измениться путем включения следующих доминантных факторов: отключение всех видов электроприборов если младенец находится рядом; отключение розеток; отключение приборов высокой опасности; температура 20-22 °С; обеспечить отсутствие сквозняков, закрыть окна; приточная вентиляция с подогревом; ограничить громкость звука до 40дБ; обеспечить специальным освещением.

Исходные данные профиля каждого человека представлены в таблице 1:

Таблица 1

Настройки профиля

Факторы	Тип людей							
	Младенец	Ребенок	Подросток	Взрослый	Беременная ж.	Пожилые люди	Чел. с орг. возм.	Больной
Отключение всех видов электроприборов, если младенец находится рядом	0	Н	1	1	1	1	1	1
Отключение розеток	0	0	1	1	1	1	1	1
Отключение приборов высокой опасности	0	0	0	1	1	1	0	1
Температура 20-22 °С	0	0	0	Н	0	0	0	0
Обеспечить отсутствие сквозняков, закрыть окна.	0	0	Н	Н	Н	0	0	0
Приточная вентиляция с подогревом	0	0	Н	Н	Н	0	0	0
Ограничить громкость звука до 40дБ	0	1	1	1	0	1	1	1
Обеспечить специальным освещением	0	Н	Н	Н	Н	0	0	0

Индекс	Описание
0	фактор включен в профиль
1	ненужный фактор в профиле
Н	нейтральная важность фактора

Рассмотрим пример, когда в помещении находятся 3 человека: подросток, беременная женщина, пожилой человек (таблица 2). Рассчитаем степень удовлетворенности каждого человека с учетом всех факторов.

Таблица 2

Исходные данные примера 1

Факторы	Тип людей		
	Подросток	Беременная ж.	Пожилые люди
Отключение всех видов электроприборов, если младенец находится рядом	1	1	1
Отключение розеток	1	1	1
Отключение приборов высокой опасности	0	1	1
Температура 20-22 °С	0	0	0
Обеспечить отсутствие сквозняков, закрыть окна.	Н	Н	0
Приточная вентиляция с подогревом	Н	Н	0
Ограничить громкость звука до 40дБ	1	0	1
Обеспечить специальным освещением	Н	Н	0

1) Найдем величину удовлетворенности одного фактора t :

$$t = \frac{100}{K}, \%$$

где K – общее количество доминантных фактов в комнате

2) Найдем удовлетворенность f_{ij} каждого человека по каждому фактору в соответствии с условием:

- f_{ij} , где i – номер фактора, j – тип человека;

- если индексы в строке одинаковы, не учитывая нейтральный, то удовлетворенность каждого человека по этому фактору равна величине t %;

- если есть разные индексы, то удовлетворенность человека с индексом 0, $H = t$ %, а с индексом 1=0 %.

3) Величина удовлетворенности людей в помещении будет рассчитываться по формуле:

$$F_j = \sum_{i=1}^K f_{ij}$$

Рассчитаем величину удовлетворенности в этом примере:

Таблица 3

Расчетная величина удовлетворенности в примере 1

Факторы i	Тип людей j		
	1	2	3
1	12,5	12,5	12,5
2	12,5	12,5	12,5
3	12,5	0	0
4	12,5	12,5	12,5
5	12,5	12,5	12,5
6	12,5	12,5	12,5
7	0	12,5	0
8	12,5	12,5	12,5

$$t = \frac{100}{8} = 12,5\%$$

$f_{11}=12,5\%$; $f_{21}=12,5\%$; $f_{31}=12,5\%$; $f_{41}=12,5\%$; $f_{51}=12,5\%$; $f_{61}=12,5\%$; $f_{71}=0\%$; $f_{81}=12,5\%$;

$$F_1 = f_{11} + f_{21} + f_{31} + f_{41} + f_{51} + f_{61} + f_{71} + f_{81} = 87,5\%$$

Аналогичным способом получим величину удовлетворенности оставшихся людей:

$$F_2 = 87,5\%;$$

$$F_3 = 75\%;$$

Построим график удовлетворенности (рис. 2) сформированного режима работы инженерных систем с учетом ограничений, прописанных в профилях для разных типов людей.

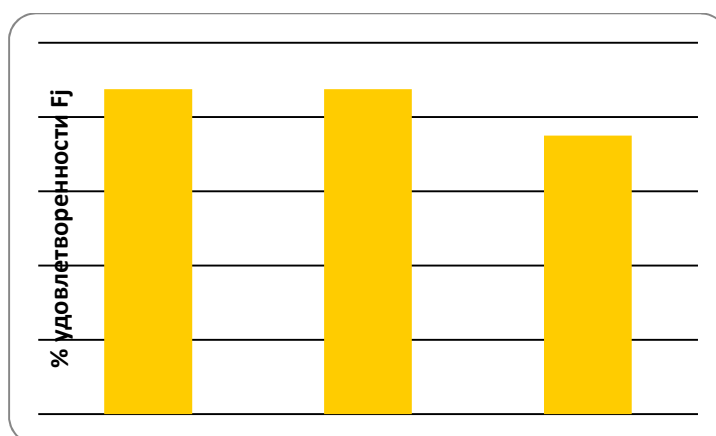


Рисунок 2 – Удовлетворенность трёх пользователей в комнате с учетом настроек их профилей

Рассмотрим второй случай, когда в комнате одновременно находятся пять человек.

Таблица 4

Исходные данные примера 2

Факторы	Тип людей				
	Ребенок	Подросток	Взрослый	Беременная ж.	Больной
Отключение всех видов электроприборов если младенец находится рядом	Н	1	1	1	1
Отключение розеток	0	1	1	1	1
Отключение приборов высокой опасности	0	0	1	1	1
Температура 20-22 °С	0	0	Н	0	0
Обеспечить отсутствие сквозняков, закрыть окна.	0	Н	Н	Н	0
Приточная вентиляция с подогревом	0	Н	Н	Н	0
Ограничить громкость звука до 40дБ	1	1	1	0	1
Обеспечить специальным освещением	Н	Н	Н	Н	0

Таблица 5

Расчетная величина удовлетворенности в примере 2

Факторы <i>i</i>	Тип людей <i>j</i>				
	1	2	3	4	5
1	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
2	12,5	0	0	0	0
3	12,5	12,5	0	0	0
4	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
7	0	0	0	12,5	0
8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5

$$t = \frac{100}{8} = 12,5\%$$

$$F_1 = 87,5\% ;$$

$$F_2 = 75\% ;$$

$$F_3 = 62,5\% ;$$

$$F_4 = 75\% ;$$

$$F_5 = 62,5\%$$

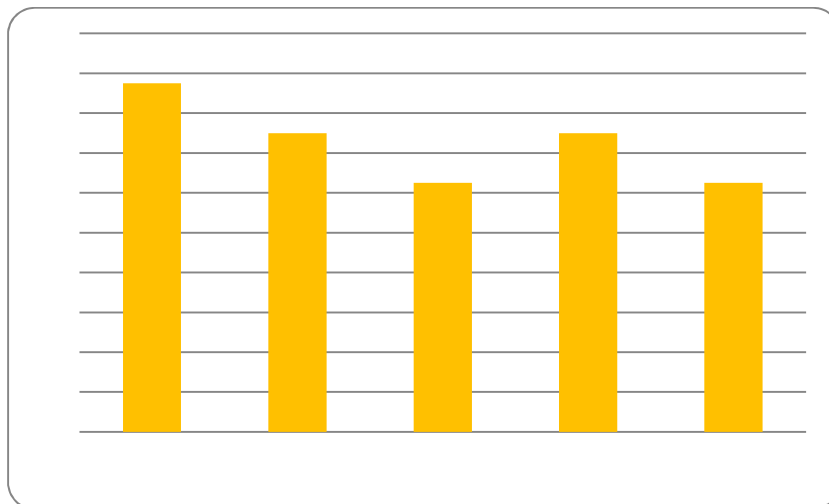


Рисунок 3 – Удовлетворенность пяти пользователей в комнате с учетом настроек их профилей

ВЫВОД. Используя результаты расчетов, мы можем рассмотреть влияние различных профилей пользователей на формирующийся режим работы основных инженерных систем умного дома.

Рассмотрев два примера, можно сказать, что удовлетворительность людей, находящихся в комнате, зависит от типа людей и их количества, так как учитываются факторы определяющие комфорт и безопасность отдельно для каждого.

Опираясь на вышеизложенный материал, стало возможным создание интеллектуальной системы управления «умного дома», способной реагировать и принимать адекватные решения в условиях неопределенного стечения обстоятельств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева, М.О. Динамический синтез профиля работы системы «Умный дом» / М.О. Яковлева // Перспективные методы и средства интеллектуальных систем // Материалы всероссийского научно-практического семинара и школы молодых ученых. – Новосибирск: НГТУ, 2015. – С. 48-49.
2. Яковлева, М.О. Методическое и алгоритмическое обеспечение интеллектуальной системы управления в технологии «умный дом» / М.О. Яковлева, В.А. Углев // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта: Материалы Международной конференции. – Днепропетровск: НГУ, 2016 (в печати).
3. Элсенпитер, Т. Р. Умный дом строим сами : пер. с англ. / Т. Р. Элсенпитер, Дж. Велт.– М.: КУДИЦ – ОБРАЗ, 2005.-384 с.
4. Углев, В.А. Автоматизация на базе концепции «Умный дом»: проблемы интеллектуализации / В.А. Углев // Робототехника и искусственный интеллект: Материалы III международной научной конференции– Красноярск: Центр информации, 2012. – С. 40-44.
5. Тесля, Е.А. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире: учеб. пособие / Е.А.Тесля – СПб.: Питер, 2008. – 224с.

УДК 620.91

І.В. Яковчук, магістр, **І.М. Шарий**, магістр (КПІ ім. Ігоря Сікорського),
В.П. Розен, проф.

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРАВИЛ РАНЖУВАННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ВПЛИВУ НА РІВЕНЬ ЇХ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

I.V. Yakovchuk, I.M. Sharyi, V.P. Rosen (National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute")

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS USING THE RULES FOR INDICES RANGING IMPACT ON THE LEVEL OF ENERGY USE

У роботі розглянуто механізм виявлення кращих зразків енергоефективності, який спирається на методи ранжування і забезпечує достовірність управлінських дій спрямованих на підвищення рівня енергоефективності системи енергоспоживання в навчальних корпусах. Задачу підвищення енергоефективності запропоновано розглядати з позицій енергетичного бенчмаркінгу, який об'єднує задачі моніторингу, знаходження кращих і гірших аспектів системи, планування дій до підвищення ефективності енергозбереження та можливості їх застосування.

Ключові слова: бенчмаркінг; енергоефективність; ранжування; моніторинг; класифікація.

В работе рассмотрен механизм выявления лучших энергоэффективных объектов, который опирается на методы ранжирования и обеспечивает достоверность управленческих действий, направленных на повышение уровня энергоэффективности системы энергопотребления в учебных корпусах. Задачу повышения энергоэффективности предложено рассматривать с позиций энергетического бенчмаркинга, который объединяет задачи мониторинга, нахождения лучших и худших аспектов системы, планирование действий к повышению эффективности энергосбережения и возможности их применения.

Ключевые слова: бенчмаркинг; энергоэффективность; ранжирование; мониторинг; классификация.

This article examines a mechanism for identifying best examples of energy efficiency, based on ranking methods and ensures the reliability of management actions aimed at increasing energy efficiency of the power consumption system in educational buildings. The problem of energy efficiency offered to consider from the position of energy benchmarking that combines monitoring tasks, finding the best and worst aspects of planning actions to improve the efficiency of energy conservation and the possibility of their use.

Keywords: benchmarking; energy efficiency; ranking; monitoring; classification.

Вступ. Однією з актуальних проблем для України є підвищення рівня енергоефективності шляхом застосування нових підходів та методів для її оцінки і, як наслідок, зниження енерговитрат в промисловості та житлово - комунальному господарстві [1]. В даний час, для оцінки реального стану енергозбереження на об'єктах існує цілий ряд різних за характером методів, механізмів і практичних заходів. Одним з таких досить нових управлінських механізмів є використання методології бенчмаркінгу

енергоефективності. Бенчмаркінг в рівній мірі включає два процеси: оцінювання і співставлення. Мета бенчмаркінгу полягає в тому, щоб на основі дослідження встановити потребу в змінах і досягнення успіху в результаті цих змін. Маючи в розпорядженні такий механізм, можна підвищити рівень адекватності планування споживання енергетичних ресурсів і обґрунтувати вибір об'єктів, по впровадженню заходів з енергозбереження. Для оцінки рівня ефективності використання енергетичних ресурсів за еталон, як правило, приймають "кращу" продукцію або технологічний процес, на які витрачається менше сировини і енергії, споживаної на аналогічних підприємствах в інших галузях. Тому, бенчмаркінг енергоефективності можна розглядати як один із напрямів стратегічно орієнтованих досліджень в галузі енергоефективності.

Аналіз стану питання. Україна належить до енергодефіцитних країн, яка задовольняє свої паливно - енергетичні потреби за рахунок власних ресурсів менш ніж на 50% [2]. Енергоемність валового внутрішнього продукту в Україні нині більш ніж удвічі вища енергоемності такого продукту промислово розвинених країн і продовжує зростати. Тому стратегічною лінією державної політики розвитку економіки та соціальної сфери стає підвищення енергозбереження, що дає високу економічну ефективність.

Серед принципів забезпечення енергоефективності поряд із впровадженням порівняльного аналізу (або бенчмаркінгу) відзначимо такі: виявлення ключових аспектів забезпечення енергоефективності та можливостей енергозбереження; послідовне вдосконалення енергоефективності (поетапне досягнення кращих показників); розробка та впровадження методів вдосконалення енергоефективності [3].

Ця політика реалізується шляхом розроблення нових енергозберігаючих, маловідходних та безвідходних технологій, ефективних систем та засобів контролю за енергоспоживанням та захисту довкілля від забруднення, організації інтегрованого енергетичного та економічного менеджменту.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення рівня якості оцінювання енергоефективності навчальних корпусів за рахунок виявлення кращих стратегій управління і моніторингу енергоефективністю.

Результати досліджень. Однією з основних складових підвищення рівня оцінювання енергоефективності в навчальних корпусах є здійснення дій щодо використання та впровадження адекватного оцінювання рівня їх енерговикористання та стану енергозбереження [4], [5]. Для цього потрібно застосовувати такий механізм оцінювання який би дозволив здійснювати оцінювання та аналіз різнопараметричних показників які мають неоднаковий вплив на ефективність енерговикористання.

Однак, під час рішення практичних задач оцінювання рівня ефективності енерговикористання часто виникає ситуація, коли показники по яким проводиться оцінювання не піддаються безпосередньому вимірюванню (мають різну "фізичну природу"). В цьому випадку вирішення поставленої задачі потребує використання таких процедур які б дозволили здійснити таке оцінювання.

До процедур що дозволяють вирішити задачу узагальнення різнорідних показників що мають вплив на рівень енергоефективності, можна віднести ранжування за рівнем якості енерговикористання [6]. Де ранжування - це упорядкування властивостей будь - яких якісних об'єктів, навчальних корпусів, під час якого їм надають певні числові форми.

Актуальним в цьому напрямку є визначення універсальних правил проведення оціночних заходів, які охоплюють усі ключові напрямки відслідковування рівня ефективності енерговикористання за допомогою ранжування будівель. Результатом ранжування є деяка кількість рейтингів, за допомогою яких і проводиться оцінка рівня ефективності енерговикористання.

Розглянемо правило Коупленда, що полягає в наступному: створюється рейтинг,

що підсумовує всі оцінки при порівнянні корпусу з іншими корпусами. Виходить, що рейтинг корпусу дорівнює різниці між числом корпусів краще даного і числом корпусів гірше даного, виходячи зі значень об'єктивних показників. Метод рекомендується використовувати, коли необхідно побудувати впорядковану думку більшості і дізнатися про кожен корпус, в порівнянні зі скількома корпусами він виграє або програє.

Для початку сформуємо матрицю спостережень. Початкова безліч складається з m об'єктів, описаних n критеріями; кожен її критерій можна інтерпретувати як точку n -мірного простору з координатами, рівними значенням n критеріїв для даного об'єкту. Матриця спостережень X має такий вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mk} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Потім для значень, які включені в матрицю спостережень, виконуємо нормування показників за вхідними даними.

$$a_{ij}^H = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Пронормовані значення показників X енергоефективності в навчальних корпусах наведені в таблиці 1, а парні порівняння виконані і відображені у таблиці 2.

В якості критеріїв для ранжирування використовуємо такі показники:

$x_{1.1}$ – споживання електричної енергії навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.2}$ – споживання теплової енергії навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.3}$ – споживання води навчальним корпусом протягом одного місяця;

$x_{1.4}$ – об'єм навчального корпусу;

$x_{1.5}$ – теплові втрати навчального корпусу;

$x_{1.6}$ – середня кількість людей, що знаходяться в корпусі.

Таблиця 1

Пронормовані значення показників X

Номер корпусу	$x_{1.1}$	$x_{1.2}$	$x_{1.3}$	$x_{1.4}$	$x_{1.5}$	$x_{1.6}$
Корпус 1	0,128679	0,102413	0,081808	0,112885	0,037082	0,11314
Корпус 2	0,023023	0,03315	0,020309	0,015108	0,030031	0,006851
Корпус 4	0,048526	0,066167	0,032436	0,047348	0,035756	0,056347
Корпус 5	0,038459	0,04478	0,017366	0,03703	0,055783	0,054463
Корпус 6	0,061917	0,015103	0,035881	0,018146	0,005022	0,007947
Корпус 7	0,086426	0,125357	0,003158	0,149726	0,167289	0,100911

...
Корпус 30	0,018596	0,016091	0,005167	0,014303	0,005946	0,018497
Корпус 35	0,013732	0,005076	0,010621	0,003498	0,001948	0,00757

Таблиця 2

Парні порівняння кількості переваг корпусів за правилом Кондорсе

$Kop_i \backslash Kop_k$	Корпус 1	Корпус 2	Корпус 4	Корпус 5	Корпус 6	Корпус 7	...	Корпус 30	Корпус 35	Кільк. пок.	Ранг
Корпус 1	X	6	6	5	6	3	...	6	6	28	1
Корпус 2	0	X	0	1	2	1	...	5	5	12	17
Корпус 4	0	6	X	5	4	1	...	6	6	23	5
Корпус 5	1	5	1	X	4	1	...	6	6	20	9
Корпус 6	0	4	2	2	X	1	...	3	6	11	18
Корпус 7	3	5	5	5	5	X	...	5	5	27	2
...
Корпус 30	0	1	0	0	3	1	...	X	5	9	20
Корпус 35	0	1	0	0	0	1	...	1	X	2	27

За цим правилом для кожного об'єкта знаходиться дві підмножини відносин Кондорсе:

- 1) Для Kop_i підмножина $U(Kop_i)$, що складається з усіх її домінантів;
- 2) Для Kop_i підмножина $L(Kop_i)$, для яких вона є домінантою.

Після цього для кожного Kop_i розраховується коефіцієнт Копланда за формулою:

$$Coop(Kop_i) = |L(Kop_i)| - |U(Kop_i)|, i = \overline{1, m} \quad (3)$$

За цими коефіцієнтами визначаємо рейтинг корпусів. Коефіцієнти Копланда наведені в таблиці 3. Графік рейтингу корпусів зображено на рисунку 1.

Таблиця 3

Визначення домінанти та кількісного показника ранжування

№	$L(Kop_i)$	$U(Kop_i)$	$L-U$
Корпус 1	0	28	-28
Корпус 2	13	12	1

Корпус 4	3	23	-20
...
Корпус 35	25	2	23

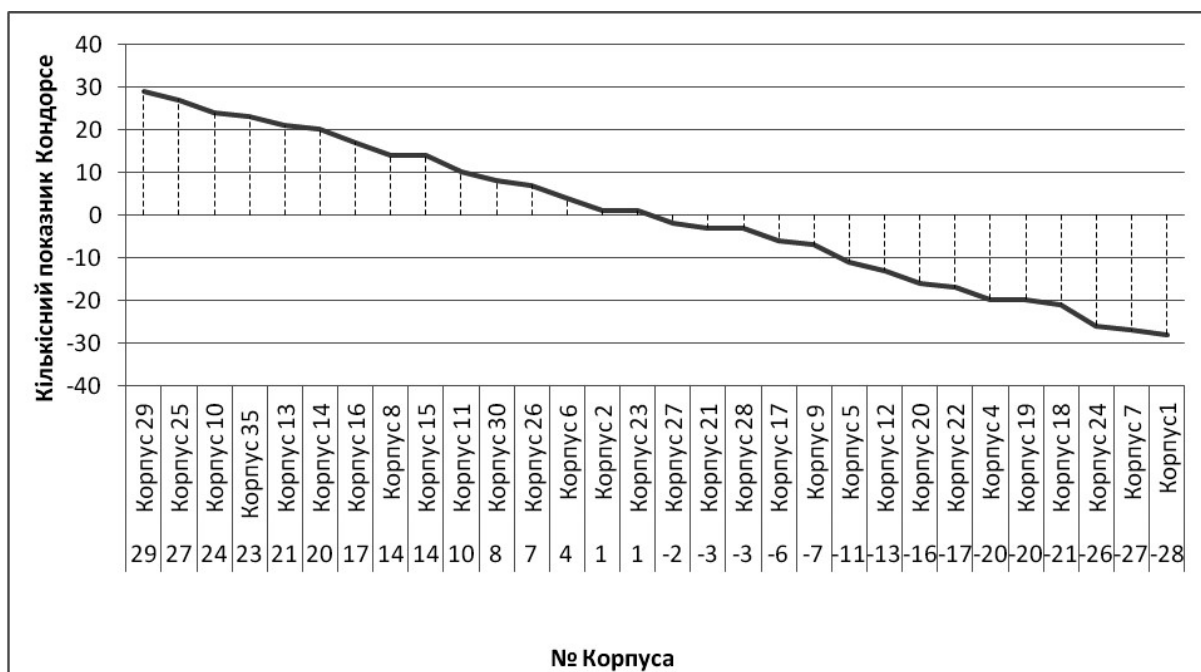


Рис. 1. Результати ранжування корпусів за правилом Коупленда

Методи вибору, які засновані на парних порівняннях об'єктів (правила Кондорсе, Коупленда) за всіма критеріями використовують факт домінанта одного корпусу над іншим, але не враховують того, наскільки сильним є домінант. Використаємо уточнений метод парних порівнянь для оцінювання рівня ефективності енерговикористання у навчальних корпусах.

Запропоноване правило враховує цю різницю і сприяє більш «справедливому» (правильному) ранжуванню навчальних корпусів, так як в цьому методі домінант Kop_i над Kop_k по j -ому критерію визначається «відстанню» між ними в упорядкованому переліку корпусів (табл. 4) по j -ому критерію.

З цього переліку розглянемо $Kop_{ik}, Kop_{il}, k \neq l$ та введемо число:

$$q_i(Kop_{ik}, Kop_{il}) = \begin{cases} l - k, \text{ якщо } l > k \\ 0, \text{ якщо } l < k \end{cases} \quad (4)$$

Число $q_i(Kop_{ik}, Kop_{il})$ визначає ступінь переваги Kop_{ik} над Kop_{il} по j -ому критерію, тобто вказує наскільки «віддалені» один від одного. Тоді перевагу (домінант) Kop_{ik} над Kop_{il} по всім критеріям можна виразити числом:

$$Q_i(Kop_{ik}, Kop_{il}) = \sum_{j=1}^n q_i(Kop_{ik}, Kop_{il}) \quad (5)$$

Частковий розрахунок значень матриці.

Числа в порівнянні взяті з порядкового номера Kop_i для кожного критерія в таблиці 4:

$$q_i(Kop_2, Kop_4) \quad 11 > 4 \Rightarrow 0; \quad 9 > 1 \Rightarrow 0; \quad 10 > 7 \Rightarrow 0; \quad 15 > 5 \Rightarrow 0; \quad 9 > 6 \Rightarrow 0; \quad 24 > 4 \Rightarrow 0$$

$$Q_i(Kop_2, Kop_4) = 0;$$

$$q_i(Kop_2, Kop_5) \quad 11 > 6 \Rightarrow 0; \quad 9 > 7 \Rightarrow 0; \quad 10 < 12 \Rightarrow 2; \quad 15 > 8 \Rightarrow 0; \quad 9 > 4 \Rightarrow 0; \quad 24 > 5 \Rightarrow 0$$

$$Q_i(Kop_2, Kop_5) = 2;$$

Розрахувавши числа $Q_i(Kop_{ik}, Kop_{il})$ для всіх пар навчальних корпусів (Kop_{ik}, Kop_{il}) , визначимо рейтинг $\bar{Q}(Kop_i)$ наступним чином:

$$\bar{Q}(Kop_i) = \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \quad j \neq i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6)$$

де Q_{ij} – елементи матриці $Q_i(Kop_{ik}, Kop_{il})$.

Рейтингова оцінка $\bar{Q}(Kop_i)$ – це сума i -го рядку, яка відображена у таблиці 5. Графік рейтингу корпусів, що отримали за цим уточненим методом парних порівнянь зображений на рисунку 2.

Таблиця 4

Впорядкований перелік корпусів

1	Корпус 19	Корпус 4	Корпус 8	Корпус 19	Корпус 20	Корпус 18
2	Корпус 22	Корпус 18	Корпус 18	Корпус 18	Корпус 28	Корпус 12
3	Корпус 6	Корпус 20	Корпус 10	Корпус 27	Корпус 9	Корпус 22
4	Корпус 4	Корпус 19	Корпус 22	Корпус 20	Корпус 5	Корпус 4
5	Корпус 12	Корпус 27	Корпус 19	Корпус 4	Корпус 21	Корпус 5
6	Корпус 5	Корпус 9	Корпус 6	Корпус 22	Корпус 4	Корпус 21
7	Корпус 20	Корпус 5	Корпус 4	Корпус 12	Корпус 19	Корпус 20
8	Корпус 18	Корпус 22	Корпус 12	Корпус 5	Корпус 23	Корпус 17
9	Корпус 17	Корпус 2	Корпус 20	Корпус 9	Корпус 2	Корпус 19

Продовження таблиці 4

10	Корпус 21	Корпус 28	Корпус 2	Корпус 17	Корпус 18	Корпус 9
11	Корпус 2	Корпус 17	Корпус 17	Корпус 28	Корпус 22	Корпус 16
12	Корпус 11	Корпус 21	Корпус 5	Корпус 23	Корпус 27	Корпус 8
13	Корпус 9	Корпус 23	Корпус 28	Корпус 6	Корпус 17	Корпус 15
14	Корпус 30	Корпус 26	Корпус 21	Корпус 21	Корпус 12	Корпус 23
15	Корпус 28	Корпус 12	Корпус 23	Корпус 2	Корпус 26	Корпус 30
16	Корпус 26	Корпус 30	Корпус 26	Корпус 30	Корпус 11	Корпус 27
17	Корпус 35	Корпус 6	Корпус 35	Корпус 26	Корпус 30	Корпус 28
18	Корпус 27	Корпус 14	Корпус 11	Корпус 11	Корпус 6	Корпус 14
19	Корпус 15	Корпус 11	Корпус 9	Корпус 8	Корпус 13	Корпус 25
20	Корпус 23	Корпус 15	Корпус 27	Корпус 15	Корпус 15	Корпус 11
21	Корпус 8	Корпус 16	Корпус 30	Корпус 13	Корпус 8	Корпус 26
22	Корпус 16	Корпус 8	Корпус 16	Корпус 16	Корпус 14	Корпус 6
23	Корпус 13	Корпус 13	Корпус 14	Корпус 14	Корпус 16	Корпус 35
24	Корпус 14	Корпус 25	Корпус 15	Корпус 10	Корпус 10	Корпус 2
25	Корпус 10	Корпус 35	Корпус 13	Корпус 35	Корпус 35	Корпус 29
26	Корпус 29	Корпус 10	Корпус 25	Корпус 25	Корпус 25	Корпус 10
27	Корпус 25	Корпус 29	Корпус 29	Корпус 29	Корпус 29	Корпус 13

Таблиця 5

Рейтингова оцінка корпусів

$Kop_i \backslash Kop_k$	Корпус 2	Корпус 4	Корпус 5	Корпус 6	Корпус 8	Корпус 9	...	Корпус 30	Корпус 35	$\bar{Q}(Kop_i)$
Корпус 2	X	0	2	17	39	11	...	30	55	715
Корпус 4	51	X	17	54	75	36	...	72	105	1597
Корпус 5	38	2	X	46	65	20	...	57	90	1280
Корпус 6	16	2	9	X	32	23	...	29	53	751
Корпус 8	21	6	11	15	X	18	...	23	40	564
Корпус 9	29	3	2	42	54	X	...	39	74	996
...
Корпус 30	9	0	0	9	20	0	...	X	37	377
Корпус 35	1	0	0	0	4	2	...	4	X	129

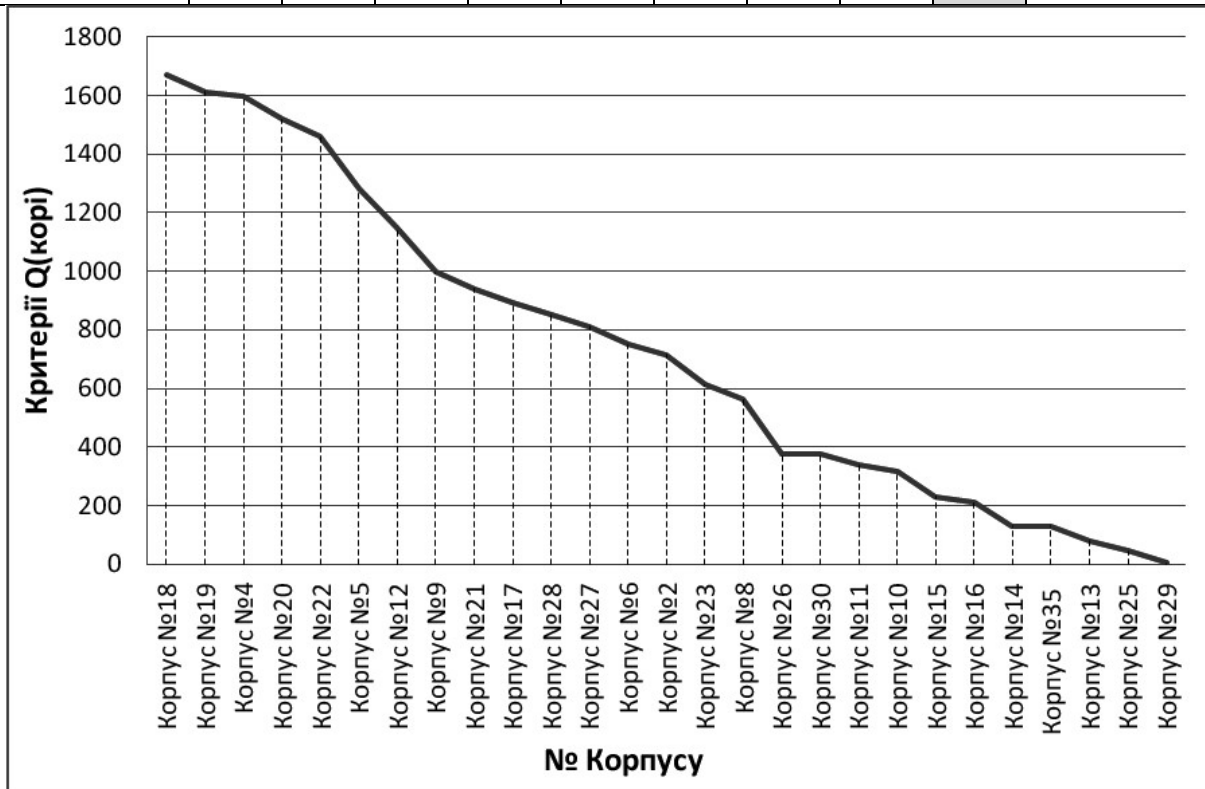


Рис. 2. Результат ранжування корпусів уточненим методом попарних порівнянь

Результати проведених ранжувань, використовуючи метод Копленда та уточнений метод парних порівнянь дають нам змогу визначити рейтинг енергоефективності навчальних корпусів та відокремити певну кількість будівель в яких рівень енерговикористання найгірший. Використовуючи отримані результати можна запроваджувати організаційні та управлінські заходи щодо покращення стану енерговикористання у проблемних корпусах.

Висновки

1. Рейтинг є інструментом, використання якого, дозволяє отримувати інформацію щодо якості оцінюваної системи енерговикористання, стимулювати для здійснення дій з поліпшення стану справ у сфері енергоефективності, здійснювати взаємодію між різними суб'єктами відносин і контролювати процес досягнення задачі енергетичного бенчмаркінгу - підвищення рівня ефективності енерговикористання.

2. Бенчмаркінг є невід'ємною частиною планування, аналізу та оцінки процесу, тобто моніторингу, а також інструментом управління для безперервного поліпшення. Включення процедур бенчмаркінгу в систему енергетичного менеджменту сприяє виявленню шляхів підвищення рівня енергоефективності з урахуванням досягнень кращих об'єктів. Систематичне визначення різниці в енергоспоживанні та розривів з кращою практикою, визначення та реалізація заходів щодо підвищення рівня енергоефективності, моніторинг результатів впровадження і переоцінка результатів бенчмаркінгу є частиною циклу постійного удосконалення виробничої системи, що сприяє покращенню енергетичного функціонування та підвищення рівня її енергоефективності.

3. Запропонована модель оцінювання енергоефективності навчальних корпусів передбачає створення та підтримку відповідно пристосованих систем збору та моніторингу інформації по споживанню енергії, методів оцінювання ефективності енергоспоживання з їх супроводом та налаштуванням до умов практичної реалізації, використання поглиблених схем енергоаудиту на базі інтегрованих енергетичних моделей об'єктів та розвитку детальних інструментальних та розрахункових досліджень енергетичного стану елементів будівель.

Посилання

- [1] Л.В. Давиденко, *Механізм бенчмаркінгу енергоефективності об'єктів складних виробничих систем та принципи його реалізації*. Київ, Україна: Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2015.
- [2] В.П. Розен, та Б.Л. Тишевич, *Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України*. Київ, Україна: Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2012.
- [3] А.В. Бобряков, *Разработка и реализация научно - технических и управленческих методов повышения энергоэффективности отраслевого энергопотребления бюджетной сферы*. Москва, Россия: «Пром.теплоэнергетика», 2007.
- [4] В.Ф. [Ткаченко](#), *Моніторинг споживання електроенергії інфраструктурою вищого навчального закладу (на прикладі Черкаського державного технологічного університету)*. Київ, Україна: [НАН України, Інститут техн. теплофізики](#), 2014.
- [5] ISO 50001:2011. *Energy management systems - Requirements with guidance for use – CEN/CENELEC*. European Committee for Standardization, 2011.

- [6] В.П. Розен, А.И. Соловей, та А.В. Чернявский, *Разработка концепции внедрения системы энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Украины*. Киев, Украина: Праці ІЕД НАНУ, № 1(10), 2005.

УДК 62-523

А.Д. Набока, студент НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, А.В. Торопов, доцент НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕМОТУВАННЯ ТКАНИНИ ФАРБУВАЛЬНОЇ ЛІНІЇ

Анотація. Розглянуто задачу дослідження електромеханічної системи перемотування пофарбованої тканини. В результаті дослідження запропонована уточнена математична модель електромеханічної системи перемотування пофарбованої тканини с коливаннями по моменту і струму та отримані графіки перехідних процесів за найважливішими параметрами роботи.

Ключові слова

Математична модель, перемотування тканини, зміна моменту інерції, пружні коливання моменту, асинхронний двигун

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМОТКИ ТКАНИ ПОКРАСОЧНОЙ ЛИНИИ

Аннотация. Рассмотрена задача исследования электромеханической системы перемотки окрашенной ткани. В результате исследования предложена уточненная математическая модель электромеханической системы перемотки окрашенной ткани с колебаниями по моменту и току и получены графики переходных процессов по важнейшим параметрам работы.

Ключевые слова

Математическая модель, перемотки ткани, изменение момента инерции, упругие колебания момента, асинхронный двигатель

INVESTIGATION OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF TEXTILE WINDING OF PAINTING LINE

Annotation. The problem of investigation of the electromechanical system of rewinding colored tissue is considered. As a result of the research, mathematical model of the electromechanical system for rewinding colored tissue with oscillations in torque and current is refined and graphs of transient processes were obtained for the most important parameters of the work are obtained.

Keywords

Mathematical model, rewinding of a fabric, change of the moment of inertia, elastic fluctuations of the moment, the induction motor

Вступ. Практична реалізація високих динамічних показників регульованих електроприводів нового покоління по точності, діапазону регулювання, швидкодії вимагає врахування специфічних властивостей керованих перетворювачів, структурних і параметричних відхилень, взаємозв'язку між елементами і взаємовпливу процесів в електромагнітній і пружній механічній підсистемі. Пружні механічні ланки передач, особливо в таких системах, як перемотування тканин та плівки, сприяють появі коливань частотою від 3-ох до декілька десятків Гц по моменту і струму в електромеханічній системі приводу. Це, у свою чергу, впливає на якість виконання технологічних операцій, прискорює знос і руйнування вузлів механічних передач, додатково навантажуються керовані перетворювачі і електродвигуни, порушуються розрахункові динамічні режими функціонування систем автоматичного регулювання. Раніше проблема вирішувалася механікою, зокрема муфтами ковзання, редукторами і двигунами з підвищеним ковзанням. Існують шляхи вирішення проблеми за допомогою автоматичного керування а саме установка дорогих датчиків перемотування низької

точності, але такий варіант не є ефективним.

Постановка задачі і мета дослідження. В різних джерелах літератури [1-4], які стосуються вирішення проблеми оптимізації двомасових систем електроприводу перемотування свідчить, що запропоновані рішення демпфірування пружних коливань не враховують зміну моменту інерції, радіусу та статичного моменту. Тому і не можуть бути використані при побудові систем управління електромеханічних комплексів перемотування.

Враховуючи вище сказане проблема розробки уточненої моделі системи автоматичного керування двомасових електроприводів з пружним зв'язком для подальшого синтезу регуляторів є актуальною. Резонансні частоти порядку десятків герц можуть бути усунені шляхом налаштування регульованого електроприводу, а саме регуляторів струму і швидкості. Якісний регулятор можливо побудувати при наявності максимально повної моделі, що враховує такі фактори як - жорсткість тканини, зміну моменту інерції, зміну радіуса, зміну статичного моменту (фактично система зі змінними параметрами).

Метою даної роботи є отримання уточненої математичної моделі електромеханічної системи перемотування з врахуванням пружних зв'язків, зміни радіусу намотки та інших факторів.

Основні матеріали дослідження. Структурна схема яка показана на рис. 1, ілюструє взаємодію приводів з пружним зв'язком. Передбачається, що обидві машини будуть працювати по завданню лінійної швидкості але привід прийому тканини буде працювати в моментному режимі.

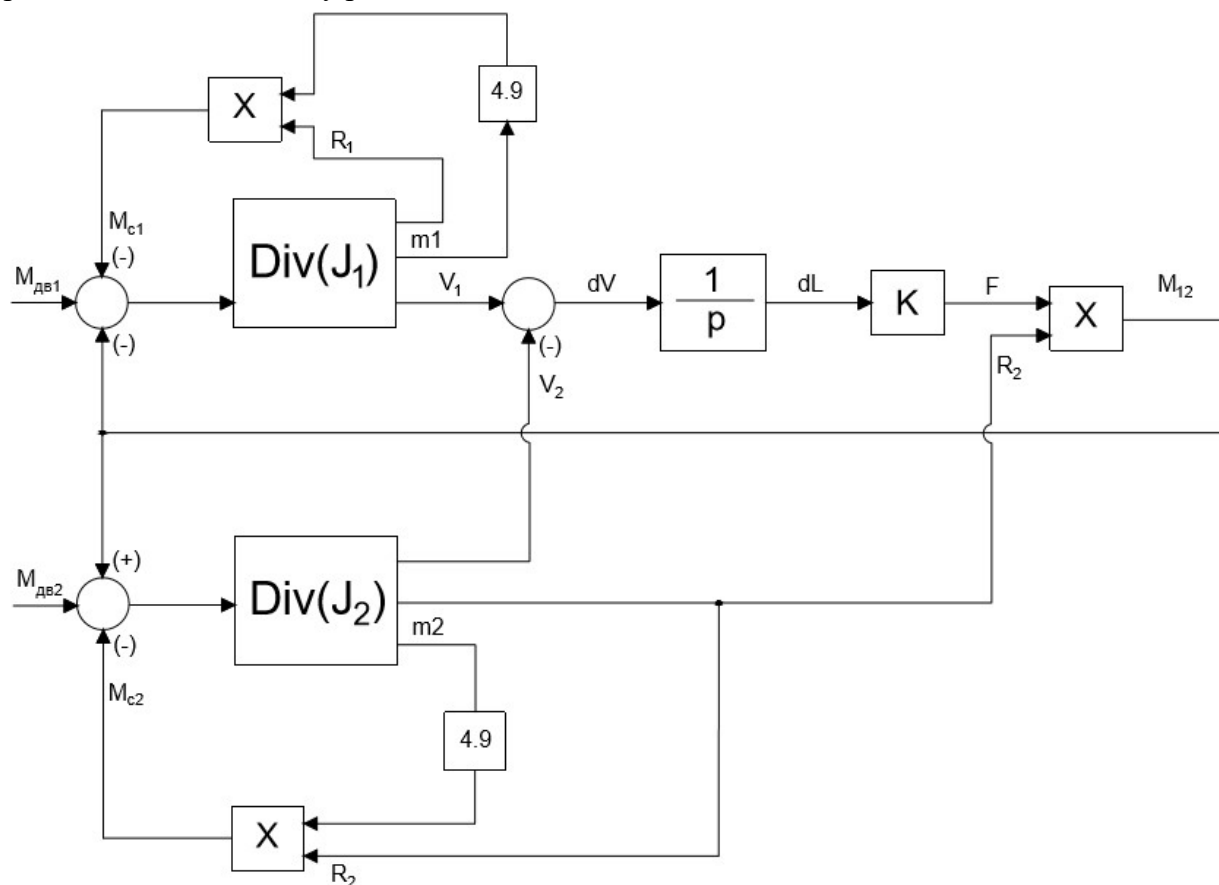


Рис.1. Структурна схема перемотування матеріалу двома двигунами.

На рис.1 введені наступні позначення: $Div(J_1)$, $Div(J_2)$ – підсистеми що враховують зміну моменту інерції(радіуса рулона), зміну маси рулону та розраховують лінійну швидкість, R_1 , R_2 – поточні радіуси рулонів, M_{12} – момент пружності, m_1 , m_2 – поточні маси рулонів, K – коефіцієнт жорсткості тканини, dL – лінійна деформація

тканини.

Коефіцієнт 4.9 отриманий з рівняння статичного моменту [5]:

$$M_c = m \cdot g \cdot \mu \cdot R \cdot i \tag{1}$$

де m – приведена маса до двигуна, g – гравітаційна постійна $9.8 \frac{H \cdot m}{kg^2}$, μ – коефіцієнт тертя прийнятий 0.05, R – поточний радіус, i – передавальне число рівне 10. Опис підсистеми Div(J1) наведено нижче.

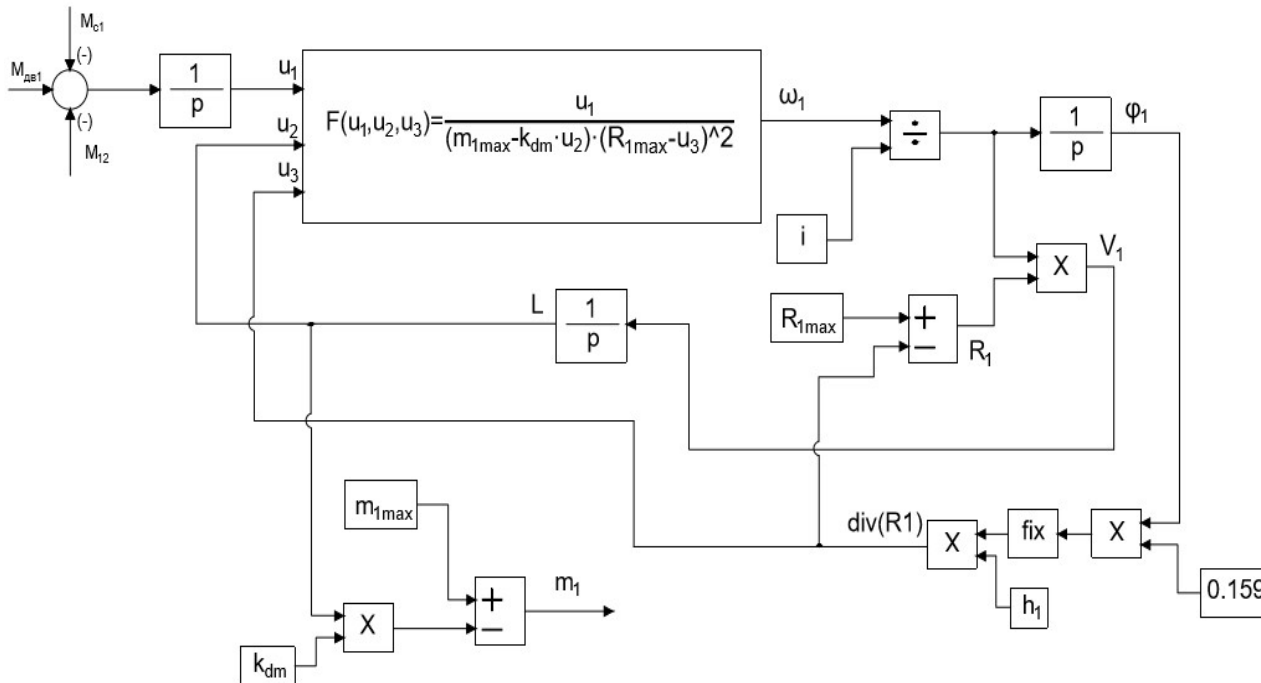


Рис.2 Структурна схема підсистеми що враховує зміну момента інерції і маси привода подачі.

На рис.2 введені наступні позначення: $F(u_1, u_2, u_3)$ – блок функції який дозволяє записати закон зміни моменту інерції, ω_1 – кутова швидкість, i – передавальне число, ϕ_1 – кут повороту робочого органу, V_1 – лінійна швидкість тканини, L – довжина тканини привода подачі, R_{1max} – максимальний радіус робочого органу привода подачі, R_1 – поточний радіус робочого органу привода подачі, m_{1max} – максимальна маса робочого органу, m_1 – поточно маса, $div(R_1)$ – приріст радіусу, h_1 – товщина тканини, k_{dm} – коефіцієнт пропорційності, що описує залежність маси від довжини, fix – блок для округлення з відкиданням дробової частини, який реалізує дискретну зміну радіуса.

Коефіцієнт 0.159 [6] дозволяє отримати відношення кута повороту робочого органу в градусах до 360. Для привода прийому структурна схема робиться аналогічно тільки враховуються зміни товщини та маси матеріалу обумовлені фарбуванням.

Нижче представлені графіки перехідних процесів за основними показниками для дослідження.

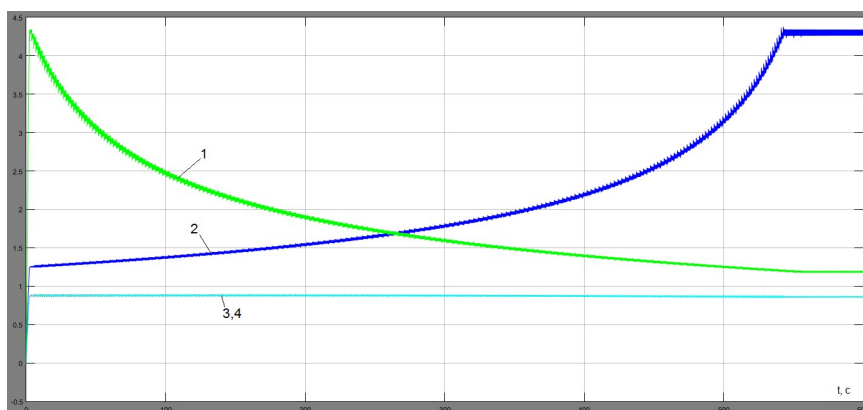


Рис.3 Графіки кутових та лінійних швидкостей на протязі циклу: 1 – кутова швидкість рулону подачі тканини (рад/с); 2 – кутова швидкість рулону прийому тканини (рад/с); 3,4 – лінійні швидкості двох рулонів (м/с)

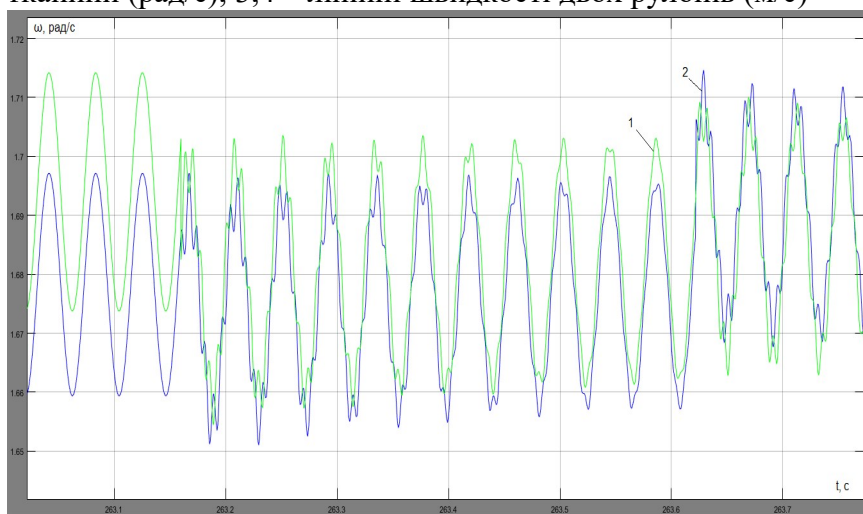


Рис.4 Графіки кутових швидкостей в околі перетину радіусів: 1 – кутова швидкість рулону подачі тканини; 2 – кутова швидкість рулону прийому тканини.

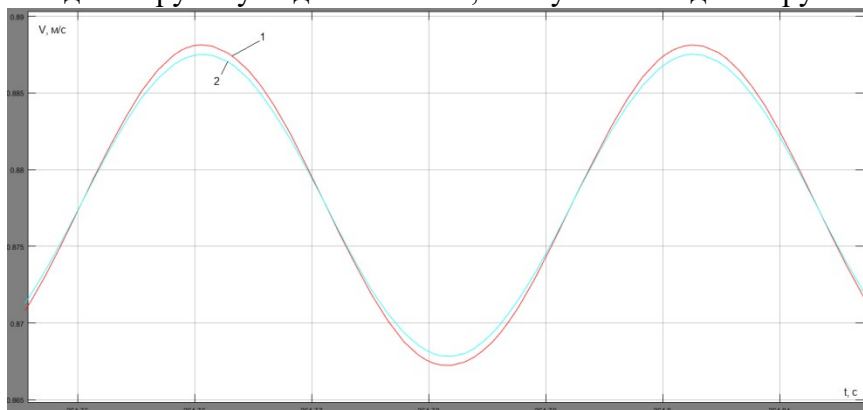


Рис.5 Графіки лінійних швидкостей рулонів: 1 – лінійна швидкість рулону подачі тканини; 2 – лінійна швидкість рулону прийому тканини/

Аналіз отриманих графіків свідчить, що при перемотуванні тканини мають місце суттєві коливання за швидкістю. Компенсація таких коливань є можливою завдяки використанню раціональної системи управління електроприводом і новітніх алгоритмів керування.

Висновки.

1. Амплітуда керування моментів двигунів відповідають частотам вказаним у сучасній літературі, статичні моменти змінюються відповідно зі зміною маси та радіусів рулонів.

2. Отримана математична модель може бути використана при побудові систем управління електромеханічним комплексом перемотування.

Література

1. Kiel Edwin Drive Solutions Mechatronics for production and logistics. / Edwin Kiel Edited by – Berlin: SpringerVerlag, 2008. – 542 p.
2. Александров В.М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. / Александров В.М., Пожарский Д.А.; М.: Факториал, 1998. – 288 с.
3. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. / Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л.; “НАУКА” – СПб: Издательство «НАУКА», 1999. – 368 с.
4. Бельцов В.М. Технологическое оборудование отделочных фабрик текстильной промышленности. / В.М. Бельцов Л.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
5. Глазунов В.Ф. Об учете вязкоупругой постоянной времени ткани в электроприводах текстильных машин. / Глазунов В.Ф., Бурков А.П.; Изв. вузов, Технология текстил пром-сти, 1985. – № 6.: с.66-71.

УДК 621.876.114

Ю.І. Шульга, к.т.н., доц., О.М. Сміленко, студ.

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЛІФТОВОЇ УСТАНОВКИ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Y.I. Shulga, O.M. Smilenko, A.V. Sukailo (National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)

ANALYSIS LIFT MODES OF INSTALLATION BY ENERGY

В роботі розглянуті режими роботи ліфтової установки як єдиного технологічного комплексу у складі асинхронного двигуна і перетворювача частоти. Для проведення дослідження синтезована комп'ютерна модель, яка дозволяє оцінити характер протікання динамічних і енергетичних процесів в електромеханічній системі.

Ключові слова: асинхронний двигун; перетворювач частоти; електропривод; швидкісна діаграма; діаграма навантаження.

В работе рассмотрены режимы работы лифтовой установки как единого технологического комплекса в составе асинхронного двигателя и преобразователя частоты. Для проведения исследования синтезирована компьютерная модель, которая позволяет оценить характер протекания динамических и энергетических процессов в электромеханической системе.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; преобразователь частоты; электропривод; скоростная диаграмма; диаграмма нагрузки.

The operation modes of the elevator installation as a single technological complex in the asynchronous motor and frequency converter are considered. To carry out the research, a computer model has been synthesized that allows us to evaluate the nature of the course of dynamic and energy processes in the electromechanical system.

Keywords: asynchronous motor; frequency converter; electric drive; speed chart; diagram load.

Вступ. При проектуванні і експлуатації ліфтових установок необхідно забезпечити правильний вибір системи електроприводу. Найбільш ефективною на даний час є система електроприводу асинхронний двигун – перетворювач частоти. Для отримання результату по вибору системи електроприводу була розроблена комп'ютерна модель, за допомогою якої можна отримати інформацію по швидкісних та навантажувальних характеристиках ліфтових установок.[1]

Мета роботи. Розробка імітаційної моделі ліфтової установки для дослідження швидкісних та навантажувальних процесів.

Результати дослідження. В роботі ліфтова установка представлена у вигляді єдиного технологічного комплексу, у склад якої входять: асинхронний двигун та перетворювач частоти.

В якості об'єкта в роботі розглянутий асинхронний двигун марки M2BA132SMB4 (номінальна потужність 5500 Вт, номінальна напруга 380 В, номінальна кількість обертів 1446 об/хв., коефіцієнт корисної дії 0.89, максимальний момент навантаження 2.4 кН*м).

Для проведення дослідження, в середовищі MATLAB розроблена спеціальна імітаційна модель (рис.1).

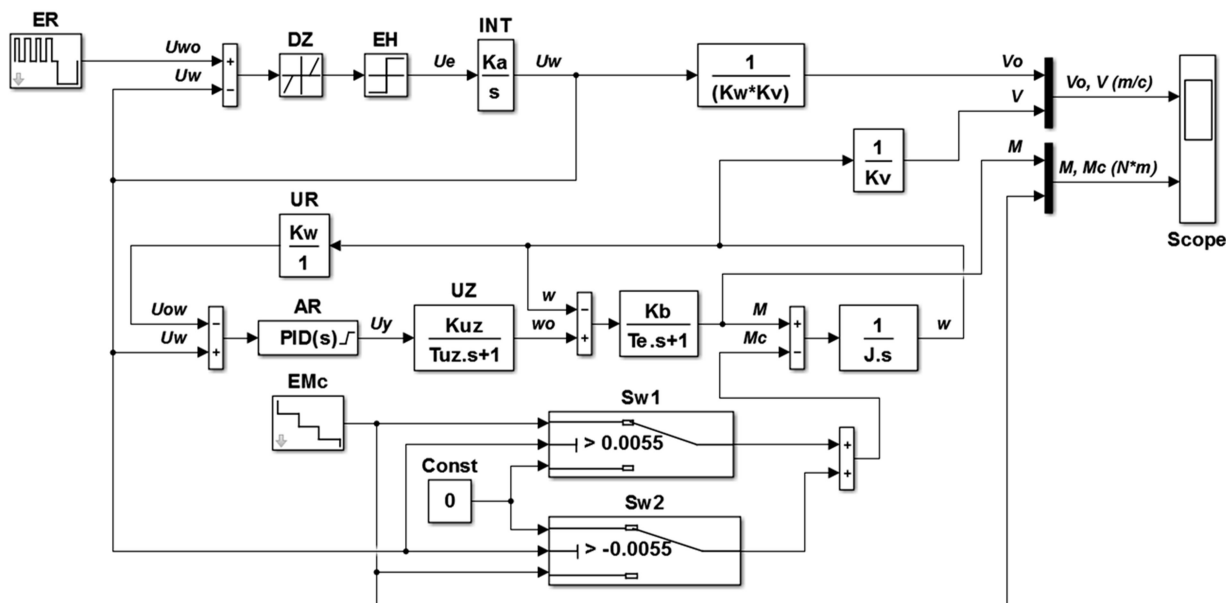


Рис. 1. Структурна модель системи частотно-регульованого асинхронного електроприводу ліфту

Основні елементи моделі:

- пристрій завдання: блок завдання необхідної швидкості *ER* і датчик інтенсивності першого порядку, що містить нелінійний елемент *DZ* з зоною нечутливості (для чіткого фіксування нульового сигналу на вході й виході), нелінійний елемент релейного типу *EH*, інтегратор *INT*, а також одиничний негативний зворотний зв'язок;
- блок завдання навантажувального моменту ліфтової установки *EMc* в залежності від кількості пасажирів;
- ключі *Sw1*, *Sw2*, котрі імітують накладання гальм при зупинці ліфту;
- ПІД-регулятор швидкості *AR*;
- датчик швидкості *UR*, формує негативний зворотний зв'язок за швидкістю;
- перетворювач частоти *UZ*;
- двоканальний осцилограф *Scope*, контролюючий значення лінійних швидкостей ліфту: заданої *Vo* і фактичної *V*, а також величини моментів – двигуна *M* і статичного *Mc*. [2]

За допомогою *m*-файлу реалізовані потрібні розрахункові співвідношення для визначення параметрів структурної моделі з урахуванням прив'язки максимальних значень сигналів в каналі управління до 10-ти вольтової шкали (рис. 2).

```

1  %Асинхронний двигун M2BA132SMB4
2  Pnom=5500, Unom=380, Nnom=1446, No=1500, p=2
3  KPD=0.89, KM=0.8, Jdv=0.017
4  kMmax=2.4, kMpysk=1.7, klpysk=2.3
5  %Загальні розрахунки
6  Jmexpr=8*Jdv, J=Jdv+Jmexpr
7  Wnom=0.105*Nnom, Wo=0.105*No, Wmax=Wnom
8  Mnom=Pnom/Wnom, Mcnom=Mnom, Mxx=0.1*Mnom
9  Ka=(kMmax*Mnom-Mcnom)/(J*Wnom)
10 Kuz=Wo/10, Tuz=0.001
11 snom=(No-Nnom)/No
12 sk=snom*(kMmax+(kMmax^2-1)^0.5)
13 Kb=(2*kMmax*Mnom)/(Wo*sk)
14 fnom=50, Te=1/(2*pi*fnom*sk)
15 Kw=10/Wmax, Kv=Wnom
16 aw=2, ai=2, bw=2
17 %Параметри ПІД-регулятора швидкості
18 Kr=0.5*J/(aw*Tuz*Kuz*Kb*Kw)
19 Ki=0.5/(aw*Tuz*Kuz*Kw)
20 Kd=0.5*Te*J/(aw*Tuz*Kuz*Kb*Kw)

```

Рис. 2. Програма розрахунку параметрів структурної моделі

Отримані діаграми швидкості та навантаження (рис. 3) відповідають наступному алгоритму роботи ліфту:

- $0 \leq t < 2$ с - номінальне завантаження за кількістю 4-х людей;
- $2 \leq t < 4$ с - підйом з першого на другий поверх;
- $4 \leq t < 6$ с - вихід першого пасажиру;
- $6 \leq t < 8$ с - підйом з другого на третій поверх;
- $8 \leq t < 10$ с - вихід другого пасажиру;
- $10 \leq t < 12$ с - підйом з третього на четвертий поверх;
- $12 \leq t < 14$ с - вихід третього пасажиру;
- $14 \leq t < 16$ с - підйом з четвертого на п'ятий поверх;
- $16 \leq t < 18$ с - вихід останнього пасажиру;
- $18 \leq t < 26$ с - спуск з п'ятого на перший поверх порожньої кабіни;
- $26 \leq t < 30$ с - стоянка ліфту.[3]

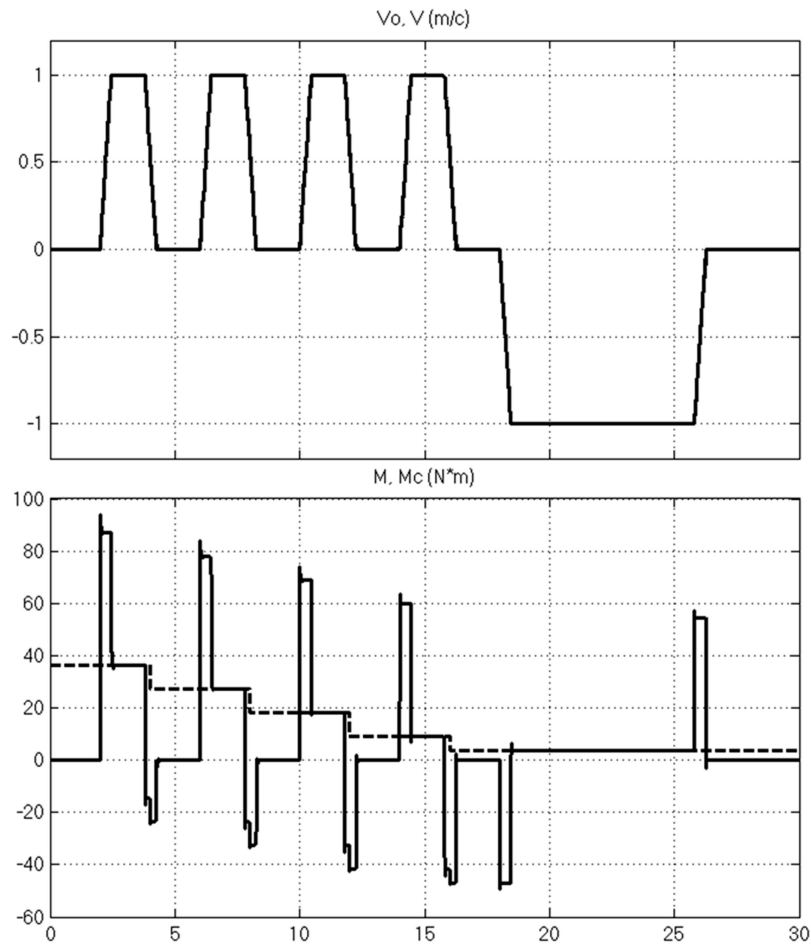


Рис. 3. Діаграми роботи ліфтової установки (верхня - діаграма швидкості, нижня – діаграма навантаження)

Висновки

Отримані результати наочно ілюструють доцільність застосування системи ПЧ-АД для ліфту з точки зору точного відпрацювання потрібної швидкісної діаграми та досить високу швидкодію з утриманням моменту двигуна в припустимих межах. Частотний спосіб регулювання являється найбільш перспективним и широко використовуваним наразі способом регулювання швидкості АД. Змінюючи частоту f_1 споживаючої напруги, можна, у відповідності з рівнянням $\omega_0 = 2\pi \cdot f_1 / p$, змінювати кутову швидкість обертання магнітного поля, отримуючи тим самим різні штучні характеристики асинхронного двигуна.

Цей спосіб забезпечує плавне регулювання в широкому діапазоні, характеристики, які ми отримуємо мають високу жорсткість. Електричні втрати в роторі, зв'язані з ковзанням, в цьому випадку невеликі, тому частотний спосіб є найбільш економічним.

Посилання

- [1] О.М. Закладний, А.В. Праховник, та О.І. Соловей, *Енергозбереження засобами промислового електропривода*. Київ, Україна: Кондор, 2005.
- [2] С.Г. Герман-Галкин, *Матлаб & Симулинк, "Проектирование мегатронных систем на ПК"*. Ст. Петербург, Россия: КОРОНА – Век, 2008.
- [3] Н.Ф. Ильинский, "Регулируемый привод сегодня. Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения", *Доклады научно-практического семинара, 2 февр. 2006 г.*, Москва, Россия: Издательство МЭИ, 2006.

УДК 621.311.1: 621.926.3: 681.51/ 54

Мейта Александр Вячеславович, к. т.н., доц каф. ЕМОЕВ, ИЕЕ, НТУУ «КПИ им. И. Сикорского»

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В роботі розглядається моделювання роботи дробильно-помольного комплексу із застосуванням штучних нейронних мереж. В якості базової моделі використовується багатошаровий перцептрон. Виконано порівняння точності моделі при застосуванні різних алгоритмів навчання.

The design of work of crushing and milling complex is in-process examined with application of artificial neural networks. As a base model multi-layered perceptron is used. Comparison of model exactness is executed at application of different algorithms of studies.

Анализ тенденций энергосберегающей политики и энергетической стратегии в Украине показывает, что в условиях рынка усиливается значимость энергосберегающих технологий во всех отраслях промышленности. В связи с этим, энергоэффективное управление предприятием при комплексном методологическом подходе к проблеме энергосбережения в целом имеет значение для всего народного хозяйства страны. Исследования показывают, что 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.

Анализ состояния вопроса.

Связанные между собой нейроны образуют нейронную сеть. Конфигурация сети определяется для каждой конкретной задачи. Для решения некоторых отдельных типов задач уже существуют оптимальные конфигурации, описанные в литературе по построению и эксплуатации нейронных сетей [1-3]. При выборе конфигурации сети руководствуются следующими принципами:

- Возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев;
- Введение обратных связей наряду с увеличением возможностей сети поднимает вопрос о динамической устойчивости сети;
- Сложность алгоритмов функционирования сети увеличивает возможности сети;
- Размерность векторов входных сигналов и числа входов сети;

Большое количество факторов в условиях их неопределенной иерархии усложняет задачу, так как возможна ситуация построения системы на ложных признаках, что сделает систему управления неэффективной.

Управляющий сигнал должен вырабатываться с учетом степени важности получаемой информации, для чего требуется произвести ранжирование известных факторов по степени их важности и оказываемому эффекту.

Нейросетевые технологии в своей работе имитируют поведение человека,

принимающего решение в нечетко обозначенной ситуации, когда одного и того же результата для многофакторной системы можно добиться несколькими комбинациями воздействий и могут быть использованы для поиска оптимальных решений в различных отраслях [4]. При использовании ИНС для задач решения задач оптимизации следует учитывать скорость их обучения, точность полученной модели и необходимость априорного выбора типа нейросети.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является повышение технико-экономических показателей электропотребления дробильно-помольного комплекса путем внедрения системы мониторинга и управления такими комплексами, которая выполнена с применением технологии искусственных нейронных сетей и анализ алгоритмов ее обучения.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: Проведено аналитическое исследование факторного поля объекта, выявлены факторы в наибольшей мере определяющие работу системы, построена система управления, учитывая только основные факторы, что позволяет повысить уровень качества управления за счет учета факторов в мере, пропорциональной их значимости.

Разработана нейро модель дробильно-помольного комплекса для обеспечения энергоэффективного управления оптимального по энергопотреблению управления дробильно-помольным комплексом.

Исследована работа модели мехатронной системы, выполненного на базе искусственных нейронных сетей.

Методики, материалы и результаты исследований.

Во время выполнения работы для создания моделей элементов комплекса использовалось математическое моделирование с применением искусственных нейронных сетей, для анализа факторов определяющих работу системы были применены метод экспертных оценок, для обработки экспериментальных данных - методы статистической обработки.

Технологический процесс на предприятиях дробильно-помольного комплекса представляет собой последовательность операций, на каждой из которой происходит изменение физического состояния вещества и наращивание величины потребленной комплексом энергии. Качественные показатели изменения состояния вещества и количество затраченной на это энергии определяется факторами, совокупность которых образует факторное поле объекта. Факторное поле комплекса включает в себя четыре группы факторов: контролируемые, регулирующие, характеристики оборудования и характеристики вещества [5,6]. Для шаровой мельницы в группу контролируемых факторов входят производительность, электропотребление и качество помола. К регулирующим факторам относят загрузку мельницы материалом, шаровую загрузку и скорость вращения барабана. Группа характеристик оборудования включает в себя параметры привода, состояние мелющего оборудования, конструктивные параметры мельницы. Крепость, влажность, абразивность, плотность, сыпучесть, кусковатость и гранулометрический состав образуют группу факторов характеристик материала.

Схема исследования объекта

Таблица 1

Выходной вектор	Вектор входных измеряемых управляемых величин	Вектор входных измеряемых не управляемых величин	Вектор входных неизменяемых величин
Электро-потребление,	Шаровая и сырьевая загрузки,	Физико-механические	Состояние и условия работы

производительность, качество измельчения	скорость вращения рабочего органа	свойства поступающего сырья	оборудования (футеровка, шары, привод)
--	-----------------------------------	-----------------------------	--

Экспертная оценка учитывает текущие приоритеты, а именно какой из параметров для производства считать более важным, какой менее, какие сочетания параметров приемлемы и в какой мере. Основываясь на данных таблицы можно осуществить тренировку нейронной сети (рис. 1). В результате тренировки сети связи между элементами приобретут некоторые значения, которые и будут соответствовать мере значимости каждого параметра. Зная численные значения, определяющие важность параметров, легко записать выражение для целевой функции, учитывающей требования ко всем параметрам. В случае, если возникнет необходимость оценивать результат, отдавая предпочтение другим факторам, то следует изменить значения экспертных оценок и перетренировать сеть для нового режима оценки.

Построив нейронную сеть у которой входы сети будут отражать факторы описывающие свойства вещества, а выходом будут численные данные оценивающие процесс измельчения так же как и в предыдущем случае, проведя тренировку сети на опытных данных, можно получить информацию о степени важности каждого из факторов по значению его весового коэффициента. Таким образом, сеть можно будет упростить, убрав те факторы, влияние которых на процесс минимально.

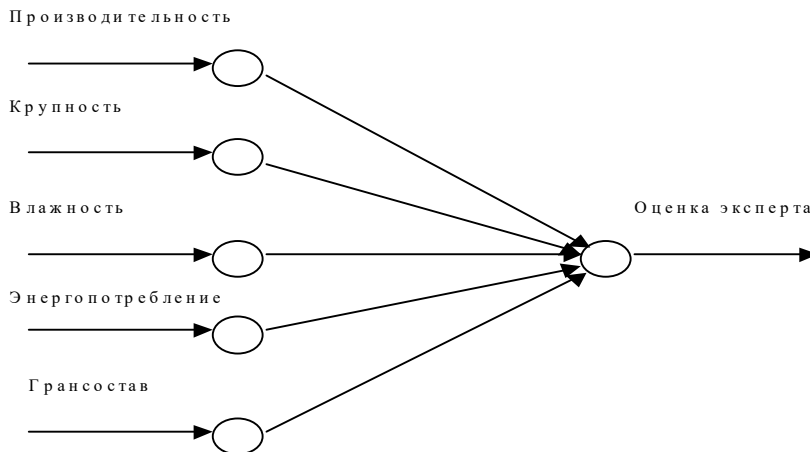


Рис. 1. Определение значимости параметров технологического процесса с помощью ИНС.

В обобщенной модели в качестве входов использованы выделенные факторы, а в качестве выходных величин параметры процесса либо те управляющие воздействия, которые их регулируют. Подобная сеть представлена на рис.2

С помощью процедур обучения назначаются значения весовых коэффициентов и смещений, которые минимизируют ошибку решения. Путем анализа имеющихся входных и выходных данных веса и смещения сети автоматически настраиваются так, чтобы минимизировать разность между желаемым сигналом и полученным на выходе в результате моделирования. Ошибка обучения для конкретной конфигурации нейронной сети определяется путем прогона через сеть всех имеющихся наблюдений и сравнения выходных значений с желаемыми, целевыми значениями. Эти разности позволяют формировать так называемую функцию ошибок (критерий качества обучения). В качестве такой функции чаще всего берется сумма квадратов ошибок. При моделировании нейронных сетей с линейными функциями активации нейронов можно построить алгоритм, гарантирующий достижение абсолютного минимума ошибки обучения. Для нейронных сетей с нелинейными функциями активации в общем случае нельзя гарантировать достижения глобального минимума функции ошибки.

Определит глобальный минимум многомерной поверхности аналитически невозможно и поэтому обучение нейронной сети является процедурой изучения поверхности функции ошибок. Отталкиваясь от случайно выбранной точки на поверхности ошибок, алгоритм обучения постепенно отыскивает глобальный минимум. Как правило, для этого вычисляется градиент функции ошибок в данной точке, а затем эта информация используется для продвижения вниз по склону. Алгоритм останавливается при достижении некоторого минимума, который может оказаться локальным. С учетом специфики нейронных сетей для них разработаны специальные алгоритмы обучения, среди которых следует выделить алгоритм обратного распространения ошибки.

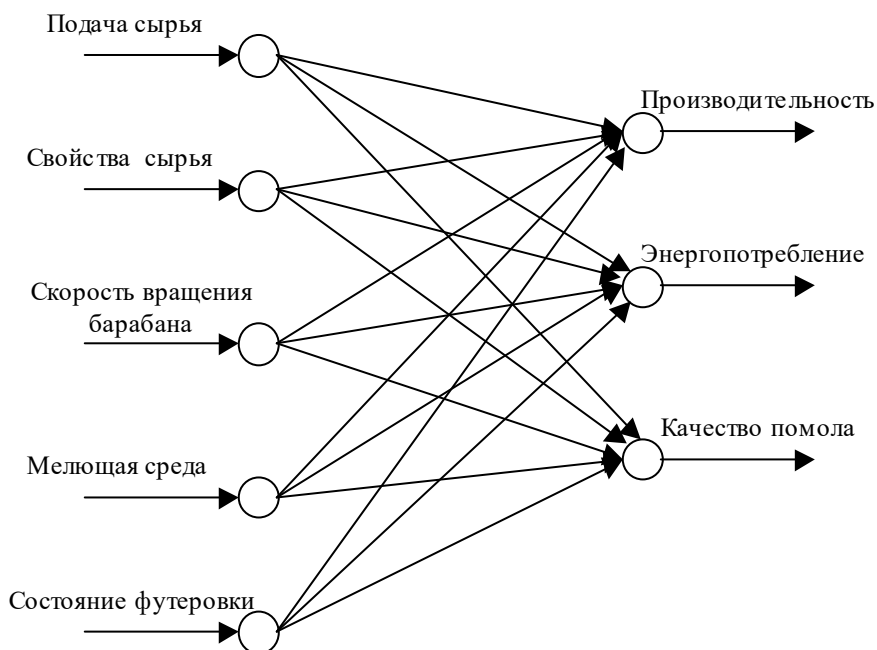


Рис.2 . Модель управления помолом

При использовании алгоритма обратного распространения ошибки сеть рассчитывает возникающую в выходном слое ошибку и вычисляет вектор градиента как функцию весов и смещений. Этот вектор указывает направление кратчайшего спуска по поверхности для данной точки. Последовательное продвижение согласно направлению выбранному таким образом приводит к минимуму того или иного типа. Определенную сложность вызывает выбор величины шага. На практике величина шага выбирается пропорционально крутизне склона поверхности ошибки (градиенту функции ошибок). Такой коэффициент пропорциональности называется параметром скорости настройки. Правильный выбор параметра скорости настройки зависит от конкретной задачи и обычно определяется опытным путем. Этот параметр может также зависеть от времени обучения, обычно уменьшаясь по мере выполнения алгоритма.

Процедура алгоритма – интерактивна. На каждом цикле на вход сети последовательно подаются все обучающие наблюдения, выходные значения сравниваются с целевыми значениями и вычисляется функция ошибки. Значения функции ошибки, а также ее градиента используются для корректировки весов и смещений, после чего все действия повторяются. Начальные значения весов и смещений сети выбираются случайным образом. Процесс обучения прекращается либо по реализации определенного количества циклов, либо когда ошибка достигает некоторого малого значения или перестает уменьшаться.

Обучение нейросетевой модели производится по следующим алгоритмам обучения нейронных сетей [1].

Алгоритм градиентного спуска (GD), используется для такой корректировки весов и смещений, чтобы минимизировать функционал ошибки, т.е. обеспечить движение по поверхности функционала в направлении, противоположном градиенту функционала по настраиваемым параметрам. Текущее приращение весов и смещений определяется умножением параметра настройки lr на вектор градиента. Если параметр настройки выбран слишком большим, алгоритм может стать неустойчивым; при слишком малом значении параметра потребуется длительное время счета.

Алгоритм градиентного спуска с возмущением (GDM), предназначен для настройки и обучения сетей прямой передачи. Этот алгоритм позволяет преодолевать локальные неровности поверхности ошибки и не останавливаться в локальных минимумах. С учетом возмущения метод обратного распространения реализует следующее соотношение для приращения вектора настраиваемых параметров:

$$\Delta w_k = mc\Delta w_{k-1} + (1 - mc)lrg_k \quad (1)$$

где Δw_k - приращение вектора весов;

mc - параметр возмущения; lr - параметр скорости обучения;

g_k - вектор градиента функционала ошибки на k -й итерации.

При параметре возмущения равном 0 изменение вектора настраиваемых параметров определяется только градиентом.

Алгоритм градиентного спуска с выбором параметров скорости настройки (GDA) использует эвристическую стратегию изменения этого параметра в процессе обучения. Вычисляются вход и погрешность инициализированной сети. Затем на каждом цикле обучения новые значения настраиваемых параметров и новые значения выходов. Если отношение нового значения погрешности к прежнему превышает установленную величину, то новые значения настраиваемых параметров к вниманию не принимаются. При этом скорость настройки уменьшается с заданным коэффициентом. Если новая погрешность меньше прежней, то параметр скорости увеличивается с заданным коэффициентом. Такая стратегия способствует увеличению скорости обучения.

Алгоритм GD реализуется обучающей функцией `traingd`, алгоритм GDA – `traingda`, алгоритм GDM – `traingdm`, сочетание алгоритмов GDA и GDM – `traingdx`.

Пороговый алгоритм обратного распространения ошибки (Rprop) реализует следующую эвристическую стратегию изменения шага приращения параметров многослойных нейронных сетей, использующих в скрытых слоях сигмоидные функции активации. С целью повышения чувствительности метода наискорейшего спуска при больших значениях функции активации вместо самих значений производных используется только их знак. Значение приращения каждого настраиваемого параметра увеличивается с заданным коэффициентом увеличения всякий раз, когда производная по данному параметру сохраняет знак для двух последовательных итераций. Значение приращения уменьшается с заданным коэффициентом уменьшения. Соотношение коэффициентов таково, что при изменении знака от итерации к итерации шаг будет уменьшаться, а при изменении параметра в одном направлении – увеличиваться. Алгоритм реализуется функцией `trainrp`.

Алгоритм Левенберга-Марквардта (функция `trainlm`) реализует следующую стратегию для оценки матрицы Гессе. В предположении, что функционал определяется как сумма квадратов ошибок, что характерно при обучении нейронных сетей с прямой передачей, гессиан может быть приближенно вычислен как

$$H \cong J^T J, \quad (2)$$

а градиент рассчитан по формуле

$$g = J^T e, \quad (3)$$

где $J = \frac{\partial J}{\partial W}$ - матрица Якоби производных функционала ошибки по настраиваемым параметрам; e – вектор ошибок сети. Матрица Якоби может быть вычислена на основе стандартного метода обратного распространения ошибки, что существенно проще вычисления матрицы Гессе.

Алгоритм LM использует аппроксимацию гессиана следующего вида:

$$x_{k+1} = x_k - (J^T J + \mu I)^{-1} J^T e \quad (4)$$

при μ равном 0 выражение отображает метод Ньютона, когда значение μ велико – метод градиентного спуска с маленьким шагом. Поскольку метод Ньютона имеет большую точность и скорость сходимости вблизи минимума, то задача состоит в как можно скорейшем переходе к методу Ньютона. С этой целью параметр μ уменьшают после каждой итерации и увеличивают только при возрастании функционала ошибки.

Алгоритм SCG (функция `trainscg`), предложенный Моллером объединяет идеи метода сопряженных градиентов с квазиньютоновыми методами, в частности использует подход, реализованный в методе Левенберга-Марквардта, что позволяет сократить вычислительные затраты на каждой итерации.

Реализуя вышеописанные принципы на имеющихся выборках данных с применением вышеописанных алгоритмов в среде Matlab 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.

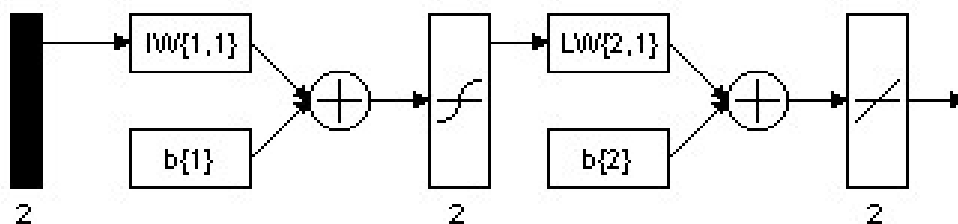


Рис. 3. Модель искусственной нейронной сети

Сравнение результатов обучения нейронных сетей при помощи разных алгоритмов обучения приведены в таблице 2.

Ошибка при обучении нейронных сетей

Таблица 2

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.

Для решения таких задач управления измельчением как оценка режима работы,

интерполяция данных, прогнозирование возможных состояний системы могут быть использованы различные виды нейронных сетей. Многослойные перцептроны являются наиболее удобными моделями для построения систем управления, поскольку обладают возможностью экстраполяции, построения функции любой сложности, в меньшей мере чувствительны к увеличению числа входных воздействий. На имеющихся выборках данных были обучены ряд нейронных сетей с различным числом нейронов в скрытом слое. Увеличение числа нейронов в скрытом слое приводило к повышению точности модели, однако, требовалось больше времени на ее обучение. Наименьшая ошибка обучения была достигнута при применении алгоритма обучения Левенберга – Марквардта, что делает его наиболее удобным при обучении перцептрона, описывающего мехатронную систему дробильно-помольного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. МАТЛАВ 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.
2. Каллан Р. Нейронные сети Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.- 280 с.
3. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.-182 с.
4. В.П. Розен, В.П. Калинин, А.В. Мейта, В.Г. Скосирев Оптимизация электропотребления дробильно-помольного комплекса// Энергетика: економіка, технологія, екологія – 2015. - № 1. – С. 43 – 47.
5. Мейта А.В. Исследование факторного поля шаровой мельницы //Энергетика: економіка, технологія, екологія – 2016. - № 1. – С. 96 – 101.
6. В.П. Розен, В.П. Калинин, О.В. Мейта, В.Г. Скосирев Факторний аналіз електроспоживання складових дробильно-помольного комплексу // Вісник Кременчуцького Національного Університету імені Михайла Остроградського- 2015 №6.- С.16-21.

УДК 541.64

ПЕРСПЕКТИВИ БІОПОЛІМЕРНОГО ПАКУВАННЯ В СФЕРІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Рабош І. О., аспірантка

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

У роботі проведений аналіз стану споживання пластикової плівки для пакування харчових продуктів. Представлені інноваційні технології виготовлення екологічно безпечної полімерної продукції. Визначені шляхи зниження кількості полімерних відходів завдяки використанню біополімерного матеріалу. Показані основні напрямки отримання полімерів, що розкладаються. Виконано оцінку найбільш перспективних технологій виробництва плівки в Україні.

Ключові слова: екологічно безпечна плівка, біополімери, деградація.

The paper analyzes the state of consumption of plastic film for packaging food products. Innovative technologies for manufacturing environmentally safe polymer products are presented. The ways of reducing the amount of polymer waste, using biopolymer material, are determined. The main directions of obtaining polymers are shown, which are decomposed. The estimation of the most perspective technologies of film production is made.

Key words: ecologically safe film, biopolymers, degradation.

Постановка проблеми. Наразі, зі значним споживанням полімерних плівкових матеріалів для пакування харчових продуктів та забрудненням навколишнього середовища відходами використаної упаковки, все більше уваги у світі приділяється технологіям виробництва екологічно безпечного пластикового матеріалу. Вони пов'язані з процесами модифікації полімерних композицій, біосинтезом, виробництвом самодеградуючих пластиків. Прикладами сучасного використання екологічно безпечних плівок в пакувальній галузі для харчової промисловості можуть слугувати розробки провідних науковців Німеччини, Швеції, Фінляндії, Канади та ін. Основні напрямки розвитку цих наукових досліджень, інженерних розробок та впроваджень у виробництво закладені в документах Директиви Європейського Союзу 96/61/ЄС від 24 серпня 1996 року [1].

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. У світі технологія виробництва екологічно безпечного полімерного пакування для харчових продуктів розвивається і чимало прикладів успішної виробничо-практичної реалізації наукових проектів [2, 3]. Прикладами розробок з використанням технологій біосинтезу при виробництві плівки можуть слугувати такі технологічні системи виробництва пакування:

- виготовлення біопакетів – оксоруйнівних полімерів, що розкладаються впродовж 1,5 років російською компанією «ЄвроБалт» [4];
- біорозкладний полімерний матеріал Novolon американської фірми Warner-Lambert (як складові містить тільки крохмаль та воду) [5];
- схема отримання пакування на базі промислового крохмалю Біопак (Біорас) німецькою фірмою Biologische Verpackungssysteme [5];
- виробництво біополімерного матеріалу на основі вуглеводів та жирних кислот німецькою фірмою Manziger Papierwerke [5];
- фірмою Archer Daniels Midland (США) розроблені концентрати марки Polyclean на основі поліетилену для одержання біоруйнівних плівок [6] та ін.

Загальною науковою проблемою є підвищення ефективності виготовлення екологічно безпечних пакувальних матеріалів для вирішення екологічної ситуації

накопичення пластикових відходів. Невирішеною частиною наукової проблеми є проведення техніко-екологічного обґрунтування використання технологій біосинтезу полімерних композицій у пакувальній промисловості України.

Метою роботи є аналіз сучасних технологій синтезу полімерних композицій та обґрунтування перспектив їх впровадження в Україні для вирішення проблеми утилізації відходів харчових плівок.

Задачі дослідження:

- провести аналіз сучасного стану споживання пластикової упаковки в Україні та світі загалом;
- показати основні напрямки створення полімерів, що розкладаються; визначити умови та ступінь їх деградації, вплив на харчові продукти тощо;
- визначити найбільш перспективні технології виробництва екологічно безпечних пакувальних матеріалів для зменшення кількості пластикових відходів.

Виклад основного матеріалу. За різними оцінками, до 40 % об'єму всіх відходів сьогодні складає саме полімерна продукція. В цілому ж, у світі переробляється всього 3 % від загальної кількості пластикових відходів [7]. Отже, український ринок споживання базових полімерних матеріалів продовжує залишатися серед найбільш широкомасштабних. Тільки упродовж 2010 – 2016 рр. середньорічний темп зростання споживання великотоннажних термопластів в Україні склав 24,6 %. Для порівняння, середньорічний приріст за цей же період у світі склав у середньому 4,4 %.

За даними Державного комітету статистики України, щороку в країні накопичується тільки твердих побутових відходів близько 50 мільйонів кубометрів (табл. 1) [8].

Таблиця 1 – Основні показники поводження з відходами

Поводження з відходами	Значення по роках, тис. тонн			
	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
Накопичено	419192	447641	450727	448117,6
Утилізовано, перероблено	145711	153687	143454	147177,9
Спалено	1058,6	1054,5	1215,9	918,7
Видалено у спеціально відведені місця та об'єкти	336952	277107	289627	288121,1

Як видно з табл. 1, в Україні у 2016 році утилізовано і перероблено всього 33 % утворених відходів. Для порівняння частка непереробленого сміття в середньому по ЄС становить близько 45 % [8]. За споживанням пластмас на душу населення економічно розвинені країни набагато випереджають країни, що розвиваються (табл. 2), причому кратність випередження, за прогнозами, збережеться й у 2020 р.

Слід зазначити, що сукупне споживання полімерних матеріалів, а разом з цим і накопичення відходів на душу населення в регіонах світу зростає в процентному відношенні швидше сукупного валового внутрішнього продукту. Цьому сприяють нові технології виробництва, завдяки яким розширяться області застосування пластикової продукції, причому головним чином шляхом витіснення традиційних металів, сплавів, кераміки.

Таблиця 2 – Об’єм споживання полімерних матеріалів у світі

Рік	Значення по роках, кг/рік на душу населення				
	Західна Європа	Північна Америка	Японія	Азія	Україна
1990	40	45	50	2	20
2010	98	101	84	17	23,3
2020	146	152	115	32	40

В даний час різні види пакувань для харчових продуктів в Україні виробляють з поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, полістиролу і їх модифікацій (рис. 1).

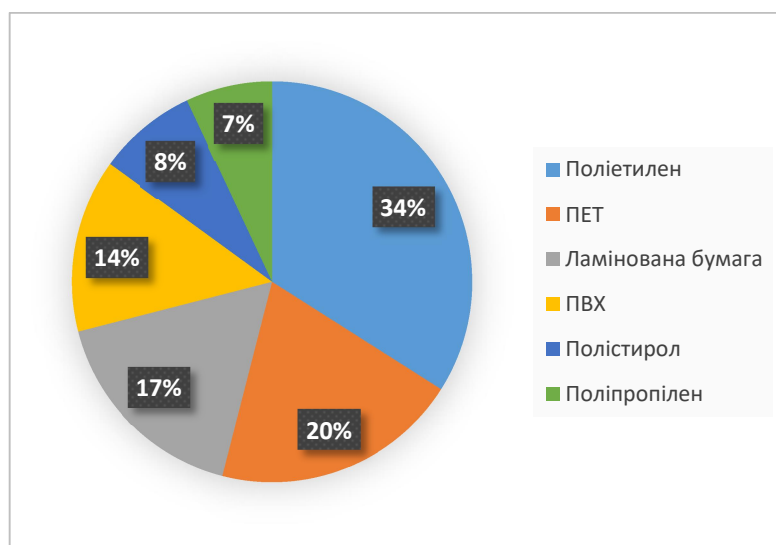


Рисунок 1 – Структура пластикових відходів за видами полімерів.

Однак, такі пакувальні матеріали несуть загрозу навколишньому природному середовищу, оскільки не розкладаються в природі та виділяють шкідливі хімічні речовини. Розв’язання даної проблеми можна досягти шляхом упровадження в пакувальній промисловості України екологічно безпечних технологій синтезу полімерних композицій для виготовлення харчових плівок [9]. За аналізом наукових досліджень екологічно безпечні полімерні пакування класифікують на декілька видів в залежності від матеріалу та області застосування (табл. 3) [10].

Створення екологічно безпечного пакувального матеріалу базується на дослідженні механізмів руйнування використаної упаковки. Розкладання полімерної продукції можливе завдяки розпаду макромолекулярних ланцюгів. Особливість процесів розкладу і засвоєння мікроорганізмами залежить від структури полімерів. Найголовнішими структурними елементами є молекулярна маса, хімічна природа полімеру, надмолекулярна структура та розгалуженість макроланцюга тощо [11].

Таблиця 3 – Торгові марки та застосування екологічно безпечних полімерних пакувань

Матеріал	Полімер	Торгова марка	Застосування
----------	---------	---------------	--------------

Синтетичні матеріали на основі крохмалю	ПЕ / крохмаль	Mater Bi Novon Fluntera Plast	Мішки для упаковки Упаковка
Спінені матеріали на основі крохмалю	Крохмаль картопляний та маїсовий	Hydroxypropyl	Упаковка
Модифікована целюлоза	Ацетат целюлози	Tabize Plastics Eastman Chemicals United Paper Mills	Упаковка
Полієфіри	Полігідроксibu-тірат, полілактонова кислота	PHBV ECO-PLA™	Термопласти і упаковка
Полієфіраміди	Полікапролактон	PCL PEA	Упаковки Упаковка, термопласти, волокна
Високомолекулярні спирти	Полівініловий спирт	POVAL M0W10L HYDROLENE	Упаковка, ламінати, розчинна упаковка

До основних напрямків створення полімерів, що розкладаються слід віднести наступні: біополімерне синтетичне пакування (включає застосування біотехнологій) [12]; фоторуйнівні матеріали на базі таймерних технологій [13]; пакувальні вироби, створені шляхом комбінування різних видів полімерних сполук [14].

Найбільш розвинений синтез біоруйнівних полімерів на базі гідроксикарбонових кислот. Полієфіри молочної, гліколевої, валеріанової, капронової кислот завдяки дії факторів навколишнього середовища здатні розкладатися на воду та вуглекислий газ.

Поширеним полієфіром є полілактид, котрий отримують конденсацією молочної кислоти. Його повний біорозклад при компостуванні (за 20–90 днів) проходить в два етапи. На першому етапі для формування молочної кислоти та інших невеликих молекул, ефірні групи частково піддають гідролізу, на другому – відбувається їх розклад за допомогою мікробів у визначеному середовищі [15]. Вироби з полілактиду застосовують для виготовлення ламінованого пакувального паперу, посуду для мікрохвильових печей, мішків для відходів, разового посуду, обгорток для харчових продуктів. Даний полієфір має ряд переваг у порівнянні з полістиролом, як традиційним синтетичним полімером, що найбільш широко використовується в пакувальній галузі України (табл. 4).

Природні органічні полімери (крохмаль, протеїн, целюлоза) застосовують в якості добавок до основної складової композиції, щоб забезпечити пакування разового використання необхідними властивостями. Утилізація таких матеріалів відбувається шляхом компостування з наступною повною біодеградацією. Також, багатошарові полімерні плівки, отримані з целюлози та крохмалю є досить стійкими до високих і низьких температур. Такі упаковки можна використати при розігріванні продуктів [16].

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика властивостей полілактиду і полістиролу

Властивості	Полілактид	Полістирол
Питома вага, г/см ³	1,26	1,04

Температура плавлення, °С	175	90—95
Міцність при розтягуванні, Мпа	50	50
Модуль пружності при згинанні, Мпа	34-70	3500
Міцність при згинанні, Мпа	102	100
Ударна в'язкість по Ізоду, Дж/м ²	18	20
Теплостійкість під навантаженням за Віка, °С	51	107
Молекулярна маса, г/моль	5000—10000	—
Проникність водяної пари за 24 год, г/м ²	72—300	15—4
Подовження при розтягуванні, %	216—223	1—1,5

Екологічно безпечні пакування на рослинній, тваринній та нафтохімічній основі широко розвинені. Тільки в Німеччині виробництво таких матеріалів щорічно подвоюється і вже досягло 5 тис. т на рік. В країні, таким чином, виготовляють одноразовий посуд, пакування для їдалень, ресторанів, стаканчики для йогурту. Встановлено, що полімери, синтезовані на основі молочного білка казеїну, при компостуванні біодеградують на протязі 45 днів.

Введення в полімер каталізаторів біопоходження дозволяє варіювати ступенем деструкції у природних умовах від 1 до 2-х місяців [16]. Біополімери також отримують на основі поліефірних сполук – полігідроксилалканоатів (ПГА). ПГА-біополімери одержують шляхом ферментації жирних кислот та полісахаридів. В аеробних умовах такі плівки розкладаються приблизно на 80 % протягом 30 діб, однак в анаеробних – розклад протікає повільно і залежить від інших факторів навколишнього середовища [17].

До плівок, отриманих біотехнологічним шляхом, відносять співполімер оксибутирату й оксивалерату. Ці полімери за фізичними та хімічними властивостями подібні до поліетилену, поліпропілену та полістиролу, але здатні до біодеградації за рахунок спеціальних водневих бактерій. В аеробному середовищі завдяки комбінованого впливу вологи та мікробів відбувається розклад на воду, вуглекислий газ та біомасу [16]. Таким чином, при аеробному компостуванні процес біодеградації плівки проходить дуже активно. Не виникає шкідливого впливу на ґрунтові води, не утворюються небезпечні сполуки і не виділяються неприємні запахи.

Наступним перспективним напрямком створення екологічно безпечного пакування є технології виробництва фоторуйнівних плівок. Такі пакування зазнають деструкції завдяки дії сонячного світла. Механізм фоторуйнування характерний для великої кількості полімерів, однак, в звичайних умовах відбувається довготривало. Щоб прискорити процес фотодегградації використовують каталізатори. Прикладом можуть слугувати біоматеріали з білків, котрим характерна вологостійкість.

У створенні рецептури таких композицій, велика увага приділяється добавкам. При цьому враховують наявність в молекулах добавок необхідних функціональних груп, що сприяють процесу фоторозкладу основного полімеру. Такі полімери, зазвичай, містять у своєму складі невелику кількість (3–5 %) світлочутливих добавок, наприклад пероксидів. Для реалізації такого напрямку утилізації відходів полімерної упаковки перспективними є таймерні технології. Основною особливістю цих технологій є «таймерність», яка закладається в полімерній композиції і забезпечує спрацювання механізму саморуйнування виробу через встановлений час. Ефективними в цьому відношенні є стеарати металів третього і четвертого періодів таблиці Д. І. Менделєєва [13].

Зараз активно проводять розробки створення рецептур полімерів шляхом застосування таймерних технологій. Перевага таких композицій полімерів полягає в тому, що вони розкладаються під дією сонячного світла на дрібні частини після наперед визначеного терміну. Далі відбувається знищення цих частин ґрунтовими мікроорганізмами, як наслідок, включення подібних матеріалів в загальний біологічний кругообіг. Завдяки практичному застосуванню фотодеградуючих полімерів виключається енергозатратний процес збирання і вторинної переробки використаної продукції. Сьогодні в промисловому виробництві впроваджені та активно використовуються технології отримання поліетиленових фоторуйнівних композицій і плівок на їх основі – рецептури 108–70 і 158–70 (з терміном використання 3–3,5 місяців).

Дослідженнями розроблено також технологію композитних плівок із пшеничної клейковини та ацетатфталату целюлози. Бар'єрні властивості цих плівок залежать від співвідношення компонентів [12]. Проникність композитних плівок для вологи та кисню нижча, ніж плівок із чистої клейковини та целюлози. З підвищенням концентрації клейковини у плівці її розчинність у кислоті й механічна міцність знижуються. Наприклад, для плівки, виготовленої із 6,5 %-ї емульсії сироваткового білка з додаванням гліцерину і до 0,1 % стеаринової кислоти, збільшення концентрації останньої приводить до зниження проникності плівки для водяної пари та розчинності білка, але механічні властивості плівки при цьому погіршуються [17].

За даними експертів, нанесені на полімерну упаковку препарати Полісепт і Аллюцид забезпечують тривале зберігання хлібобулочних, м'ясних, рибних, овочевих та інших продуктів.

Висновки. Створюючи нові полімерні матеріали, здатні до біодеструкції, потрібно враховувати усі недоліки вже існуючих біополімерів. Упровадження екологічно безпечних технологій виготовлення пакувальних матеріалів для харчової промисловості в Україні дозволить знизити кількість полімерних відходів. У даний час у харчовій промисловості практичне застосування отримали плівки на основі таких природних біополімерів, як целюлоза, хітин, желатин, казеїн. Особливий інтерес представляє для науковців крохмаль як найбільш дешева сировина.

Найпоширенішими на світовому ринку сьогодні є полімери з полілактиду, дещо меншою популярністю користуються матеріали на основі целюлози. В основному ведуться дослідження в напрямку створення чистих біодеградуючих плівок, на відміну від розробки фотодеградуючих з регульованим терміном експлуатації, особливістю яких є здатність після певного часу розкладатись під дією світла на дрібні фрагменти.

Література

1. Офіційний вісник Європейського Союзу. Директиви. [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: http://www.greenmind.com.ua/images/2016/dir_2010_75_ua.pdf – Назва з екрана.
2. Биоразлагаемые полимеры – современное состояние и перспективы использования / Ф. Ш. Вільданов, Ф. Н. Латипова, П. А. Красуцький, Р. Р. Чанишев. // Башкирський хімічний журнал. – 2012. – №1. – С. 135–139.
3. Воинов Н. А. Биопакетировка – альтернатива синтетическому пластику. Современное состояние и направление работ по разрушаемому биопластику / Н. А. Воинов, Т. Г. Волова // [Електронний ресурс] : [Сайт]. - Режим доступу: <http://medbe.ru>. – Назва з екрана.
4. Мырнин В. Н. Вторичная переработка полимерных материалов в Европе: новые и проверенные решения / В. Н. Мырнин // Полимерные материалы – 2013. – № 9. – С. 22 – 29.

5. Науково-інформаційний журнал “В мире науки” [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: <http://www.sciam.ru>. – Назва з екрана.
6. Балов А. Мировой рынок биополимеров / А. Балов, О. Ашпина // . – 2012. – №3. – С. 48 – 53
7. Маркетинговое исследование рынка биоразлагаемой упаковки. Декабрь 2016 года. Департамент маркетинговых исследований Research Techart. [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: www.researchtechart.ru. – Назва з екрана.
8. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Назва з екрана.
9. Колосов О. Є. Технологія пакувального виробництва: [навч. посібник] / О. Є. Колосов. – К.: ВПК «Політехніка», 2015. – 247 с.
10. Буряк В. П. Биополимеры – настоящее и будущее / В. П. Буряк [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: <http://www.polymerbranch.com/3988c7f88ebcb58c6ce932b957b6f332/9632de50197947c6b268/magazineclause.pdf>. – Назва з екрана.
11. Бартнев Г. М. Физика и механика полимеров / Г. М. Бартнев, Ю. В. Зеленец. – М.: Высшая школа, 1983. – 256 с.
12. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес; пер. с англ. 2 - го изд.; под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб.: Профессия, 2011. – 560 с.
13. Стеарат кобальта [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: <http://www.sis.ru/index.php/ru/cobalt/cobalt-stearate>. – Назва з екрана
14. Промислова екологія – Ресурсоенергозбереження у галузі переробки полімерів [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: <http://eco.com.ua/content/resursoenergozberezhennya-v-galuzi-pererobki-polimeriv> – Назва з екрана.
15. Плетнев М. Биополимеры как материал для экологической упаковки в фокусе полилактаты / Михаил Плетнев // greenpeace. – 2004. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/2004/2/29608.pdf>. – Назва з екрана.
16. Балов А. Мировой рынок биополимеров / А. Балов, О. Ашпина. // 2012. – № 3. – С. 48–53.
17. Роговина С. З. Исследование термостабильности смесей на основе синтетических полимеров и природных полисахаридов / С. З. Роговина, А. В. Грачев, К. В. Алексанян, Э. В. Прут // Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 45–50.

УДК 502/504

Слецька Ілона, студ. 3 курсу,
Кофанова Олена Вікторівна, д.пед.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НЕБЕЗПЕКИ ЗМІНИ КЛІМАТУ ВНАСЛІДОК ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА)

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано дані Центральної геофізичної обсерваторії стосовно кліматичних показників по м. Києву (середніх річних температур) за останні 50 років (1966–2016 рр.), визначено тенденції сезонних змін температури міського повітря; зроблено висновок щодо небезпечності змін клімату під впливом антропогенної

діяльності.

ANNOTATION

Data of the Central geophysical observatory concerning climatic indicators around Kiev (average monthly temperatures) for the last 50 years (1966-2016) are analysed, tendencies of seasonal changes of temperature of the city air are defined; the conclusion concerning danger of climate changes as a result of human activity is drawn.

Вступ та аналіз стану питання. Бурхливий розвиток нашої цивілізації спричинює зміни кліматичних чинників нашої планети. Зміни клімату, що спостерігаються останніми роками, збільшують кількість екологічних біженців, а також витрати держав на подолання наслідків екологічних лих. На майбутнє вчені прогнозують різкі зміни клімату, зокрема передбачають засухи, що здатні зменшити врожай на 30 % до 2080 року. Це, у свою чергу, спричинить підвищення цін на продукти, збільшить рівень бідності та соціальної нерівності по всьому світу. Екологічні зміни мають вплив і на здоров'я людини, так збільшаться ризики захворювання на малярію та діарею [1]. Отже, з метою зменшення забруднення повітряного середовища шкідливими речовинами (ШР) у 2016 році 194 країни-члени Рамкової конвенції ООН підписали Паризьку угоду, чим зобов'язалися скоротити викиди ШР, у тому числі й парникових газів (ПГ) до 2018 року з метою запобігання підвищенню загальної температури на 2 °C [2].

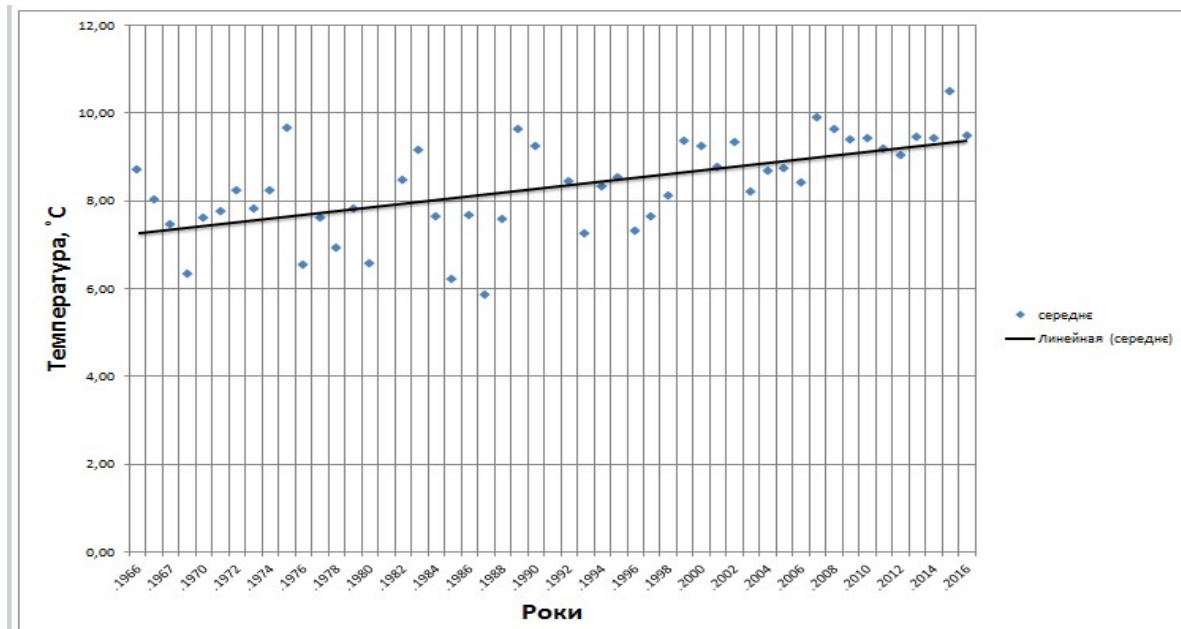
Мета роботи: проаналізувати сезонні зміни температурних показників у м. Києві та зробити висновок щодо причин цих явищ, негативних наслідків для людства та заходів зі зменшення антропогенного тиску на довкілля.

Матеріали і результати досліджень. До основних газів, що спричинюють парниковий ефект, належать: вуглекислий газ, метан, оксид азоту, гідрофторвуглецеві сполуки, перфторвуглецеві сполуки, гексафторид сірки. Зокрема внаслідок спалювання високовуглецевого нафтового палива електростанціями, металургійними заводами і автомобільним транспортом виділяються великі обсяги вуглекислого газу CO₂; у фермерському господарстві основними джерелами метану CH₄ є корови і рисові поля. Вплив останніх зумовлений тим, що при підвищенні концентрації вуглекислого газу вони починають виробляти більшу кількість метану (цей факт був виявлений у 2012 р.). Метан виділяється також зі сміттєвих звалищ, вулканів тощо, а використання добрив у агропромисловому секторі спричинює виділення оксиду азоту (I) N₂O.

Загальновідомо, що глобальне потепління характеризується не тільки підвищенням температури, а й різкими її перепадами, зростанням різниці сезонних температур, що спричинює різноманітні стихійні лиха. Сьогодні температурні аномалії помітні навіть "неозброєним оком" звичайних громадян. А фахівці відмічають, що, за даними спостережень на приблизно 6 300 метеорологічних станціях світу, лютий 2016 та 2017 рр. мали аномально високі показники температури за останні 137 років спостережень. Так, температура у лютому 2016 року на 1,3°C перевищила показники середньої температури у лютому за період 1951–1980 рр., а у лютому 2017 року – на 1,1°C. Також аномальні зміни спостерігалися в січні та квітні 2017 року [3].

Загальне підвищення температури, за результатами аналізу даних NASA з 1880 року, набуває значення 0,99°C у 2016 році. Розрахунки показують, що при підвищенні глобальної температури лише на 2 °C рівень води в океані може підвищитись на 2,9 метри, а при підвищенні температури на 4 °C – на 8,9 м, що ставить під загрозу затоплення таких міст, як Лондон, Шанхай, Мумбаї, Сідней, Ріо-де-Жанейро, Дубаї та Нью-Йорк [4], а південна частина України може буде затоплена повністю.

У Києві моніторинг стану навколишнього середовища, а також спостереження за погодними умовами проводяться під керівництвом та за участю Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО). На рис. 1 показано коливання середньої температури по м. Києву за період з 1966–2016 рр. [5]. Як можна побачити, за останні 50 років спостерігається стійка тенденція до підвищення середньої річної температури у місті [5; 6].



Рисунк 1. Середні температурні значення для м. Київ, за період 1966-2016 рр.

Найнижчі значення середніх температур за досліджений період спостерігалися у 1987 році, а після 1998 року середня температура по м. Києву перевищує значення 8 °C. Дана тенденція до підвищення температури наглядно ілюструє зміни клімату у м. Київ. На рис. 2 і 3 зображено сезонні зміни температури за останні 10 років. Як можна побачити, спостерігається загальна тенденція до підвищення температури у всіх сезонах року.

У зимовий період наявні також різкі коливання температури, максимальні значення зафіксовані у 1996 році, максимальне наближення до середньої температури взимку - у 2006 році. Максимальне наближення температури у весняний період до середнього значення температури за всі 10 років весною помічено у 2007 році. Найвищі температури було зафіксовано у 2006 та 2014 роках.

Літній період характеризується неявно вираженою тенденцією до підвищення середніх температур та досить значними коливаннями температур. У 2007 році спостерігається максимальне наближення до середньої температури впродовж всіх років. Найвищу температуру літку було зафіксовано у 2010 році. Осінньому періоду притаманний температурний стрибок з 2006 до 2007 роки. Максимальний збіг температурного тренду із загальним середнім показником відмічено у 2007 році.

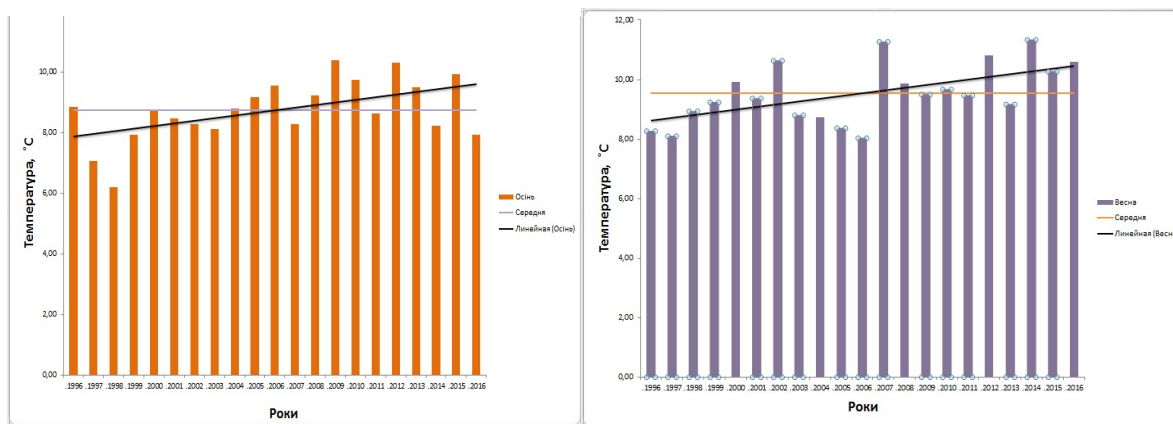


Рисунок 2. Зміни температури у весняний та осінній періоди року (1996–2016 рр.)

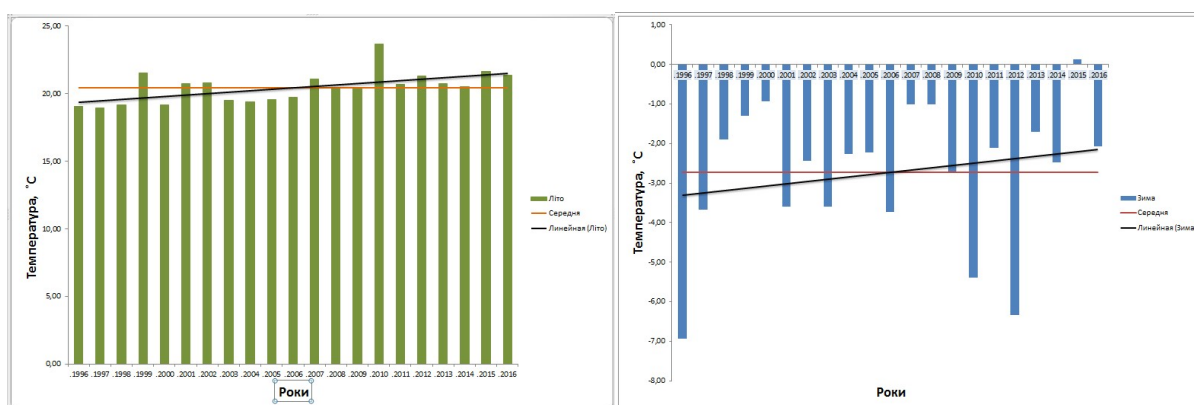


Рисунок 3. Зміни температури у зимній та літній пори року (1996–2016 рр.)

Загальновідомо, що розвинута транспортна мережа м. Києва – столиці України кожної хвилини створює викиди шкідливих речовин через спалювання традиційного нафтового моторного палива. Все це призводить не тільки до викидів небезпечних парникових газів, але й до накопичення теплової енергії у атмосфері, що впливає на підвищення температури по місту, сприяє загальній зміні його кліматичних умов.

Висновок. Таким чином, для зменшення кількості шкідливих викидів у атмосферне повітря міста, зниження загальної частки у глобальній зміні клімату та запобігання різким змінам клімату, необхідно на законодавчому рівні провести кардинальні зміни у паливно-енергетичному комплексі України шляхом зменшення відсоткового співвідношення викопного палива для двигунів автомобілів. Необхідно також встановити більш жорсткі нормативні значення викидів шкідливих речовин автотранспортом та створити систему заохочень і штрафів за виконання чи порушення цих норм, стимулювати розвиток екологічного мислення пересічного українця.

Література

1. Глобальне потепління. Як Земля змінює обличчя. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://tsn.ua/special-projects/warming/>.
2. Paris Agreement [Електронний ресурс] // United Nations. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf.

3. Posted Mar. February 2017 Was Second Warmest February On Record [Електронний ресурс] / Posted Mar // NASA Goddard Institute for Space Studies. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/news/20170315/>.

4. Benjamin Strauss. Images Show Impact of Sea Level Rise on Global Icons [Електронний ресурс] / Benjamin Strauss // Climate Central. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.climatecentral.org/news/global-icons-at-risk-from-sea-level-rise-pictures-19633>.

5. Середні місячні температури повітря по м. Києву за багаторічний період [Електронний ресурс] // Центральна геофізична обсерваторія. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1.

6. Центральна геофізична обсерваторія. Про стан забруднення навколишнього природного середовища у м. Києві і Київській області. – [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv&p=1

УДК 502/504

Яретик Оксана Віталіївна, студ. 2 курсу,
Кофанова Олена Вікторівна, д.пед.н., к.х.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРИДОРОЖНЬОГО ПРОСТОРУ МІСТА КИЄВА

У статті розглянуто джерела утворення і сезонні зміни концентрації забруднюючих речовин міського повітряного середовища (зокрема, оксидів Нітрогену та формальдегіду) на прикладі однієї з найбільш напружених автомагістралей м. Києва, а також їх негативний вплив на здоров'я людини. Показано, що концентрації цих речовин у деякі періоди значно перевищують гранично допустимі величини.

The main sources of pollution and seasonal changes in the concentration of the urban air pollutants (in particular of nitrogen oxides and formaldehyde) were considered in the article on the example of one of the main Kyiv motorways. Their negative impact on human health was also considered. It was found that concentrations of these substances in some periods significantly exceed maximum permissible values.

Вступ та аналіз стану питання. На сьогоднішній день актуальним питанням є забезпечення якості атмосферного повітря великих міст та урбанізованих територій. Значення повітря у життєдіяльності людини, тварин, рослин тощо настільки велике, що неможливо навіть уявити собі наше життя без нього; повітряний басейн бере участь майже в усіх хімічних, фізико-хімічних та біохімічних процесах на планеті. Крім того, за різними даними, саме стан навколишнього природного середовища становить 20–30 % усіх факторів людського здоров'я.

На якість атмосферного повітря впливають багато чинників, але у великих промислових центрах близько 80 % усіх забруднень (а у деяких мегаполісах – навіть до 90 %) приходиться на автомобільний транспорт [1]. Шкідлива дія автотранспортного комплексу (АТК) на повітряне середовище великих міст відбувається в основному внаслідок неповного спалювання моторного палива – бензину, дизельного палива та ін. При цьому обсяги і хімічний склад викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами залежать як від конструкції і марки автотранспортного засобу (АТЗ), так і від виду та якості пального, технології його виробництва, способів подачі паливно-

повітряної суміші та режиму спалювання її у двигуні, технічного стану двигуна, метеорологічних умов, режиму руху автомобіля на міських автомагістралях, стану автодоріг тощо.

На думку провідних учених, швидкість накопичення забруднюючих речовин (ЗР) наразі значно перевищує здатність атмосфери до самоочищення, тому виявлення джерел забруднення, моніторинг та вивчення процесів, що відбуваються в повітряному середовищі, а також прийняття заходів, спрямованих на зниження або повне усунення забруднень, є життєво важливими завданнями. З метою запобігання забруднення навколишнього природного середовища шкідливими компонентами відпрацьованих газів (ВГ) автомобілів у країнах ЄС було прийнято жорсткі стандарти щодо викидів ВГ АТЗ та якості моторного палива (скорочено – Євро 2...6).

Вимоги до якості пального визначаються показниками якості, які встановлюються в нормативно-технічній документації. Зокрема в хімотології (прикладна технічна наука про властивості, якість та раціональне використання паливно-мастильних матеріалів) властивості нафтопродуктів за їх найважливішими ознаками поділяють на фізико-хімічні та експлуатаційні. Фізико-хімічні властивості палива (густина, в'язкість, випаровуваність, температури спалаху, помутніння, застигання, вміст механічних домішок, води та ін.), як правило, визначають за стандартними методиками у лабораторних умовах, а експлуатаційні – за стендовими чи натурними випробуваннями (враховуючи спеціальні режими руху АТЗ).

Таким чином, спрямування нашої країни на євроінтеграцію потребує суттєвої екологізації АТК за рахунок удосконалення технічного стану автотранспортних засобів, будівництва сучасних швидкісних автомагістралей, забезпечення відповідності якості моторного палива європейським стандартам, мінімізації викидів ЗР (полютантів) з відпрацьованими газами та ін.

Мета роботи: проаналізувати стан атмосферного повітря в столиці України – м. Києві поблизу напруженої автомагістралі – проспекту Перемоги, виявити найбільш значущі чинники тиску з боку автотранспорту та його інфраструктури на навколишнє природне середовище.

Матеріали і результати досліджень. Для визначення забрудненості атмосферного повітря у нашому місті Центральною геофізичною обсерваторією (ЦГО, м. Київ) кожного місяця відбирається та аналізується на вміст 20 забруднюючих домішок більше 6,5 тис. проб [2]. Головними забруднювачами є завислі речовини, діоксид Сульфуру, оксид Карбону та діоксид Нітрогену (оксиди Нітрогену). Зі специфічних домішок визначаються сірководень, фенол, фтористий водень, хлористий водень, амоніак, формальдегід, 8 важких металів та ін. Причому склад останніх визначається в залежності від викидів ЗР в атмосферу від підприємств, що розташовані в зоні постів спостережень (ПС).

Спираючись на дані Центральної геофізичної обсерваторії [2], проведено дослідження якісного та кількісного складу забруднення придорожного повітряного середовища м. Києва за такими речовинами, як оксид Нітрогену (IV) NO_2 та формальдегід $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$. Ці забруднюючі речовини обрано для оцінювання стану міського повітряного середовища, оскільки попередній аналіз даних виявив стійке підвищення концентрації саме цих речовин у повітрі м. Києва (за даними щомісячних бюлетенів забруднення атмосферного повітря в м. Києві та містах Київської області за періоди 2013; 2014 та 2015 рр.).

Для збору і аналізу даних обрано такі пости спостережень ЦГО (рис. 1):

- № 02 – вул. Довженка, 8;
- № 06 – пл. Перемоги;
- № 07 – Бессарабська пл.;
- № 11 – просп. Перемоги, 98/2,

оскільки ці пости знаходяться поряд з великими і напруженими магістралями, зокрема, поряд з проспектом Перемоги.

Оцінка стану забруднення повітряного середовища міста проводилась шляхом порівняння з відповідними гранично допустимими концентраціями (ГДК) речовин у повітрі населених міст [2]. Відомо, що ГДК поділяють на середньодобові (ГДКс.д.), і з ними порівнюються середні концентрації, та максимально разові (ГДКм.р.), і з ними порівнюються разові максимальні концентрації шкідливих речовин.

У результаті неповного спалювання в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) моторного палива у вихлопах автомобіля (відпрацьованих газах) міститься шкідлива домішка – формальдегід (альдегід мурашиної кислоти), який викидається разом з іншими незгорілими вуглеводнями. Спеціалістами встановлено, що викиди формальдегіду, наприклад, карбюраторними двигунами автобусів, що працюють на газі, у 20 разів нижчі, ніж у двигунів автобусів, що працюють на дизельному паливі (солярці) [3].

Формальдегід – безбарвний газ з різким запахом, має 2-й клас небезпеки речовини, тобто є високонебезпечним. Він занесений до списку потенційно канцерогенних речовин (речовини, що здатні спричинювати захворювання на рак). Основний шлях потрапляння формальдегіду до організму людини – інгаляційний. Відомі його порогові значення концентрацій: поріг запаху – 0,07–0,2 мг/м³; поріг рефлекторної відповіді – 0,04–0,098 мг/м³; поріг подразнюючої дії на слизисту ока людини – 0,012 мг/м³ [2]. У залежності від концентрації та індивідуальної чутливості формальдегід надає побічні дії на центральну нервову систему, спричинює головні болі, втому та пригніченість. Можуть проявлятися такі симптоми отруєння, як депресія, тяжке дихання, судоми вночі тощо. Також може спричинювати астматичні напади, особливо у дітей.



Рисунок 1 – Мапа розташування стаціонарних постів спостережень ЦГО [2].

Особливо небезпечним є те, що формальдегід здатний накопичуватися в

організмі людини, оскільки важко виводиться з організму. При постійному його впливі на організм (а саме це й відбувається при його надмірних викидах автотранспортними засобами) може спричинювати генні мутації. Більш того, формальдегід не тільки індукує соматичні мутації, небезпечні для життя конкретного організму, але ці мутації, накопичуючись, передаються нащадкам людини, а, отже, відбиваються і на наступних поколіннях. На рис. 2–5 показано сезонну динаміку середньодобових концентрацій формальдегіду на обраних для дослідження постах спостережень.

Утворення оксидів Нітрогену NO_x відбувається у процесі згорання органічного палива при високих температурах. Кінцевим продуктом окиснення оксидів Нітрогену є діоксид Нітрогену, або оксид Нітрогену (IV) NO_2 . На рис. 6–9 показано сезонну динаміку середньодобових концентрацій оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень.



Рисунок 2 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень взимку.

Середньодобові концентрації H_2SO навесні

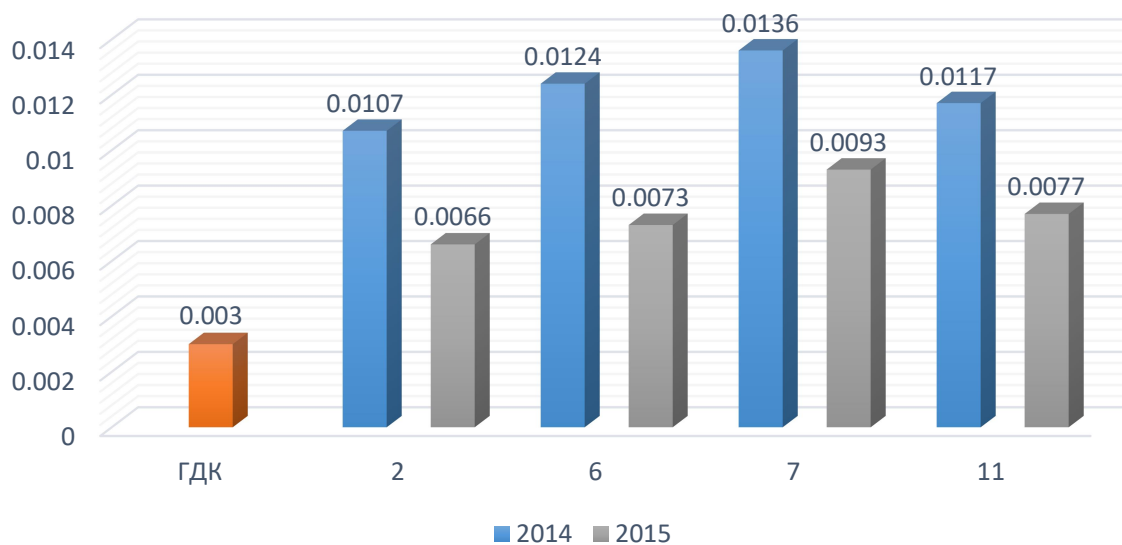


Рисунок 3 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень навесні.

Середньодобові концентрації H_2SO влітку

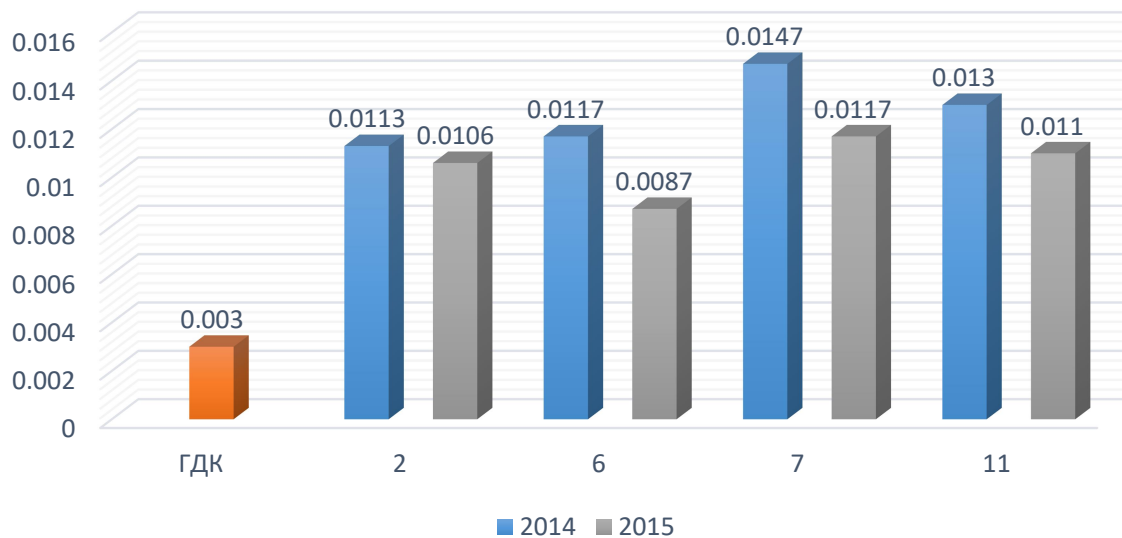


Рисунок 4 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень влітку.

Середньодобові концентрації H_2SO восени

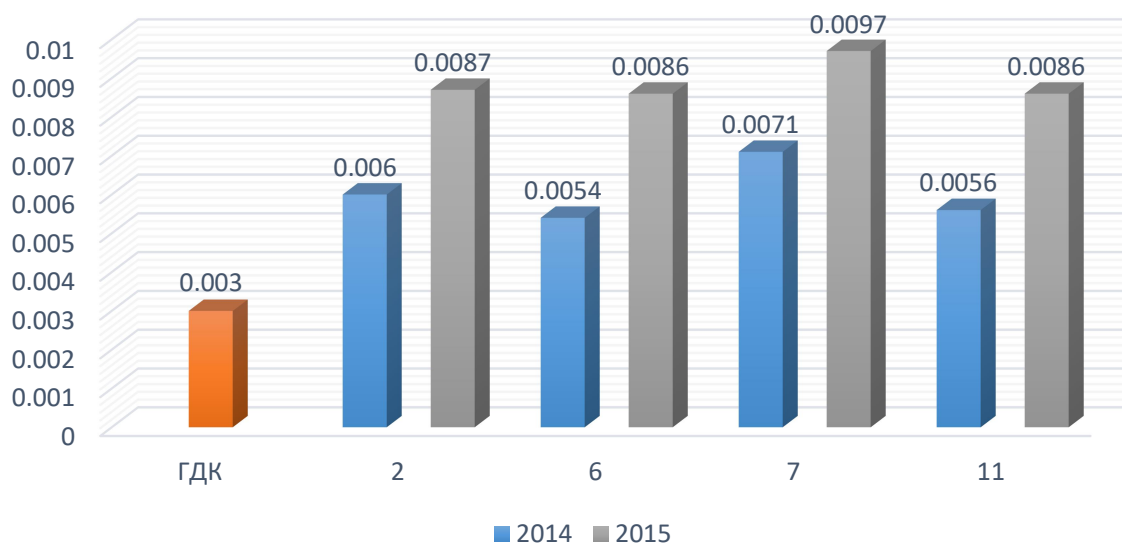


Рисунок 5 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень восени.

Середньодобові концентрації NO_2 взимку

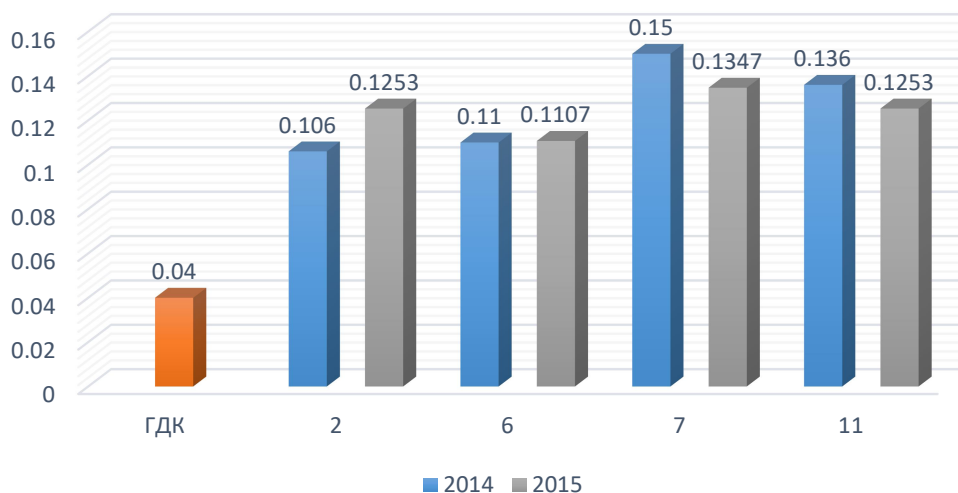


Рисунок 6 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень взимку.



Рисунок 7 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень навесні.



Рисунок 8 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень влітку.

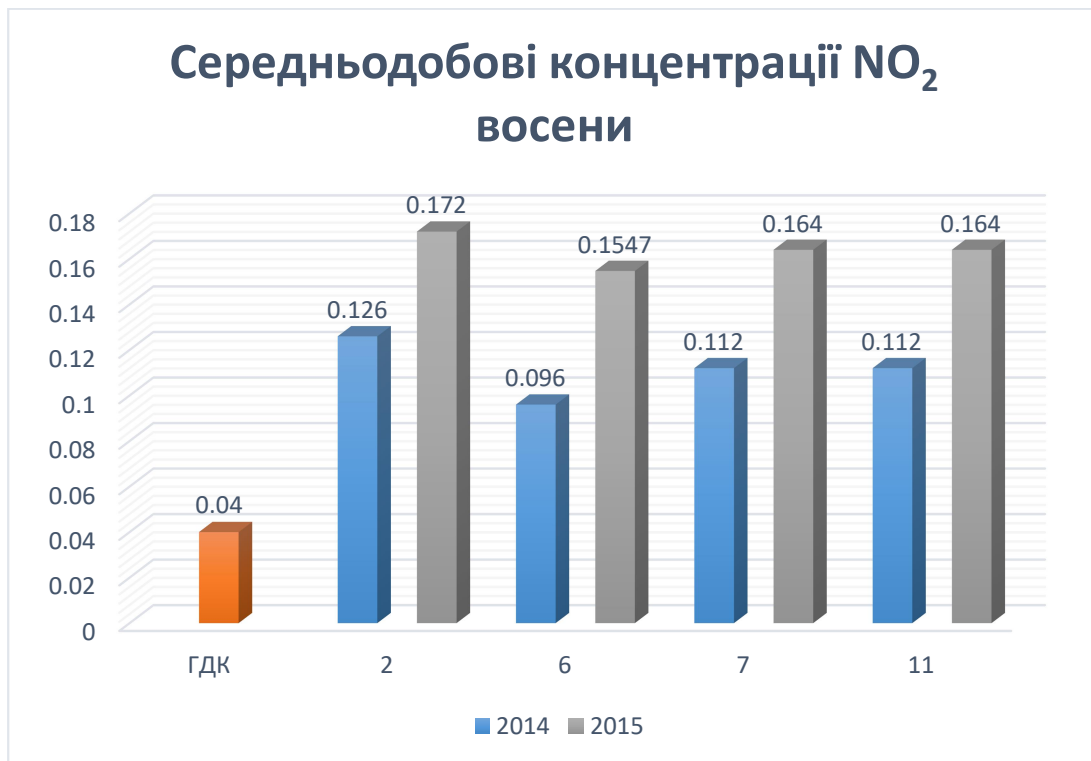


Рисунок 9 – Середньодобові концентрації оксиду Нітрогену (IV) на обраних для дослідження постах спостережень восени.

Оксид Нітрогену (IV) – бурий газ з характерним неприємним запахом, дуже отруйний. Ця речовина спричинює сильне подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, сенсорні, функціональні та патологічні ефекти – наприклад, послаблює нюх, нічний зір тощо (при концентрації 0,14 мг/м³), суттєво ускладнює дихання (при концентрації 0,056 мг/м³ у здорової людини) [1, 2].

Окрім того, патологічний вплив діоксиду Нітрогену проявляється у тому, що він робить людину більш сприйнятливою до патогенів, які провокують хвороби дихальних шляхів. У людей, які зазнали впливу високих концентрацій діоксиду Нітрогену, частіше спостерігаються катар верхніх дихальних шляхів, бронхіти, круп і запалення легенів. Окрім того, потрапляючи в організм людини, NO₂ при контакті з вологою утворює слабку азотисту (нітритну) та сильну азотну (нітратну) кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легенів. При цьому стінки альвеол і кровоносних капілярів стають настільки проникними, що пропускають сироватку крові в порожнину легенів. У цій рідині, в свою чергу, розчиняється повітря, що вдихає людина, та утворюється піна, яка перешкоджає подальшому газообміну. Отже, виникає набряк легенів, який може призвести до летального результату.

Тривала дія оксидів Нітрогену спричинює розширення клітин в корінцях бронхів (тонких розгалуженнях повітряних шляхів альвеол) і, як наслідок, погіршення опірності легенів до бактерій, а також розширення альвеол. За деякими дослідженнями відомо, що в районах з високим умістом в атмосфері діоксиду Нітрогену спостерігається підвищена смертність від серцевих і ракових захворювань [1].

Висновок. Таким чином, спостереження за станом повітряного середовища м. Києва показали стабільне перевищення у місті концентрації діоксиду Нітрогену та формальдегіду на ПС, розташованих поблизу напружених автомагістралей. Зокрема вміст діоксиду Нітрогену за середньомісячними та максимальними концентраціями перевищував відповідні санітарно-гігієнічні нормативи на всіх досліджуваних постах. Середньомісячні концентрації формальдегіду також значно перевищували ГДС_{сс} на

досліджених ПС.

Література

7. Глобальне потепління. Як Земля змінює обличчя. [Електронний ресурс]:[Сайт]. – 2017. – Режим доступу: <http://tsn.ua/special-projects/warming/>. – Назва з екрана.
2. Центральна геофізична обсерваторія. **Про стан забруднення навколишнього природного середовища у м. Києві і Київській області.** – [Електронний ресурс] : [Сайт]. – Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv&p=1. – Назва з екрана.
3. Posted Mar. February 2017 Was Second Warmest February On Record [Електронний ресурс] / Posted Mar // NASA Goddard Institute for Space Studies. – 2017. – Режим доступу: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/news/20170315/>. – Назва з екрана.
4. Середні місячні температури повітря по м. Києву за багаторічний період [Електронний ресурс] // Центральна геофізична обсерваторія. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1. – Назва з екрана.

УДК 504:331.546:378:725(043.2)

О.Г. Пивоваров, старший викладач,

Національний авіаційний університет

О.Ю. Осипенко, аспірант, *Національний авіаційний*

університет

СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА» ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ АРХІТЕКТОРІВ

Анотація: У статті висвітлено структуру, зміст, основні завдання та структура і методика навчальної дисципліни «Екологічні аспекти формування архітектурного середовища» та її місце у фаховій підготовці майбутніх майбутніх архітекторів в університеті, що навчаються за спеціальністю 191 Архітектура та містобудування.

Ключові слова: екологічні аспекти, архітектурне середовище, майбутній архітектор, екологізація, фахова підготовка, екологічне зростання

Abstract: The article deals with the structure, content, structure and basic tasks and methods of discipline "Environmental aspects of architectural environment" and its place in the professional training of future architects of the future at the university enrolled 191 specialty architecture and urban planning

Keywords: environmental aspects, architectural environment, future architect, greening, professional training, environmental growth

Постановка проблеми. Сьогодні архітектурно-будівельні установи висувають підвищені вимоги до рівня професійної підготовки фахівців архітектурної галузі, оскільки діяльність архітектора зумовлена вимогами часу та науково-технічним прогресом. Архітектурна діяльність як соціально-виробнича система складається з взаємопов'язаних підсистем: освітньої, проектно-виробничої. Екологічна підготовка архітекторів у системі вищої освіти не відповідає вимогам сьогодення, окрім того, не

забезпечує соціального замовлення суспільства на найближче майбутнє у зв'язку з бурхливим розвитком передових напрямків науково-технічного прогресу.

В даний час постала нагальна потреба в кваліфікованих фахівцях, які досконало володіють і вміють: застосовувати сучасні екологічні знання для ефективного вирішення творчих задач при проектуванні архітектурного середовища, досліджувати і враховувати екологічні вимоги до об'єктів проектування, досліджувати ефективність використання екологічно безпечних будівельних конструкцій та матеріалів, володіють основними положеннями чинних нормативних документів для проектування екологічного безпечного середовища життєдіяльності, з формованих компетентних креативних фахівців нового покоління, підготовлених для здійснення професійної діяльності.

Аналіз стану питання: Останнім часом з'явилось багато праць, які вивчали проблему підготовки майбутніх архітекторів у системі вищої освіти а саме: К. Алабяна, Л. Бачинської, Б. Бархіна, Є. Білоусова, Ю. Волчок, Н. Докучаєва, М. Дьоміна, В. Єжова, О. Кащенко, Л. Ковальського, Г. Лаврика, І. Лежави, В. Мироненка, Т. Панченка, О. Слепцова, В. Тімохіна, В. Товбича, В. Уреньова, В. Усова, Г. Фільварова, У. Кисельової, І. Ніколаєва, М. Никольського, Н. Нечаєва, Е. Левінсона, С. Хан-Магомедова, Л. Холодової, М. Яковлева, О. Чемакіна, Ю. Дорошенка, Ю. Ковальова, О. Трошкіна, Л. Бармашина, Г. Болотова., Бірілло І.В. Фахову підготовку архітекторів вивчали (Болотова В., Вербицький А., Георге В., Ковальчук Г., Райковська Г., Саган О., Северин Н., Сподін Л.). За результатами аналізу і педагогічної практики можна зробити висновки, що незважаючи на зростання кількості досліджень у галузі, відсутні фундаментальні дослідження із вирішення багатьох проблем фахової підготовки майбутніх архітекторів, що дає простір для ретельного вивчення цього питання

Мета роботи: є висвітлення особливості структури і змісту навчальної дисципліни «Екологічні аспекти формування архітектурного середовища» та її місце у фаховій підготовці майбутніх архітекторів в університеті.

Основні результати дослідження. Знання здобуваються, засвоюються, привласнюються і активно застосовуються. Вони є суцільно індивідуальними. Щоб знання набули певного статусу, стали об'єктивним відображенням існуючої реальності, надана інформація від самого початку має пов'язуватися з певною діяльністю і засвоюватися поетапно в її контексті. А контекст професійної діяльності у навчальному процесі створюється за допомогою спеціально створених педагогічних ситуацій. Створення педагогічних ситуацій у процесі контекстного навчання відбувається з орієнтацією на майбутню професійну діяльність студента з урахуванням етапності процесу засвоєння знань. Системна інтеграція знань має відбуватися протягом всього процесу формування, становлення і розвитку майбутнього архітектора, як професіонала: *Пропедевтична підготовка → професійна підготовка у вузі → професійне екологічне зростання, саморозвиток.* Структура наскрізної екологічної підготовки майбутніх архітекторів у Національному авіаційному університеті (НАУ) за освітнім ступенем «Магістр» 2017 року включає: цикл дисциплін вільного вибору студентів, у яких безпосередньо відбувається екологічна підготовка майбутніх архітекторів.

Для вільного вибору студента було запропоновано три дисципліни, а саме: *«Екологічні аспекти формування архітектурного середовища», «Архітектурна екологія» та «Екологізація будівель і споруд»* в яких використовуються вміння та навички, отримані при базовій професійній та екологічній підготовці, всього навчального процесу (використання екологічних знань в циклах підготовки архітекторів усіх дисциплін). Одна з навчальних дисциплін **«Екологічні аспекти формування архітектурного середовища»** входить в блок дисциплін, у яких використовуються вміння та навички, отримані при базовій професійній підготовці.

Оскільки, наслідком розвитку науки і техніки є особливе знання екологічних засад природокористування та доцільне їх використання в процесі архітектурної діяльності.

Вивчення студентами дисципліни " **Екологічні аспекти формування архітектурного середовища** " відбувається з урахуванням і застосуванням усього комплексу знань, які вони також паралельно отримують при вивченні наступних дисциплін: «Законодавство та архітектурно-проектна справа», «Дизайн архітектурного середовища», «Сучасні проблеми архітектури та містобудування», «Архітектурне проектування», та є базою для вивчення таких дисциплін, як: «Реконструкція і реставрація будівель і споруд», «Геометричне моделювання в архітектурному середовищі», «Комп'ютерні технології в архітектурному проектуванні».

Навчальна дисципліна «**Екологічні аспекти формування архітектурного середовища**» читається на 1 курсі в 2 семестрі для освітнього ступеня «Магістрів» архітекторів. Обсяг роботи навчальної дисципліни складає 105 годин із них: 34 години аудиторні та 71 години для самостійного опрацювання.

Дана навчальна дисципліна є практичною основою підготовки архітекторів. Особливе значення дисципліни полягає у комплексному підході до вивчення та дослідження навколишнього природного та антропогенного середовища, визначення основних умов і факторів, які впливають на формування безпечного середовища життєдіяльності. Знання екологічних засад природокористування та доцільне їх використання в процесі архітектурної діяльності надасть можливість визначити систему цілеспрямованих рішень щодо організації архітектурного середовища. Дисципліна формує комплексний характер вмінь майбутнього фахівця.

Так **основною задачею дисципліни** є засвоєння майбутніх архітекторів знаннями екологічних основ формування архітектурного середовища, безпечного для життя людини, вміння використовувати ці знання при розробці проектів та для формування у студентів комплексного характеру вмінь архітектора. Студенти, починають вивчати початок дисципліни на третьому курсі в шостому семестрі «**Основи екології**», привчаються до сучасних екологічних вимог, екологічних аспектів та екологічних нормативних документів.

Згідно з новими вимогами тимчасової освітньої програми при вивченні даної дисципліни студент повинен **знати:**

- результати впливу антропогенних та природних умов та факторів на формування міського середовища;
- класифікацію екологічних вимог до об'єктів проектування; класифікацію екологічних вимог до конструкцій будівель та будівельних матеріалів;
- основні положення чинних нормативних документів для проектування екологічно-безпечного середовища життєдіяльності людини. Кожна тема і кожне заняття навчального курсу супроводжуються створенням певної проблемної педагогічної та екологічної ситуації, що активізує навчально-пізнавальну діяльність студентів та розвиває в них креативність.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **вміти:**

- застосовувати сучасні екологічні знання для ефективного вирішення різних творчих задач при проектуванні архітектурного середовища;
- досліджувати та враховувати екологічні вимоги до об'єктів проектування;
- самостійно досліджувати ефективність використання екологічно безпечних будівельних конструкцій та матеріалів;
- застосовувати положення чинних нормативних документів для врахування екологічних вимог при виконанні проектів.

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з одного навчального модуля, а саме: навчального **модуля №1 " Екологічні аспекти формування архітектурного середовища "**. Оскільки напрямків

та тенденцій розвитку наразі існує багато і їх повне викладення є неможливим у часових рамках даної дисципліни, студентам для ознайомлення запропоновано наступні теми:

❖ **Екологія та архітектурне середовище**, що має навчити визначати Поняття «середовище», його розуміння в різних сферах наукових знань. Природне середовище. Антропогенне середовище. Поняття «сталого розвитку суспільства» Концепція сталого розвитку в міжнародній документації. Головна мета архітектури та містобудування - створення оптимального середовища життєдіяльності людини. Архітектурне середовище як об'єкт діяльності архітектора. Еволюція екологічних знань та їх вплив на архітектурно-містобудівну діяльність при формуванні повноцінного середовища для життєдіяльності людини. [1,2,3,4];

❖ **Екологічні аспекти містобудування**. Студентська аудиторія вивчає природні фактори, структуру факторів, що впливають на формування міського середовища, особливості міських екосистеми. Поняття «екологічний каркас території міста», його значення у сталому розвитку міського поселення. [2,3];

❖ **Екологічні вимоги до містобудівних рішень**. В даній темі розглядається класифікація екологічних вимог щодо проектування міських територій. Нормативне забезпечення. Формування екологічно безпечних міських територій. [1,2,3];

❖ **Екологічні вимоги до будівель та споруд**. Ознайомлення з Класифікацією екологічних вимог до об'ємно-планувальних рішень будівель. Екологічні вимоги до конструкцій будівель. Нормативне забезпечення. Екологічні вимоги до матеріалів для будівництва. Методи та прийоми створення оптимального мікроклімату в житлових і громадських будівлях. [2,3,5];

❖ **Управління екологічною безпекою при формуванні архітектурного середовища**. Остання тема курсу без якої у теперішній час не можливо уявити ані будівництво ані проектування. Це ознайомлюються із основними завдання управління екологічною безпекою при формуванні архітектурного середовища. Положення Кіотської угоди (нормативні екологічні викиди). Вимоги до проектів щодо забезпечення охорони навколишнього середовища з врахуванням екологічних особливостей місцевості при розташуванні об'єктів проектування. Екологічна експертиза проектів. [2,3,5,6];

Методики, матеріали і результати досліджень. Екологічна підготовка майбутніх архітекторів у НАУ на всіх етапах вивчення навчальних дисциплін, самостійної роботи студентів, курсового та дипломного проектування ґрунтується на комплексі теоретико-методологічних підходів і забезпечує формування компетентного креативного фахівця нового покоління, підготовленого для здійснення професійної діяльності. На сучасному етапі найкращим шляхом до «екологізації» архітектурної галузі є відповідна фахово-екологічна підготовка студентів архітекторів, що дозволить закласти екологічне підґрунтя у нових архітектурних об'єктах, так і в дипломних проектах та їх реконструкції

Отже під час вивчення навчальної дисципліни **«Екологічні аспекти формування архітектурного середовища»** є формування фахово-екологічної компетентності.

Висновки. На прикладі навчальної дисципліни **«Екологічні аспекти формування архітектурного середовища»** розкрито особливості впровадження фахово-екологічної компетентності у навчальний процес. Ключовими особливостями цього навчального курсу є проблемність і самостійність навчання. Під час фахово-екологічної підготовки майбутніх архітекторів сформується потреба у безперервному особистісному і професійному, екологічному саморозвитку, у самостійному та творчому підході до процесу постійного здобування нових знань.

Використана література

1. Білявський Г.О. *Основи Екології*. Навчальний посібник / К.:Либідь, 2006.-408 с.
2. Екологічні проблеми формування архітектурного середовища: Конспект лекцій/ О.С. Зінов'єва, Ю.С. Рябець. – К.: КНУБА, 2013. – 32 с.
3. Архітектурна екологія : конспект лекцій / Г. М. Юрчишин, У. Б. Полутренко. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - 106 с.
4. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Стройиздат, 2005.– 521 с.
5. Экодом. Энергосберегающие технологии в строительстве. / О. С. Дьяченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Днепропетровск: ПГАСА, 2011. - № 5. - С. 55 - 60.
6. Казанцев П.А. Основы экологической архитектуры и дизайна. Экспериментальный лекционный и практический курс для студентов специальностей Архитектура и —Дизайн архитектурной среды: альбом проектов: учебное пособие. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. - 118с.

УДК 502/504

Борисов Олександр Олександрович, аспірант,
Кофанова Олена Вікторівна, д.пед.н., проф.
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

РИЗИКИ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА СТАН МІСЬКОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

Встановлено, що поліпшення екологічних показників моторних палив є важливим напрямом скорочення викидів ДВЗ. Проаналізовано вплив присадок, добавок-активаторів, електричного, магнітного, електромагнітного полів та ультразвуку на модуляцію фізико-хімічних характеристик палив та на зміну їх екологічних і експлуатаційних характеристик.

It was determined that the improvement of the environmental performance of motor fuels is an important direction of reduction of the harmful influence of engines. Influence of additives, electrical, magnetic, electromagnetic fields and ultrasound on the modulation of physical and chemical characteristics of motor fuels and on the change of their environmental and operational parameters was analyzed.

Вступ. У великих містах і передмістях збільшуються площі земель, зайнятих автомагістралями, зростає інтенсивність руху автотранспорту, і, як наслідок, – обсяги споживання нафтового моторного палива, кількість викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами тощо. На геохімічних бар'єрах поряд із транспортними "артеріями" та автодорогами і, особливо, поблизу транспортних розв'язок формуються техногенні аномалії шкідливих речовин (ШР), які здатні спричинювати вторинне забруднення довкілля, впливати на здоров'я людей тощо.

Техногенні аномалії є потенційно небезпечними не тільки для біологічних об'єктів і людини, а й становлять загрозу для репродуктивної функції та здоров'я наступних поколінь, оскільки, за даними фахівців [1], здатні провокувати безпліддя, зростання вірогідності народження дітей з генетичними вадами і призводити до порушень нормального розвитку дітей. Таким чином, комплексне дослідження екологічного стану територій, розташованих поряд з автомагістральними шляхами і автотранспортними розв'язками, а також визначення потенційного впливу АТК на педосферу і здоров'я населення є важливими і актуальними завданнями сучасності.

Загальновідомо, що найвищі рівні викидів ШР з відпрацьованими газами (ВГ)

автотранспортних засобів (АТЗ) спостерігаються на перехрестях доріг, під час заторів, коли на відносно невеликій території скупчується велика кількість автотранспортних засобів та людей, що стоять поряд з ними. І досить часто в таких місцях ми бачимо дорослих з дітьми у колясках або старших дітей, які стоять і дихають цим отруйним повітрям. Отже, вчені й виробники всіх країн світу шукають ефективні шляхи зменшення негативного впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря, а також на ґрунтовий покрив прилеглих до магістралей територій, ґрунтові та поверхневі води тощо.

Мета роботи: дослідити ризики впливу автотранспортних потоків на екологічний стан міського повітряного середовища та на території, що розташовані поблизу жвавих і напружених автомагістралей.

Матеріали і результати досліджень. Шкідливі речовини можуть потрапляти до педосфери різними шляхами та в різному агрегатному стані, зокрема, з атмосферного повітря (різноманітні аерозолі – як грубодисперсні, так і дрібнодисперсні), з опадами і ґрунтовими водами, при використанні взимку комунальними службами протиожеледних хімічних реагентів тощо. Серед основних забруднювачів атмосферного повітря – оксиди Нітрогену, Сульфуру і Карбону, поліциклічні вуглеводні (зокрема, бенз(а)пірен), формальдегід тощо.

У дрібнодисперсному стані до атмосфери можуть потрапити сполуки важких та інших металів (Плюмбум, Кадмій, Нікол, Молибден, Цинк, Купрум, Меркурій, Станум, Ферум тощо), а також пил різного походження і дисперсності та ін. З атмосферними опадами до педосфери, ґрунтових і поверхневих вод потрапляють нітратна і сульфатна кислоти, а також сульфати, нітрати та інші токсичні сполуки. Як наслідок, відбувається не тільки забруднення ґрунту і вод ШР, а й зміна їх кислотності (водневого показника рН) та сольового складу.

Забруднюючі речовини, потрапляючи у ґрунт, здатні переходити в ґрунтові й поверхневі води, в рослини тощо і далі рухатися по трофічних ланцюгах до організмів тварин і людини. За оцінками фахівців, проникнення ШР з поверхні ґрунту у глибину становить приблизно 20–50 см, тобто достатньо велика частина токсичних речовин залишається на поверхні педосфери, а інша частина, утворюючи колоїдні системи, мігрує у глибину з атмосферними опадами, потрапляючи і до ґрунтових і поверхневих вод, і у тканини рослин, тварин тощо. Отже, у межах міських ландшафтів, особливо у великих містах, відбувається значне порушення придорожніх ґрунтів, а, отже, створюється зовсім нова, несприятлива геоекологічна обстановка.

Оскільки як протиожеледні засоби комунальні служби все ще використовують піщано-сольову суміш, активним компонентом якої є хлорид Натрію NaCl або рідкий модифікований хлористий Кальцій CaCl_2 , то важливим є визначення вмісту іонів Хлору та зміни кислотності ґрунтових витяжок. Відомо, що відхилення кислотності ґрунтового середовища у бік лужного більш згубно для рослин, ніж таке саме відхилення у бік кислотного. Деревні породи є одніми з основних компонентів озеленення вулиць та саме вони приймають на себе основний тиск з боку автотранспортних забруднень. Зміна кислотності ґрунтів і збільшення в них концентрації хлорид-аніонів та, відповідно, і катіонів Натрію призводять до підвищення осмотичних тисків ґрунтових розчинів, що, у свою чергу, знижує здатність засвоєння вологи рослинами. Крім того, залишкові кількості хлориду Натрію у вигляді дрібнодисперсного аерозолі осаджуються на деревах, спричинюючи їх пригнічення, втрату біологічної стійкості та навіть загибель. І найбільш уразливими вважаються поодинокі дерева та чагарники, що ростуть уздовж автомагістральних шляхів.

З пилом ШР здатні мігрувати на великі відстані, спричинюючи забруднення природних ландшафтів і селітебних територій. І особливо шкідливими є оксиди Сульфуру й Нітрогену, а також сполуки важких металів, формальдегід і циклічні

вуглеводні. Не можна ігнорувати також здатність живих організмів до біоаккумуляції ШР і можливість їх перенесення на незабруднені раніше території. Як показує практика екологічного моніторингу, через можливі у навколишньому середовищі перетворення токсичність первинних забруднювачів може не тільки спадати, а й різко зростати.

Навіть біогенні елементи у випадку потрапляння їх до організму людини вище за необхідну для життєдіяльності норму здатні призводити до важких отруєнь і хвороб. У першу чергу це стосується такого "металу життя", як Купрум, надлишок якого в організмі є небезпечним для здоров'я. Тобто існує певний поріг як за мінімальною концентрацією, так і за максимальною концентрацією речовини, іону або хімічного елемента, у межах якого життєдіяльність людини зберігається в нормальному стані.

Безумовно, проблема забруднення навколишнього природного середовища є комплексною, оскільки всі його складові перебувають у постійному взаємозв'язку. На сьогодні в Україні і в світі загалом накопичено велику кількість експериментального матеріалу з проблем забруднення різних елементів довкілля ШР, в тому числі й під тиском автотранспорту. Однак, цілий ряд питань ще залишаються невирішеними і потребують додаткових досліджень.

Серед основних напрямів скорочення шкідливого впливу з боку ВГ двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) на навколишнє природне середовище варто відмітити не тільки оптимізацію структури та покращення експлуатаційних характеристик рухомого складу, вдосконалення дорожньої мережі, раціоналізацію організації руху автотранспорту тощо, а й поліпшення екологічних показників моторного палива (МП). Зокрема асортимент і якість МП, що виробляється й споживається в країні, визначається головним чином структурою автомобільного парку, технічними можливостями нафтопереробки, а також екологічними вимогами (на сьогодні – екологічними нормами Євро 2...5), які останніми роками перетворюються на визначальні [2].

Базовий бензин (бензинове паливо, автомобільний бензин) містить суміш вуглеводнів (як правило, C_5-C_{10}), що киплять за атмосферного тиску в інтервалі температур від 25 до 232 °C (EN-ISO 3405) [3], проте оптимальні діапазони температур і криві перегонки МП залежать від місцевого клімату та пори року. Інтервал температур кипіння може також варіюватися залежно від реального складу бензину, наявності в ньому домішок та присадок спеціальної або комплексної дії.

У наш час застосовують різні показники МП, за якими можна робити висновки щодо їх відповідності вимогам стандарту [4–6]. До таких показників відносять густину, кінематичну в'язкість, діелектричну проникність, пружність насичених парів, коефіцієнт заломлення, температуру кипіння, фракційний склад, а також уміст в МП Сульфуру, Оксигену та інших компонентів. Важливими характеристиками автомобільного бензину є концентрація ароматичних вуглеводнів, зокрема бензену, а також уміст вуглеводнів олефінового ряду; температура, за якої википає 90 % палива (T90), і температура, за якої википає 50 % палива (T50). Останні показники вказують на фракційний склад моторного палива. Експлуатаційні характеристики бензинів включають октанове число (для дизельного палива – цетанове число), параметри згорання палива, склад відпрацьованих газів ДВЗ тощо.

Зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище й здоров'я людини можна шляхом покращення якості МП, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню екологічності та ефективності експлуатації АТЗ. Для зміни характеристик моторного палива розробляються різноманітні фізико-хімічні засоби впливу, зокрема велика кількість наукових робіт присвячена розробці різноманітних присадок до палив, причому, як спеціальної, так і комплексної дії. Менш повно вивчено питання впливу електричного, магнітного, електромагнітного полів та ультразвукової обробки вуглеводневих моторних палив на їх екологічні та експлуатаційні показники.

Серед основних напрямків скорочення негативного впливу АТЗ на навколишнє природне середовище (зокрема оптимізація структури і покращення експлуатаційних характеристик рухомого складу, вдосконалення дорожньої мережі, раціоналізація організації руху автотранспорту тощо) необхідно виокремити такий напрям, як поліпшення екологічних показників моторного палива. Цього, наприклад, можна досягти шляхом введення до бензинів (або дизельного палива) речовин-присадок спеціальної та/або комплексної дії [7]. Зокрема світовий асортимент присадок налічує більше тисячі товарних марок присадок і різноманітних добавок до МП [4; 6; 8].

Деякі присадки додають під час виготовлення МП з метою досягнення відповідності палива вимогам стандарту, інші – при споживанні палива для покращення його екологічних, експлуатаційних та ергономічних характеристик. Окрім спеціалізованих присадок (антидетонатори, антиоксиданти, мийні присадки тощо), сьогодні широко використовують багатофункціональні пакети присадок комплексної дії, які цілеспрямовано модифікують фізико-хімічні та, як наслідок, експлуатаційні властивості палива. Як правило, вміст присадок до бензину становить 0,01–0,3 %об., а носія – 0,02–0,6 %об. Проте можливо попередньо приготувати концентрат присадки в носії (його ще називають пакетом присадок), до якого додають, наприклад, антидетонаційні, антиоксидантні та мийно-диспергуючі компоненти. Бажано також, щоб присадки містили в своєму складі атоми Оксигену, оскільки це покращує умови спалювання МП.

Висновок. Раціональне використання цінної нафтової сировини, а також необхідність скорочення емісії ШР автотранспортними засобами є сьогодні найважливішими проблемами сучасності. Надмірне споживання високовуглецевого палива, а також зниження його якості багатьма виробниками/постачальниками пального у поєднанні з функціонуванням на автошляхах країни застарілих автомобілів спричинюють велику шкоду атмосферному повітрю великих міст, провокують розвиток різноманітних патологій та передчасну загибель людей.

Забруднення навколишнього природного середовища від автотранспортного комплексу в багатьох регіонах нашої країни набуває загрозливого рівня і створює реальну небезпеку для здоров'я населення, і особливо – дітей. Таке становище зумовлено тим, що у великих містах і передмістях збільшуються площі земель, зайнятих автомагістралями, зростає інтенсивність руху автотранспорту, і, як наслідок, – обсяги споживання нафтового МП, кількість викидів токсичних речовин з ВГ ДВЗ [9].

У зв'язку з цим проаналізовано вплив різноманітних чинників (присадок, добавок-активаторів, електричного, магнітного, електромагнітного полів та ультразвуку) на процес модуляції фізико-хімічних характеристик МП та на зміну екологічних та експлуатаційних характеристик моторного палива. Визначено, що найбільш перспективним напрямком для вирішення задач мінімізації шкідливого впливу з боку автотранспорту на навколишнє природне середовище та здоров'я людей є модуляцій властивостей МП пакетами присадок комплексної дії, які додаються до МП у кількості 0,01–0,3 %об.

Література

1. Кириллов Н. Г. Природный газ как моторное топливо // Нефть. Газ. Промышленность. – 2006. – № 2. – С. 40–65.
2. Чорноштан Т. М. Високі екологічні стандарти Євросоюзу для автотранспорту / Т. М. Чорноштан // Гуманітарний вісник ЗДІА. – 2013. – № 52. – С. 125–132.
3. International Organization for Standardization. ISO 3405:2011 Petroleum products – Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure [Електронний

ресурс]:[Сайт]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/44095.html>. – Назва з екрану.

4. Бойченко С. В. Моторные топлива и масла для современной техники: монография / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К.: НАУ, 2005. – 216 с.

5. Спиркин В. Г. Химмотология топлив / В. Г. Спиркин; под ред. И. Г. Фукса. – М.: ГУП "Нефть и газ", 2002. – 181 с.

6. Химмотология: Навч.-метод. посіб. / [С. В. Бойченко, Н. М. Кучма, В. В. Єфименко, О. С. Тітова та ін.] – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 156 с.

7. Кофанова О. В. Застосування методу "фізико-хімічного регулювання" властивостей моторного палива для підвищення екологічності автотранспортних засобів / О. В. Кофанова, О. Є. Кофанов // "Енергетика: економіка, технології, екологія": наук. журнал – 2014. – № 3(37). – С. 88–97.

8. Роїк І. В. Покращення експлуатаційно-екологічних характеристик автомобільних бензинів за допомогою поверхнево-активних присадок / І. В. Роїк, О. В. Кофанова, О. І. Василькевич, М. Б. Степанов // Енергетика : економіка, технології, екологія науковий журнал. – № 2 (27). – 2010. – С. 80–85.

9. Борисов О. О. Геоекотична оцінка ризику кислотно-сольового забруднення приміагістральних ділянок педосфери (на прикладі міста Києва) / О.О. Борисов // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – № 4(96). – С. 41–48.

УДК 621.181.7:662.642.2

Мишина Елена Юрьевна, аспирантка,
Кофанова Елена Викторовна, д.пед.н., к.х.н., проф.,
Василькевич Александр Иванович, к.х.н., доц.
Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

В работе предложено использовать при дистилляции добавки к сырой подготовленной нефти, в частности, поверхностно-активные вещества и антиоксиданты. Показано, что в таком случае достигается интенсификация процесса перегонки нефти и, как следствие, увеличение выхода светлых фракций нефтепродуктов, что способствует ресурсосбережению и снижению антропогенного влияния на окружающую природную среду.

In the article it was proposed to use additives for the crude oil distillation, in particular surfactants and antioxidants. It was proved that in this case we achieve the intensification of the oil distillation process and consequently increasing of the light fractions output that contributes to resource conservation and to reduction of the anthropogenic impacts on the environment.

Введение и анализ проблемы. Проблема рационального использования природных ресурсов является в современном мире одной из самых актуальных. Особенно важным является ресурсосбережение в сфере добычи углеводородного сырья, в том числе и в сфере нефтедобычи и нефтепереработки. Как показывают экспертные оценки специалистов [1], по сферам использования наибольшее потребление нефти характерно для транспортного сектора, 93 % которого обеспечивается именно нефтепродуктами. Потребности промышленности почти на 40 % зависят от нефти, домохозяйств и коммерческого сектора – на 17 %, а производство электроэнергии – на 1 %. В то же время распределение запасов нефти

на планеті являється нерівномірним, що і провокує в сучасному світі як економічні, так і політичні конфлікти.

Цель исследования состоит в разработке новой, ресурсосберегающей технологии переработки нефти, которая позволит увеличить выход светлых фракций нефтепродуктов при ее первичной переработке.

Материалы и результаты исследования. В основе первичной переработки нефти лежит процесс дистилляции (физического разделения нефти на фракции в зависимости от температур кипения ее компонентов). Перегонка может быть реализована разными способами, однако температура реакционной смеси находится в интервале 320–340 °С. В результате дистилляции подготовленной нефти получают светлые фракции (бензиновую, керосиновую, дизельную), а также кубовый остаток (мазут и гудрон) (табл. 1). Кубовый остаток, в свою очередь, подвергают вторичной перегонке, но уже под вакуумом и при высоких температурах.

Согласно мнению специалистов, при атмосферной дистилляции нефти отгоняется неполный потенциал легких углеводородов, а, следовательно, часть их теряется, оставаясь в кубовом остатке. Глубина переработки нефти зависит от ее сорта, качественных характеристик, а также от технологической реализации процесса атмосферной перегонки нефти. Таким образом, задача увеличения выхода светлых фракций нефтепродуктов при первичной переработке нефти является не только актуальной, но и жизненно важной проблемой, особенно для экономики нашей страны.

Таблица 1 – Фракционный состав нефти [2]

Фракции нефти, полученные при первичной перегонке нефти	Интервал температур выкипания нефтепродуктов, °С
Бензиновая	28–180
Керосиновая	12–240
Дизельная	240–340
Мазут	> 340
Гудрон	Твердый остаток

Введение при дистилляции нефти специальных веществ-добавок, например поверхностно-активных веществ (ПАВ), может изменить условия протекания перегонки и способствовать более полному выходу светлых фракций [3–6]. Такое воздействие веществ-добавок на процесс дистилляции нефти обусловлено тем, что выход разных фракций непосредственно определяется физико-химическими характеристиками исходной нефтесмеси. Поэтому целенаправленное изменение характеристик нефти позволит интенсифицировать процесс первичной ее переработки и добиться увеличения выхода светлых фракций.

Необходимым этапом исследования является выбор физико-химических характеристик нефтесмеси, которые являются наиболее чувствительными для решения поставленной задачи. Не менее важным этапом является выбор самих добавок (табл. 2), а также подбор их эффективных концентраций для получения максимально положительного эффекта. Кроме того, предлагаемые в качестве добавок вещества не должны создавать дополнительные экологические

проблемы при их использовании.

Для оценки влияния добавок поверхностно-активных веществ на свойства нефтесистемы в качестве показателя была выбрана вязкость, а для оценки действия антиоксидантов – кислотное число. Выбор веществ-добавок был обусловлен следующими причинами. При введении в нефть ПАВ изменяется дисперсная структура нефти и, как следствие, ее вязкость. При этом также происходит снижение межфазного натяжения на границе раздела фаз жидкость – газ, что способствует интенсификации выхода низкомолекулярных компонентов нефти при ее дистилляции. Добавка же антиоксидантов (АО) предотвращает прохождение в нефти процессов автоокисления и образования соединений с большей молекулярной массой. Следовательно, в обоих случаях есть реальная вероятность повышения выхода светлых фракций нефтепродуктов при первичной дистилляции нефти. Эксперимент, проводимый в ОНИЛ "Реактор" ОКБ "Шторм" КПИ им. Игоря Сикорского, позволил подтвердить данное предположение с помощью моделирования в лабораторных условиях промышленной перегонки нефти [9].

Полученная нами зависимость условной вязкости нефтесистемы (время вытекания жидкости из вискозиметра в минутах) от концентрации ПАВ (по объему) имеет характерный минимум, отвечающий оптимальному содержанию добавки [9]. Однако в связи с тем, что нефть разных месторождений имеет различный состав и, как следствие, отличающиеся в определенном диапазоне физико-химические характеристики, использование добавок только ПАВ не позволило получить однозначные результаты. Поэтому нами экспериментально проверено действие добавок АО для достижения поставленной цели.

Таблица 2 – Вещества, используемые в качестве добавок к нефти для интенсификации ее первичной переработки [7; 8]

Класс вещества-добавки	Характер воздействия на нефтесистему	Название вещества-добавки
Поверхностно-активные вещества	Изменение дисперсной структуры нефти	Алкилбензолсульфоокислота
Восстановители	Химическое взаимодействие с компонентами нефти	Триэтаноламин Карбамид
Антиоксиданты		N-Метил-N,N-бис-(3,5-ди(<i>трет</i> -бутил)-4-гидроксибензил)амин 2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) Ионол Борин

Антиоксиданты – вещества, способствующие ингибированию реакций окисления. Их химическое строение, а также физико-химические характеристики могут изменяться в широких пределах (пространственно экранированные алкилфенолы, ароматические амины, органические соединения серы, соединения фтора и др.).

В частности, пространственно экранированные алкилфенолы являются одним из наиболее распространенных классов антиоксидантов, используемых в промышленных масштабах для предотвращения процессов окисления нефтепродуктов. Вторичные

ароматические амины в большинстве случаев используются для стабилизации эластомеров; также не сильно распространены как АО органические соединения серы. А вот соли некоторых металлов и диалкилдитиокарбаминовой кислоты, а также цинкдиалкилдитиофосфаты и эфиры дитиофосфатной кислоты являются важными представителями АО, предотвращающих процессы автоокисления нефтепродуктов.

Таким образом, выбор АО в исследовании обусловлен их физико-химическими характеристиками, а также практикой использования в нефтехимии. Кроме того, термостабильность антиоксидантов является одним из важнейших их показателей при выборе в качестве добавки к нефти [10]. Параметр термостабильности вещества-добавки определяли методом термогравиметрического анализа [11], основанного на изучении изменения массы образца с изменением температуры. Для исследуемых АО термогравиметрическим показателем служил показатель потери массы образца, который показывает, при какой температуре данное вещество утратило 10 и 50 % массы (табл. 3) [10; 11].

При осуществлении атмосферной перегонки нефти дистиллят был условно поделен на фракции: бензиновая ($t = 0-120\text{ }^{\circ}\text{C}$), керосиновая ($t = 120-240\text{ }^{\circ}\text{C}$) и дизельная ($t = 240-320\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также тяжелые топливные фракции ($t = 320-370\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Исходная нефть имела температуру начала кипения $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, соответственно, потенциал выхода светлых фракций 62 % об. Добавки АО вводились в количестве 1 % об., причем, в реактор сначала наливали образец нефти, а потом вводили необходимое количество добавки. Перегонку проводили с равномерной скоростью приблизительно 2–2,5 мл в минуту до достижения температуры конденсата $300-340\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом отмечали температуру начала кипения нефтесмеси и объемы конденсатов при температурах 100, 120, 150, $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и далее через каждые $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до момента, когда скорость перегонки существенно уменьшится (или процесс перегонки прекратится вовсе).

Полученные данные фракционного анализа представлены в виде кривых перегонок (графиков зависимости объема дистиллята от температуры кипения нефтесмеси). Эксперимент показал, что полученные кривые разгонки нефти с добавками АО и без них имеют схожий характер и отображают интервалы температур кипения разных фракций нефти. Для примера на рис. 1 представлены кривые разгонки чистой нефти и нефти, содержащей 1 % об. добавки Борина [12].

Таблица 3 – Температуры потери массы образцов исследованных АО

Название вещества	Класс	Температура потери массы, $^{\circ}\text{C}$	
		10 %	50 %
Бутилгидрокситолуол (БГТ)	Пространственно экранированный фенол	110	140
<i>N</i> -метил- <i>N,N</i> -бис(3,5-ди(<i>трет</i> -бутил)-4-гидроксибензил)амин	Пространственно экранированный алкилфенол	195	230
2,2'-метилен-бис(4-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол)	Пространственно экранированный бис-фенол	215	254
Борин	Алкилфенольное основание Манниха	203	287

Кривая перегонки чистой нефти имеет три ярко выраженные интервалы температур, которые описывают характер выкипания определенных фракций нефти.

На рис. 1 видно, що найбільший об'єм вихода вуглеводородів зосереджений в фракції, википаючій в інтервалі температур 220–340 °С (дизельні фракції) і становить до 28 % об. від загального кількості вихідної нафти. В той же час при веденні перегонки з додавкою Борина крива, описувальна процес атмосферної дистиляції нафтидисперсної суміші, не має характерних фракційних зон і зростає достатньо рівномірно до температури, відповідної википанню 66 % об. світлих фракцій. При цьому спостерігається збільшення вихода світлих фракцій приблизно на 14 % порівняно з тим же показателем для чистої нафти.

Для добавок таких АО, як 4-метил-2,6-ди-*трет*-бутилфенол (іонол) і 2,2'-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол) так же, як і для чистої нафти, спостерігаються по три характерні області википання фракцій. Однак для добавок іонола збільшення вихода світлих фракцій (приблизно на 8 % об.) відбувається при температурах вище 340 °С, а для добавок 2,2'-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол) вдалося на 2 % об. збільшити вихід найбільш цінних бензинових фракцій, які википають при температурах до 160 °С. Неплохі результати отримані при додаванні добавки *N*-метил-*N,N*-бис(3,5-ди(*трет*-бутил)-4-гідроксипензил)аміна. В цьому випадку приріст вихода світлих фракцій порівняно з перегонкою чистої нафти склав в середньому до 10 % об. (інтервал температур 330–350 °С).



Рисунок 1 – Криві перегонки чистої нафти та нафти з додавкою Борина:
 ···*··· – нафта без добавки; —■— – нафта з додавкою Борина

Для оцінки ефективності дії добавок АО на властивості нафтидисперсної системи і, як наслідок, на збільшення вихода світлих фракцій застосовувався метод визначення кислотного числа (КЧ). Кислотне число характеризує глибину протікання процесів автоокислення їх компонентів. КЧ визначали як кількість спиртового розчину гідроксиду калію (в мг), необхідного для нейтралізації вільних кислот, що містяться в 1 г аналізованого продукту. На рис. 2 наведено графік залежності вихода світлих фракцій від кислотного числа для модельних

нефтедисперсных систем [8; 9; 13]. На графике точка 1 соответствует дистилляции смеси нефти с добавкой *N*-метил-*N,N*-бис-(3,5-ди(*трет*-бутил)-4-гидроксibenзил)амина, точки 2 и 3 – смеси нефти с Борином та 2,2'-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенолом), соответственно; точка 4 – дистилляции с ионолом, а точка 5 – дистилляции нефти без добавок веществ-антиоксидантов.

Выводы. Таким образом, установлено, что

- при высокотемпературных процессах дистилляции нефтедисперсных систем имеют место реакции конденсации, в результате которых образуются вещества с большими молекулярной массой и температурой кипения. Это затрудняет процессы выхода светлых фракций и приводит к потере ценных продуктов;
- использование в качестве добавок к нефти ПАВ и веществ-антиоксидантов дает возможность существенно повысить потенциал выхода низкомолекулярных углеводородов при первичной переработке нефти. В среднем получено увеличение выхода светлых фракций на 8–14 %, что в промышленных масштабах позволяет существенно интенсифицировать процесс первичной переработки нефти и сэкономить ценные ресурсы нефтепродуктов.

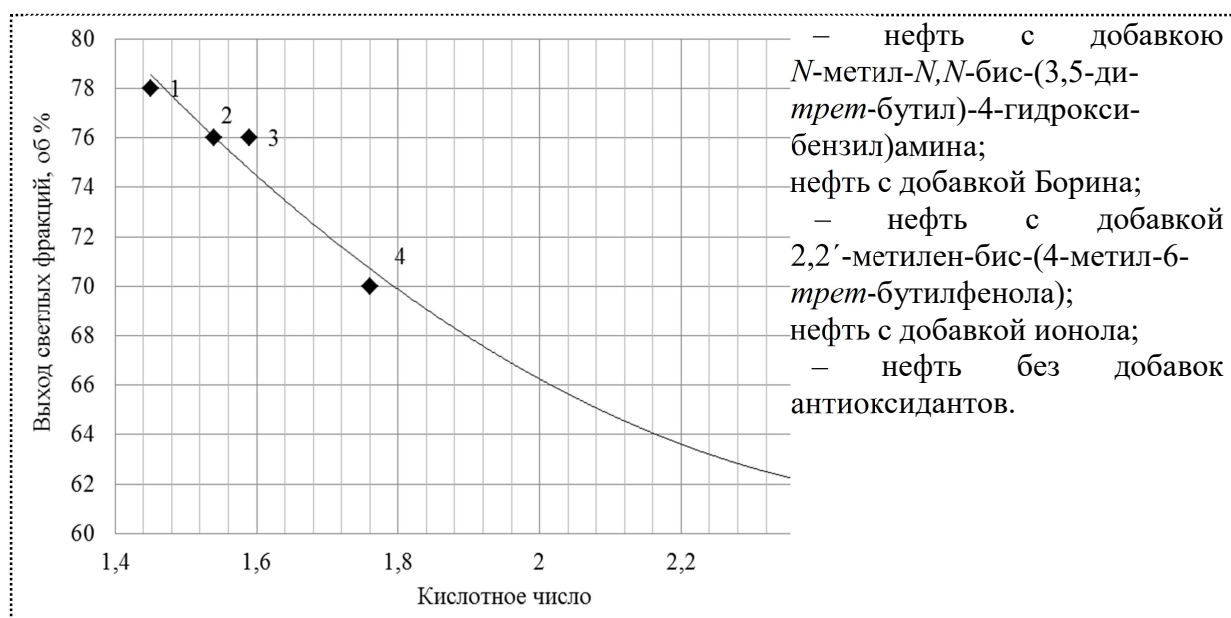


Рис. 2 Зависимость выхода светлых фракций от кислотного числа нефтедисперсной смеси с добавками веществ-антиоксидантов (по 1 % мас.)

Литература

1. Annual Energy Review 2011 [Электронный ресурс] : U.S. Energy Information Administration (EIA) – 2012. – Режим доступа: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm#summary>. – Название с экрана.
2. Сафиева Р. З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти / Р. З. Сафиева. – М. : Химия, 1998. – 448 с.
3. Патент 2359991 Российская Федерация, МПК С 10 G 7/00. Способ интенсификации процесса первичной перегонки нефти / М. С. Роголёв, Р. З. Магарил; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет». – № 200811044/04; заявл. 18.03.08; опубл. 27.06.09.
4. Патент 2359991 Российская Федерация, МПК С 10 G 7/00. Способ интенсификации процесса первичной перегонки нефти / М. С. Роголёв, Р. З. Магарил;

заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет». – № 200811044/04; заявл. 18.03.08; опубл. 27.06.09.

5. Патент 2205199 Российская Федерация, МПК С 10 G 7/00. Способ получения дистиллятных фракций / С. А. Синицин, Н. В. Королёва; заявитель и патентообладатель С. А. Синицин, Н. В. Королёва. – № 2001114685; заявл. 31.05.01; опубл. 27.05.03.

6. Патент 2327730 Российская Федерация, МПК С 10 G 7/00, С 10 L 1/14. Способ переработки тяжёлой парафинистой нефти / Ю. В. Политанский, С. Ю. Политанский; патентообладатель Ю. В. Политанский, С. Ю. Политанский. – № 2006122676104; заявл. 27.06.06; опубл. 10.01.08.

7. Mishina O. Y. Changing of physico-chemical properties of petroleum for the purpose of primary processing intensification / O. Y. Mishina, A. I. Vasilkevich, E. V. Kofanova et al. // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – 2010. – №19. – С. 101–107.

8. Mishina O. Y. Technology of atmospheric petroleum distillation in presence of antioxidants additives for sustainability providing / O. Y. Mishina, A. I. Vasilkevich // Innovative development trends in modern technical sciences: problems and prospects: Research articles articles. – San Francisco: B&M Publishing, 2013. – P. 98–102.

9. Мішина О. Ю. Раціоналізація використання нафторесурсів як засіб розв'язання проблем сталого розвитку країни / О. Ю. Мішина, О. В. Кофанова, О. І. Василькевич // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія "Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження": Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – Вип. 2 (10). – С. 85–91.

10. Sanhueza J. Thermal Stability of Some Commercial Synthetic Antioxidants / J. Sanhueza, S. Nieto, A. Valenzuela // Journal Am. Oil Chem. Soc. – 2000. – Vol. 77, No. 9. – P. 933–936.

11. Уэндландт У. Термические методы анализа / У. Уэндландт; пер. с англ. под ред. В. А. Степанова, В. А. Берштейна. – М. : Мир, 1978. – 527 с.

12. Мишина Е. Ю. Ресурсозбереження в сфері переработки нафти с помощью метода физико-химического регулирования / Е. Ю. Мишина, Е. В. Кофанова, А. И. Василькевич // Горная механика и машиностроение. – 2015. – № 4. – С. 90–98.

13. Speight J. J. The Chemistry and Technology of Petroleum Handbook – 4th Ed. / J. J. Speight. – Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006. – 955 p.

УДК 338.242.2

А. М. Черножукова, студентка (гр. УЕ-42, ФММ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

О. В. Землянська, ст. викладач (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

Ю. О. Полукаров, канд. техн. наук, доцент (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Дослідження концептуальних основ економічної безпеки підприємства, для своєчасного виявлення та запобігання потенційним загрозам, а також забезпечення досягнення мети підприємницької діяльності.

Ключові слова: підприємство, загрози, економічна безпека.

A study of the conceptual foundations of economic security of enterprise, for the timely detection and prevention of potential threats, as well as ensure the achievement of the business purpose.

Key words: enterprise, threats, economic security.

Вступ

Після набуття Україною незалежності, економіка зазнала змін, відбувся її перехід від планової до ринкової. Планова економіка характеризувалася жорстким державним управлінням і такі поняття, як тіньова економіка, промислове шпигунство, несумісна конкуренція та корупція мали місце в незначних масштабах, тому потреба в забезпеченні економічної безпеки була мінімальною. У сучасних реаліях, поняття економічної безпеки набуває все більшого значення. Підприємства, які функціонують в умовах ринкової економіки, стикаються з різноманітними шляхами конкурентної боротьби та недосконалістю законодавчої бази. Вони є окремими суб'єктами господарювання, саме тому самостійно створюють власну політику, формують листи замовлень, здійснюють виробництво та збут продукції, тобто повністю відповідають за результати своєї діяльності. Ці умови спричиняють актуальність проблеми забезпечення економічної безпеки бізнесу в умовах постійних зовнішніх загроз.

Аналіз стану питання

Дослідженням економічної безпеки підприємства займалися багато вітчизняних та закордонних дослідників, серед них: О. Ареф'єва, М. Войнаренко, В. Духов, Я. Жаліло, В. Геєць, Г. Лянной, Т. Косянчук, В. Мунтіян, І. Бінько, В. Микитенко, Т. Кузенко та інші. Однак, зважаючи на сучасні реалії функціонування підприємств та здійснення ними підприємницької діяльності, питання формування системи економічної безпеки потребує подальшого доопрацювання та розробки.

Мета роботи: Дослідити концептуальні основи економічної безпеки підприємства в умовах його функціонування.

Методики, матеріали і результати досліджень

Економічна безпека підприємства – це такий стан господарюючого суб'єкта, при якому він при найбільш ефективному використанні наявних ресурсів досягає

запобігання, послаблення або захисту від існуючих небезпек та загроз або інших непередбачуваних обставин і в основному досягає цілей бізнесу в умовах конкуренції та господарського ризику. [1]

Для країн з перехідною ринковою економікою, які перебувають у зоні системної кризи, найбільш оптимальна модель забезпечення економічної безпеки підприємства повинна базуватися на поєднанні стабільності, керованості та дозованого економічного ризику. Реалізація такої моделі економічної безпеки передбачає раціональне використання точкових технологій господарювання, зорієнтованих на максимальну результативність у мінімально стислі терміни.

Зміст економічної безпеки підприємства можна передати через реалізацію стратегічних інтересів підприємства (рис 1.). [2]

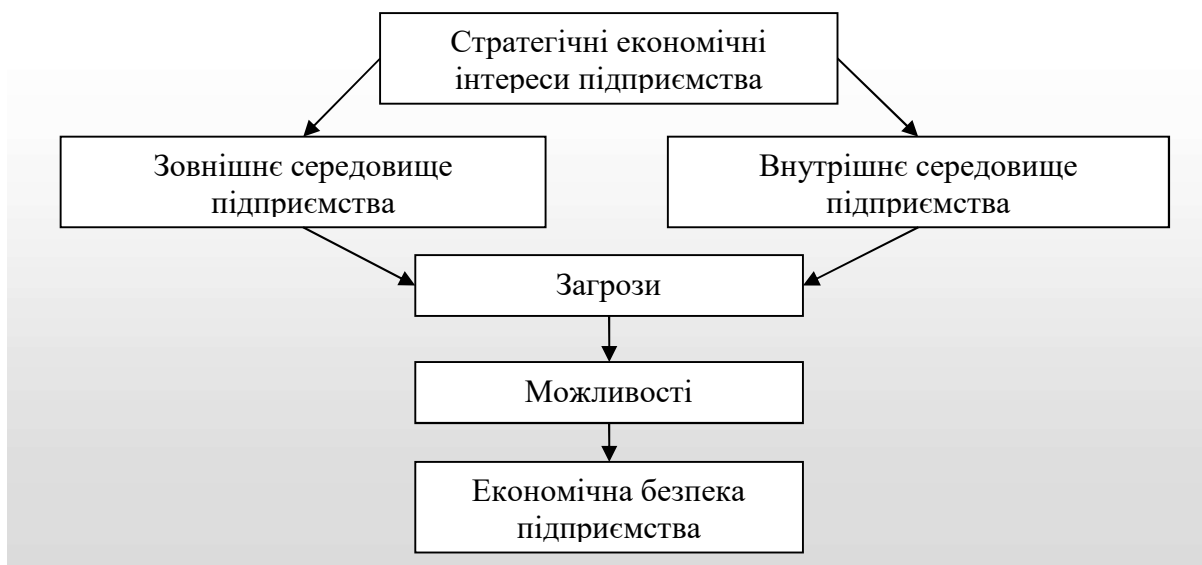


Рис 1. Взаємозв'язок стратегічних економічних інтересів підприємства та економічною безпекою.

Економічна безпека підприємства залежить від рівня його захищеності від зовнішніх та внутрішніх загроз (табл. 1). [3]

Таблиця 1

Загрози економічній безпеці підприємства

Зовнішні загрози	Внутрішні загрози
Протиправна діяльність фірм та фізичних осіб	Пасивні дії співробітників фірми
Шпигунство	Витік інформаційних ресурсів
Шахрайство	Проблеми у взаємозв'язках всередині

	компанії
Недобросовісність ділових партнерів	Порушення технологічного процесу, що може спричинити випуск неякісної продукції;
Можливі стихійні явища: пожежа, паводки, форс-мажорні явища (землетруси, воєнні конфлікти та ін.).	Не поставлена на належному рівні система організації й управління виробництвом.
Часті перебої в постачанні виробництва електроенергії, тепла, палива, води, що призводять до простоїв і нанесення збитків підприємству.	Недотримання внутрішнього розпорядку і режиму роботи підприємства, що може вплинути на нестабільність діяльності.

Якщо взяти до уваги усі вищезазначені загрози економічної безпеки, то можна сказати, що захисту потребують абсолютно всі види ресурсів, які наявні на підприємстві. Виділяють наступні види захисту:

- фізична безпека об'єктів підприємницької діяльності;
- юридична безпека;
- інформаційна безпека;
- особиста безпека підприємця;
- безпека персоналу;
- безпека ділових відносин.

Для правильної організації економічної безпеки на підприємстві створюється система безпеки. Її можна визначити як взаємопов'язану сукупність спеціальних структур, засобів, методів та заходів, які забезпечують безпеку бізнесу від внутрішніх та зовнішніх загроз [4]. Система безпеки характеризується: унікальністю на кожному підприємстві, самостійністю і відокремленістю від інших систем, комплексністю, дієвістю та ефективністю (рис 2.).



Рис 2. Характеристика системи економічної безпеки підприємства [5]

Система безпеки має виконувати наступні завдання [1]:

- виявлення реальних та прогнозування потенційних небезпек та загроз;
- знаходження способів запобігання загрозам, послаблення або ліквідації наслідків їх дії;
- знаходження сил і засобів, необхідних для забезпечення безпеки підприємства;
- організація взаємодії з правоохоронними та контролюючими органами з метою запобігання та припинення правопорушень, спрямованих проти інтересів підприємства;
- створення власної служби безпеки підприємства, що відповідає виявленим небезпекам та загрозам тощо.

Немаловажним на підприємствах є методика побудови системи економічної безпеки. Вона складається з таких етапів [6]:

1 етап – полягає у вивченні специфіки бізнесу, сегменту ринку, персоналу.

2 етап – проведення аналізу внутрішніх та зовнішніх загроз підприємства.

3 етап – аудит засобів, які забезпечують безпеку, а також їх відповідність загрозам, які були виявлені на другому етапі.

4 етап – утворення моделі нової системи економічної безпеки.

5 етап – затвердження запропонованої моделі керівництвом.

6 етап – проведення заходів з формування нової системи економічної безпеки.

7 етап – проведення оцінки впровадженої системи, а також її удосконалення за наявності якихось недоліків.

На певному етапі діяльності кожне підприємство піднімає питання власної економічної безпеки. Це відбувається не лише у моменти кризи, але й у період звичайного функціонування в стабільному економічному середовищі. Однак, комплекс завдань, які мають при цьому вирішуватися, досить суттєво відрізняються один від одного.

Якщо ми розглядаємо кризову ситуацію, то у цей період для підприємства стане найбільш руйнівним знищення потенціалу (технологічного, виробничого, кадрового та науково-технічного).

Якщо розглядати стабільне середовище, то підприємство приділяє значну увагу нормальному випуску та збуту продукції, запобіганню матеріальним та фінансовим збиткам, унеможливленню доступу до службової інформації та комп'ютерних баз даних тощо.

Виділяють наступні основні групи заходів, які здійснює керівництво підприємства під час управління економічною безпекою [7]:

1. Ресурсні – група заходів, спрямована на забезпечення виробництва основними ресурсами, серед них: матеріальні, трудові, фінансові та ін.

2. Техніко-технологічні – група заходів, яка застосовується для покращення виробничої потужності, інноваційної політики підприємства і т.п.

3. Фінансово-економічні – група заходів, яка забезпечує економічну ефективність, фінансову стабільність та незалежність підприємства, його конкурентоспроможність і т.п.

4. Інформаційно-аналітичні – група заходів, яка спрямована на прийняття стратегічно важливих рішень для підприємства, а також використовується для попередження потенційно можливих загроз економічній безпеці підприємства.

5. Кадрові – група заходів, спрямована на мінімізацію ризиків, які пов'язані із знаннями працівників інформації, яка розцінюється як комерційна таємниця, їх низькою кваліфікацією і т.п.

6. Правові – група заходів, яка спрямована на моніторинг всіх оновлень законодавчих актів, які безпосередньо пов'язані з економічною безпекою.

Висновки

Захист підприємств від будь-яких загроз безпосередньо залежить від розмірів самого підприємства та завдань, які ставляться перед системою економічної безпеки. Так, для малих підприємств є доцільним використання зовнішніх спеціалізованих

суб'єктів, адже при розмірі їх капіталу та розгалуженості діяльності створення власних систем безпеки є недоцільним.

Середнім підприємствам слід використовувати змішану систему економічної безпеки, але не варто на підприємстві створювати окремий підрозділ для цього. Великі підприємства потребують потужної системи безпеки. Для цього буде доцільним створити окремий підрозділ, який би прогнозував, виявляв та запобігав загрози, а також забезпечив конфіденційність всієї інформації підприємства. Так чи інакше, але система економічної безпеки підприємства має бути постійно готовою для того, щоб своєчасно реагувати на тривожні сигнали.

Таким чином, система економічної безпеки на підприємствах України буде ефективно функціонувати лише тоді, коли будуть виконуватися завдання, які перед нею поставлені. Розглянуті концептуальні основи лише підтверджують важливість формування цієї системи, адже в результаті її реалізації підприємства підвищать ефективність свого функціонування в швидкозмінних умовах ринку сьогодення.

Література:

1. Грунин О.А. Экономическая безопасность организации. / О. А. Грунин, С. О. Грунин — СПб.: итер, 2002. — 160 с.
2. Лянной, Г. Система экономической безопасности предприятия / Г. Лянной // ВOS – журнал о личной и коммерческой безопасности. – 2006. – №7. – С. 16-19.
3. Ареф'єва, О. В. Наукові основи формування економічної безпеки підприємств / О. В. Ареф'єва // Недержавна система безпеки підприємництва як суб'єкт національної безпеки України : матеріали наук.- практ. конф. (Київ, 16–17 трав. 2001 р.) / М-во освіти і науки України; Європ. ун-т. – К. : Вид-во Європ. ун-ту, 2003. – С. 49–53.
4. Коробчинський, О. Л. Методика формування системи економічної безпеки підприємства / О. Л. Коробчинський // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 4 – С. 41-45.
5. Іванюта Т. М. Економічна безпека: [Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.]. / Т. М. Іванюта, А. О. Заїчковський — К.: Центр учбової літератури. 2009. – 256 с.
6. Сазонець І. Л. Міжнародні стандарти безпеки підприємств: [навч. посіб.] / І. Л. Сазонець. – Рівне: Волинські обереги, 2015. – 352 с.
7. Отенко І. П. Економічна безпека підприємства : [навчальний посібник] / укл. І. П. Отенко, Г. А. Іващенко, Д. К. Воронков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2012.

УДК 331.435

Карпенко М.І., ст. ЕК-41, ФЕА (НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»)

Праховнік Н.А., доцент, к.т.н., (каф. ОПЦБ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»)

ПІДТРИМАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Важливість заходів безпеки при роботі атомних електростанцій останнім часом виходить на перше місце у всьому світі. Основними критеріями оцінки радіаційної безпеки є створення системи заходів і служб з контролю радіаційної безпеки.

*Ключові слова: атомні електростанції, заходи безпеки, методи захисту.
The importance of security measures at nuclear power-station work recently took the first place in the world. The main criteria for evaluation of radiation safety is the creation of*

protective methods and services to control the radiation safety.

Key words: nuclear power-stationes, security, protection methods.

Вступ

Останнім часом на перший план виходять заходи безпеки спрямованні на безпечно для людства використання атомної енергії. Останні великі аварії на АЕС спонукають до застосування більш жорстких мір при експлуатації мирного атому. Нажаль на сьогоднішній день багато розвинутих країн західної Європи та Америки потроху почали відмовлятися від застосування атомної енергетики в своїх країнах. Так, наприклад Уряд Німеччини оголосив про припинити експлуатацію всіх АЕС країни до 2022 року. В 2011 році були закриті 8 реакторів на території країни. Остання велика аварія в атомній енергетиці (2011 р. Японія) спонукала уряд Італії провести референдум на якому вирішувалося питання подальшого використання АЕС. Більшість населення країни (94,1 %) проголосувало проти і така тенденція зберігається у більшості країн світу.

Аналіз стану питання

В цілому радіаційні параметри, що характеризують роботу АЕС у 2017 році

безпосередньо в Україні свідчать що не відбувалось перевищень нормативних

значень, а радіаційний захист персоналу та населення забезпечувалися на

достатньому рівні. [3] Експлуатація АЕС за останні роки не викликала ніяких

екологічних змін, які б свідчили про погіршення стану навколишнього середовища у

районі їх розташування порівняно з попередніми роками.

Мета роботи

Дослідити заходи безпеки при роботі атомних електростанцій в Україні та світі. Відповідно до вимог чинного законодавства у цій сфері є визначення основних заходів з питань охорони здоров'я від можливої шкоди, пов'язаної з опроміненням джерелами іонізуючого випромінювання до вимоги безпечної експлуатації АЕС.

Методики, матеріали і результати досліджень

Дотримання допустимих меж впливу радіаційних чинників на персонал, населення та навколишнє природне середовище – необхідна та надзвичайно важлива місія країн, які прийняли рішення розвивати атомну енергетику. Особливо це стосується України, яка отримала у спадок наслідки аварії на Чорнобильській АЕС.

На сьогоднішній день в нашій країні в експлуатації знаходиться 15 енергоблоків, а саме: 13 ВВЕР-1000 і 2 ВВЕР-440 загальною встановленою потужністю 13,835 ГВт. Робота АЕС забезпечує близько 60 % енергобалансу України. Принцип їх роботи досить схожий на виробничий цикл теплової електростанції, але з поправкою на те, що замість спалювання палива, для нагріву води, використовується енергія ланцюгового поділу важких ядер. [1]

Основні джерела радіаційного випромінювання на АЕС:

1. Перший контур:

- реакторна установка;
- трубопроводи головного циркуляційного контуру (ГЦК);
- інше обладнання ГЦК.

2. Другий контур:

- установка очистки продувної води парогенератора (фільтри);
- фільтри очистки від конденсату.

3. Допоміжний контур:

- трубопроводи, фільтри, теплообмінники установок спецводоочистки, спецгазоочистки і вентиляційних систем;
- басейни витримки та перевантаження паливних збірок.

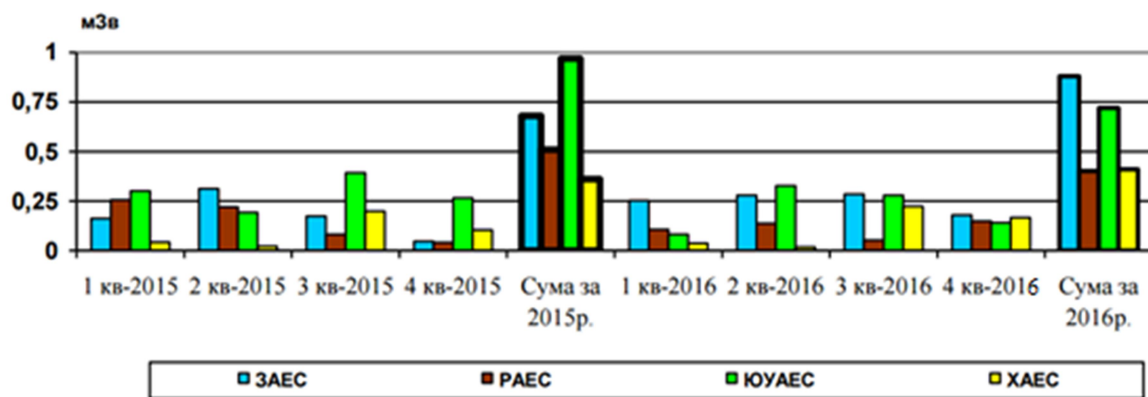
4. Інші джерела:

- відпрацьоване паливо;
- сховища рідких та твердих радіоактивних відходів.

Одним із факторів, який ставив питання доречності використання атомної енергії, завжди були аварії. Найбільшою та найжахливішою вважається чорнобильська катастрофа. Ця подія змінила лице атомної енергетики та піддала тиску кожному структурі пов'язану з нею, примусивши захищати кожен свій об'єкт та виправдовуватися перед незліченною кількістю науковців, журналістів та простих людей. Ліквідація наслідків триває ще й досі.

Основними критеріями оцінки радіаційного впливу є дози опромінення. В Україні діють Норми радіаційної безпеки НРБУ-97, які встановлюють межі ефективної дози опромінення: 20 мЗв на рік для персоналу станції та 1 мЗв на рік для населення. [4]

З наведеної діаграми (Діаграма 1) видно, що сумарна індивідуальна доза не перевищила навіть 5% від ліміту для персоналу річної категорії А. Таких результатів вдалося досягти в результаті кропіткої роботи працівників галузі атомної енергетики.



Діаграма.1. Середня індивідуальна доза опромінення персоналу АЕС за чотири квартали і в сумі за 2015 та 2016 роки, по даним ДП «НАЕК «Енергоатом».

Першим великим проектом, який повинен був підняти рівень захисту навколишнього середовища від радіоактивного пилу, що залишився в четвертому блоці ЧАЕС, стало спорудження об'єкта «Укриття». У рекордні строки (206 днів) було проведено такі роботи як: очистка та бетонування території навколо 4-го енергоблока, зведення захисних стін по периметру, будівництво каскадної стіни, покриття машинного зала, монтаж вентиляційних систем та контрольно-вимірювальних комунікацій.

Останньою великою віхою стало завершення ізоляційної споруди «Укриття-2». На даний час ситуація в зоні відчуження стабільна та повністю локалізована. [6]

Після катастрофи на ЧАЕС до засобів радіаційного захисту було додано багато нових пунктів та систем, що значно ускладнило організаційну систему. Аварія на станції Фукусіма-1 дала ще один поштовх до дій у сфері безпеки атомних електростанцій. Саме тому радіаційний контроль на АЕС був розподілений на такі основні напрямки:

1. Контроль захисних бар'єрів від радіонуклідів, які утворюються всередині реактора, який включає:

- контроль герметичності оболонок ТВЕЛів;
- перевірку герметичності основного циркуляційного контуру;

- неприпустимість викидів радіонуклідів за межі АЕС.
- 2. Технологічний контроль середовищ експлуатації обладнання, який включає:
 - контроль рівня забруднення поверхонь виробничих приміщень і обладнання, засобів індивідуального захисту персоналу в зоні суворого режиму та одягу і взуття персоналу при перетині кордону АЕС;
 - перевірку матеріалів, устаткування та транспортних засобів при перетині ними кордону АЕС.
- 3. Радіаційний технологічний контроль складається з:
 - моніторингу об'ємної активності технологічних середовищ станції;
 - спостереження за концентрацією аерозолів та радіоактивних газів у вентиляційній та локалізуючій системі та в приміщеннях, які не обслуговуються.
- 4. Дозиметричний контроль персоналу та періодично обслуговуваних приміщень станції.

Цей список може бути доповнений спеціальними видами радіаційного контролю для найбільш глибокого дослідження нестандартних ситуацій, які повсякчас пов'язані з аварійними режимами на АЕС. [2]

Для забезпечення виконання протирадіаційних заходів були розроблені такі системи методів та засобів:

- організаційно-управлінські методи, які пов'язують виконавця робіт і керівництво експлуатаційної організації;
- технічні засоби утримання радіонуклідів, їх похідних та іонізуючого випромінювання в заданих межах;
- інформаційні засоби, які слугують для збору, аналізу та зберігання даних задля підтримання стабільного рівня радіаційної безпеки.

Для підтримання усієї цієї системи заходів з безпеки були створені спеціальні служби з радіаційної безпеки, які підтримують належний рівень моніторингу та контролю за ситуацією в нормальному режимі експлуатації АЕС. Функціонал цих угруповань досить широкий. Крім вказаних вище напрямків, головними пунктами є:

- розробка навчальних програм з питань безпеки;
- видача висновку на технічну документацію про відповідність умовам безпечної експлуатації;
- рекомендаційна діяльність, пов'язана з підвищенням рівня радіаційного захисту та зменшенням доз опромінення працівників;
- проведення та отримання результатів медичного огляду персоналу станції;
- заборона робіт, які можуть знизити рівень радіаційної безпеки.

Невід'ємною складовою радіаційного захисту є його система бар'єрів, які включають паливну матрицю, оболонку ТВЕЛів, кордон контуру теплоносія, що є охолоджуючим елементом активної зони, герметичність систем локалізації.

Для приведення доз радіації до меж, які дозволяють забезпечити належний рівень безпеки, при будь-яких режимах роботи АЕС, використовуються спеціальні захисні матеріали. Вони повинні бути міцними, радіаційно- та термічно стійкими, вогнетривкими, стабільними, вибухобезпечними та хімічно нейтральними. Не останню чергу грає простота монтажу та вартість матеріалів.

На АЕС в якості біологічного захисту часто використовують воду та бетонні і металеві конструкції, які досить надійно захищають навколишнє середовище від згубного впливу радіації. [5]

Борована вода прекрасно поглинає нейтронне випромінювання через високу щільність атомів водню, що сповільнює нейтрон, а бор поглинає захватне випромінювання, яке виникає при сповільненні нейтронів.

На деяких ділянках використовується поліетилен, який краще сповільнює, ніж вода, але його недоліками є деформація та спалахування під впливом високих

температур і високий коефіцієнт лінійного розширення. Також використовуються пластмаси.

Ще одним досить поширеним матеріалом є графіт, який, однак, має низьку стійкість до окиснення і потребує покриття поверхні плівкою з фосфатного скла.

Основним же матеріалом для захисту від випромінювання є бетон, який складається із заповнювачів, з'єднаних цементом. До складу зв'язуючої ланки в основному входять окиси кальцію, кремнію, алюмінію, заліза і легкі ядра, які поглинають γ -випромінювання та уповільнюють швидкі нейтрони в результаті пружного та непружного зіткнень. Недоліком бетону можна вважати велику масу та об'єм матеріалу. Виділяють його види: будівельний, лімонітовий, серпентіновий, брусітовий, магнетовий, хромітовий та баритові бетони. При обмеженні габаритів використовують свинцеві листи з додаванням кадмію, які в сплаві дають хороші механічні та захисні властивості від нейтронного і γ -випромінювання.

Висновки

Отже, було розроблено і досліджено багато методів, засобів та матеріалів для безпечного рівня радіаційного впливу АЕС. Не залишилась у стороні й Україна, яка, перейнявши досвід колег і наклавши його на свій, створила власні органи контролю та моніторингу ситуації. На даний час атомна енергетика вважається чи не найбільш надійним і безпечним постачальником електроенергії споживачам України.

Література

1. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій (ОПБ-88) ПНАЕ Г-1-011-89 / Держатомнагляд СРСР. - М.: Вища школа, 1990.
2. Індивідуальний захист працюючих в атомній енергетиці / В.С Кощев, Д.С. Гольдгейн, В.М. Клочков і ін-М.: Вища школа, 1992.
3. Не тільки радіація, але й свинець, озон та інші / Г.Желяев, В. Копейкін наука:нове слово, 1997.
4. НРБУ-97 – Норми радіаційної безпеки України 1997 р.
5. Радіаційний вплив і радіаційний захист населення при ядерних аваріях на атомних електростанціях / Мащенко М.П., Мурашко В.А. Учб. посібник. – К.: Вища шк., 1992.
6. Технологія заповнювачів бетона / С.М. Іцкович, Л. Д. Чумаков, Ю. М. Баженов – Учб. посібник- К.: Вища шк., 1991.

УДК 614.8

Левченко О.Г., д.т.н., професор, Ільчук О.С., асистент,

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського» АНАЛІЗ ЗАДАЧ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

В статті обґрунтовано застосування комплексного підходу до оцінювання рівня ефективності управління охороною праці та наведено структурну схему задач (з підвищення оцінювання рівня ефективності управління охороною праці). Запропоновано підхід до виявлення структури показників, що впливають на рівень виробничого травматизму. Проаналізовано використання правил ранжування за показниками впливу на рівень їх виробничого травматизму.

Ключові слова: ефективність управління, виробничий травматизм, охорона праці, комплексний підхід, показник.

*ANALYSIS OF THE TASKS OF EFFICIENCY MANAGEMENT OF LABOR PROTECTION
IN THE PRODUCTION*

A comprehensive approach to the evaluation of the effectiveness of labor safety management problems is justified in the article. The structural scheme of evaluation of the effectiveness of labor safety management is given. A method for identifying the structure of the parameters affecting the level of occupational injuries is proposed. The rules of ranging the mechanical engineering production are analyzed by performance impact on the level of their occupational injuries.

Keywords: *the effectiveness of management, industrial injuries, labor protection, comprehensive approach, indicator.*

Вступ. Аналізуючи питання виробничого травматизму можна стверджувати, що завдання підвищення рівня ефективності управління охороною праці вимагає не тільки технічних, а й організаційно-управлінських рішень з використанням багатокритеріальних моделей вибору проектів. Серед завдань, які потребують детального аналізу та подальшого дослідження є питання розробки моделей та засобів системи охорони праці на виробництві, необхідність у розробці наукових підходів та методів впровадження системи на місцевому рівні, необхідність моніторингу та теоретичного обґрунтування й реалізації проектів з охорони праці, дійових механізмів аналітико-організаційних підходів та комплексного аналізу статистичних даних.

Застосування комплексного підходу до оцінювання функціонування у галузі охорони праці та забезпечення підвищення рівня ефективності управління охороною праці потребує системного контролю з метою забезпечення повної картини стану охорони праці на виробництві, де під комплексним підходом розуміється планувальний комплекс наукових, технічних, виробничих, соціально-економічних та інших заходів, взаємопов'язаних за ресурсами та виконавцями, здійснення яких забезпечує досягнення поставленої мети [1]. За умов комплексного підходу до проблеми виробничого травматизму проводиться аналіз не тільки технічних складових підвищення рівня ефективності управління охороною праці, а й відслідковується її організаційна складова. Дозволяє визначити організаційні проблеми у галузі охорони праці та скорегувати чи зменшити їх вплив. Комплексний багатокритеріальний аналіз повинен також раціонально підходити до питань вибору проектів з охорони праці, обґрунтовано визначати перелік та склад проектів, першочергових для впровадження, враховуючи як фінансову складову, так і досягнення максимального ефекту – підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві.

Комплексний підхід повинен включати в себе складову аналізу статистичних даних, показників виробничого травматизму. Отримання загальної картини стану охорони праці на виробництві, перевірка цієї інформації в ході комплексного аналізу та одержання остаточних результатів і визначення корегуючих дій з метою впливу на всі складові підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві.

Мета роботи. Результатом комплексного підходу є підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві і визначення першочергових заходів у галузі охорони праці з метою максимального впливу на виробничий травматизм.

Методики, матеріали і результати досліджень. Підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві можливе шляхом створення універсальної системи контролю вибору проектів з охорони праці (системи моніторингу) шляхом комплексного аналізу статистичної інформації, яка б давала можливість не тільки вести підконтрольні функції збору вхідної облікової інформації у цій галузі, але і мала на меті проведення моніторингу.

Для створення такої системи необхідно застосування певного математичного апарату, що дозволить досягти поставлених цілей. Основою такого інструментарію

повинна слугувати розробка моделей та засобів підвищення рівня охорони праці на виробництві в умовах багатокритеріального аналізу.

На рисунку 1 представлена структурна схема задач з підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві в умовах комплексного підходу.

Багатокритеріальний аналіз включає в себе виконання комплексу завдань, які є складовими задачами з підвищення рівня ефективності управління охороною праці:

- аналіз показників впливу на управління охороною праці на виробництві, відображають стан справ у галузі охорони праці;
- аналіз вхідної інформації щодо її достовірності, враховуючи часові інтервали дослідження та значну сукупність виробництв;
- використання методів ранжування показників, що впливають на управління охороною праці на виробництві з метою визначення поточного стану виробничого травматизму;
- визначення корегуючих дій в галузі охорони праці та вибір проектів (заходів) з охорони праці, які максимально поліпшать стан справ у галузі, враховуючи при цьому вплив економічної складової виробництва.

Виконання поставлених цілей та завдань має розгалуженість, тому для вирішення такої задачі є необхідність у використанні комплексу математичних моделей, кожна з яких направлена на вирішення своїх завдань з метою їх компонування для вирішення поставленої мети – підвищення рівня ефективності управління охороною праці на виробництві.

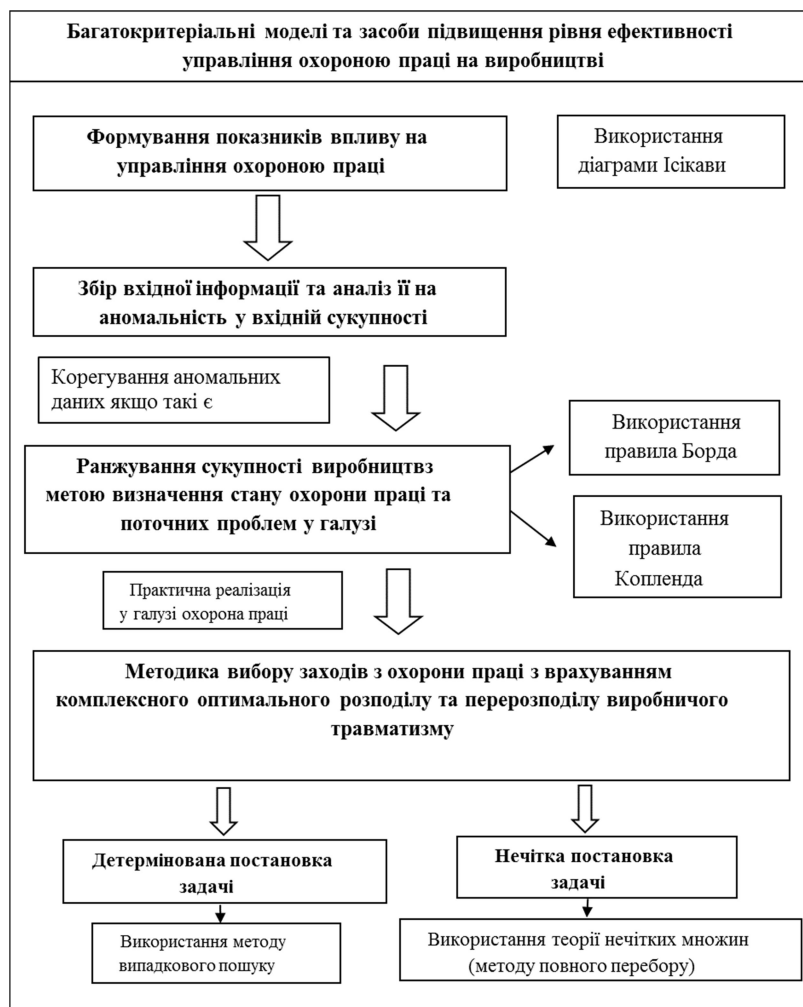


Рис. 1. Структурна схема задач з підвищення рівня ефективності управління

охороною праці на виробництві в умовах комплексного підходу

Аналіз показників впливу на управління охороною праці потребує механізму оцінювання. Використання емпіричних методів аналізу з метою визначення вхідного поля показників, використовуючи діаграму Ісікави [2, 3], дозволяють здійснити таке оцінювання:

1. Комплексно визначити за ними сукупність показників для подальшого аналізу виробничого травматизму.

2. Оцінити взаємозв'язок між показниками з метою ілюстрації їх всебічного впливу на проблему, що вирішується.

Емпіричні методи використовувалися для оцінювання показників, що мають вплив на управління якістю виробництва [2, 3].

Проведення подальшого аналізу оцінювання рівня ефективності управління охороною праці з використанням показників потребує аналізу отриманої статистичної інформації щодо стану виробничого травматизму. У випадку часового проміжку отримання цієї інформації постає питання щодо її достовірності та недопущення до подальшої обробки аномальних даних та прийняття невірних управлінських рішень у галузі охорони праці.

У процесі обробки технічних та інших даних, які отримані в результаті спостережень, вимірювань, розрахунків іноді один чи декілька результатів спостереження різко виділяються серед основної маси даних. Такі результати спостережень часто вважають такими, що мають грубі похибки, їх називають аномальними. Якщо грубі похибки виявляють у процесі досліджень, то результати, які мають їх у своєму складі, відкидають. Однак частіше всього їх виявляють тільки під час остаточної обробки результатів досліджень за допомогою спеціальних критеріїв оцінки грубих похибок [4].

В ході комплексного аналізу рівня ефективності управління охороною праці постає питання щодо можливості оцінювання показників, що впливають на управління охороною праці на виробництві, які мають різну "фізичну природу", а саме, організаційні, технічні, психофізіологічні та інші. Використання математичних правил ранжування дозволяє здійснити оцінювання виробництв за показниками. Сформулюємо математичну постановку задачі ранжування.

Нехай деякі два з результатів спостереження x_1, x_2, \dots, x_n не збігаються, а r_1, r_2, \dots, r_n – їх ранги. Тоді елементи матриці C та ранги результатів спостереження пов'язані взаємно-однозначною відповідністю:

$$r_i = 1 + \sum_{1 \leq j \leq n} (1 - c_{ij}), \quad (1)$$

а c_{ij} через ранги можна виразити таким чином: $c_i = 1$, якщо $r_i < r_j$, та $c_{ij} = 0$ в протилежному випадку.

Це означає, що під час обробки вхідних даних можуть застосовуватися лише рангові статистичні методи. У більшості випадків перетворення $Y = F(x)$ (де $F(x)$ – неперервна функція розподілу випадкової величини X , враховуючи, що F припускається довільною), яке часто використовується у непараметричній статистиці, фактично означає перехід до порядкової шкали, оскільки статистичні висновки при цьому інваріантні відносно допустимих перетворень у порядковій шкалі.

За допомогою непараметричних та перш за все рангових методів можна вирішувати той же набір задач прикладної статистики, що і за допомогою параметричних методів, а саме, які ґрунтуються на припущеннях нормальності. Однак параметричні методи увійшли у масову свідомість дослідників та інженерів і заважають широкому впровадженню більш обґрунтованої та прогресивної рангової статистики [5].

Слабке місце бального методу полягає в експертній довільності встановлення питомої ваги показників, оскільки сама оцінка показників по бальній системі вельми

умовна. Проте, бальний метод має безперечну перевагу, що полягає в можливості обліку і хоч би умовного зіставлення всіх техніко-економічних показників. Його можна рекомендувати як засіб комплексної оцінки різних варіантів проектів технічних рішень замість загальноприйнятих, вкрай примітивних методів аналізу [6].

Достовірність бальних оцінок забезпечується кількістю, а головне ретельним підбором фахівців-експертів, а також належною обробкою даних експертизи за допомогою методів математичної статистики, зокрема використання дисперсії, коефіцієнту конкордації тощо.

Основна роль експертних оцінок – здобуття матеріалу для подальшого евристичного аналізу і на цій основі ухвалення остаточного рішення. Головна методична складність виникає в розгляді питання про інтеграцію різних суперечливих критеріальних показників [6].

У роботі під час ранжування виробництв за показниками, що дозволяють оцінити рівень їх ефективності охорони праці, скористаємося правилами Борда, Коппенда.

Ранжування цими правилами є простим для алгоритмізації та програмування, а також має достатню стійкість під час оцінювання вхідних даних та проведення розрахунків. Проте, рівень адекватності та прогнозованості кінцевих результатів залежить від наявних обсягів початкових даних, а саме, кількісної та якісної складових вхідної інформації.

Крім згаданих нами правил ранжування існує ряд інших: правила Ненсона, Шварца, багатокритеріальне мажоритарне ранжування, парного порівняння тощо [7]. В загальному випадку вони є модифікаціями правил Борда, Коппенда, які засновані також на методах коефіцієнтів, попарного порівняння, та методах з нечіткими експертними оцінками тощо.

За результатами ранжування робимо проміжні висновки про стан виробничого травматизму. Пропонуємо корегуючі дії як організаційного спрямування, так і практичного характеру (вибору заходів з охорони праці). Однак реалізація заходів з охорони праці в реальних умовах здійснюється в умовах невизначеності технічних умов та рішень, що потребує їх врахування.

Висновок

Удосконалення та використання багатокритеріальних моделей і засобів підвищення рівня ефективності управління охороною праці в умовах комплексного підходу дозволяє підвищити прогнозованість отриманих результатів щодо стану виробничого травматизму та відповідного оперативного прийняття управлінських рішень у сфері охорони праці в подальшому.

Література

3. Словарь по кибернетике /Под редакцией В. С. Михалевича. – 2-е издание – К.: 1989. – 751 с.
4. Басовский Л.Е. Управление качеством / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 212 с.
5. Свиткин М.З. Группы качества на машиностроительных предприятиях / М. З. Свиткин, В. Д. Мацута, К. М. Рахлін. – Л. : Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 141 с.
6. Артемьев Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб / Б.Г. Артемьев, С.М. Голубов. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 280 с.
7. Орлов А.И. Нечисловая статистика / А.И.Орлов. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 513 с.
8. Долгов П.П. Электроэнергетический комплекс. Экономический анализ и оптимальные решения / П.П. Долгов, И.Е. Нелидов, И.М. Савин – Харьков: Вища школа, 1985. – 176 с.

9. Гасанов Г.Б. Рейтинговая оценка и регулирование деятельности распределительных электрических сетей в условиях нечеткости / Г.Б. Гасанов. – Львов: Львівська політехніка, 2006. – 116 с.

УДК 331.434

Р. А. Пашков, студент гр. ПО-42, ПБФ (НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»)

О. В. Землянська, ст. викладач (каф. ОПЦБ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»)

ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ЛАЗЕРНИМИ УСТАНОВКАМИ

Важливість заходів безпеки при роботі з лазерними установками, які застосовують у науці, озброєнні, різних галузях промисловості, господарювання, сільському господарстві, зв'язку та інформаційних технологіях, медицині, культурі та ін.

Ключові слова: лазерна установка, вплив, заходи безпеки.

The importance of security measures when working with the laser installations that is used in science, in arms, various industries, farms, in agriculture, in communications and information technology, in medicine, in culture, etc.

Key words: laser installation, impact, safety measures.

Вступ

Лазерні установки у сучасному світі знаходять широке застосування, приходячи на зміну застарілим технологіям, виконуючи більш складні і високоточні операції, забезпечуючи не тільки високу якість, але й гарну продуктивність, а в деяких випадках вони практично унікальні.

Завдяки властивостям лазерні установки застосовують у:

– науці – спектроскопічні дослідження різних нелінійних оптичних ефектів, вимірювання відстані до Місяця, підвищення якості зображення астрономічних об'єктів, дослідження хімічних реакцій з високою роздільною здатністю за часом, надшвидкого управління магнітним станом середовища, охолодження кристалів від азотних до гелієвих температур, термоядерний синтез, оптичні пінцети для вивчення структури та принципу роботи білків та ін.;

– озброєнні – лазерна зброя, цілевказівники, збройові системи наведення, далекоміри, системи виявлення снайперів та ін.;

– галузях промисловості – геодезія, геологія, будівництво, метеорологія, екологічний моніторинг та ін.;

– в галузях господарювання з технологічною метою – поверхнева лазерна обробка (загартування, відпал, очищення, розплавлення для поліпшення якості поверхні), отримання поверхневих покриттів, ініціювання поверхневих хімічних реакцій, лазерна та газолазерна різка, скрайбрування пластин з кремнію, арсеніду галію та інших матеріалів, маркування й гравірування, та ін.;

– зв'язку та інформаційних технологіях – оптоволоконні лінії зв'язку, зберігання інформації на оптичних носіях, лазерні дисплеї та принтери, зчитувачі штрих-кодів та ін.;

– сільському господарстві – біорегуляторна дія когерентного світла, для передпосівної обробки насіння, досвітки овочевих культур у закритому ґрунті, опромінення вегетуючих рослин;

– медицині – діагностика захворювань, стоматологія, хірургія;

– культурі – лазерне шоу на концертах і дискотеках, мультимедійні демонстрації презентації, в світловому дизайні, лазерні субтитри на кіноекранах та ін.;

– побуті – лазерні указки, далекоміри та ін.

Однак, незважаючи на величезний потенціал, лазери несуть в собі також значну потужність і в результаті неправильного поводження з ними можна отримати досить

серйозні травми, щоб уникнути цього необхідно знати правила використання та основні запобіжні заходи.

Аналіз стану питання

У 1954 році професор Колумбійського університету Чарльз Таунс зі своїми однодумцями Гербертом Цайгером і Джеймсом Гордоном, використовуючи теорію Альберта Ейнштейна, створив перший у світі реально працюючий лазер. З тих пір під одною загальною назвою та принципом дії існують абсолютно різні за характеристиками та властивостями прилади. Гранично допустимі рівні лазерного випромінювання для окремих довжин хвиль були встановлені в 1972 р., а з 1991 р. вимоги безпеки при експлуатації лазерних установок регламентують «Санітарні норми і правила пристрою і експлуатації лазерів» № 5804-91. З подальшим розповсюдженням лазерних установок у різних галузях продовжується наукове дослідження впливу небезпечних і шкідливих факторів на здоров'я та працездатність робітників. Тому подальше удосконалення існуючих та розробка нових способів і засобів захисту є важливою та актуальною.

Мета роботи

Дослідити заходи безпеки для різних класів лазерних установок, при яких створюються такі умови праці, які гарантують, що гранично допустимі рівні опромінення очей і шкіри не будуть перевищені.

Методики, матеріали і результати досліджень

На робітника при роботі з лазерною установкою, в залежності від її конструкції, класу та напряму застосування можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі фактори:

- пряме, розсіяне або відбите лазерне випромінювання;
- світлове випромінювання;
- ультрафіолетове випромінювання;
- іонізуюче випромінювання;
- висока напруга в електричних колах;
- електромагнітні поля ВЧ- та НВЧ-діапазону від генераторів накачки;
- ІК випромінювання і виділення тепла від устаткування та нагрітих поверхней;
- температура повітря робочої зони;
- загазованість і запыленість повітря робочої зони;
- агресивні і токсичні сполуки, які утворюються при роботі.

Також існують фактори важкості та напруженості трудового [процесу](#) при роботі з лазерною установкою це:

- монотонність праці;
- гіпокінезія із-за недостатньої рухової активності та її наслідки;
- емоційна напруженість;
- [психологічний](#) дискомфорт;
- локальні навантаження на кисті рук та м'язи передпліччя;
- напруженість зору та слуху.

Всі ці фактори можуть негативно вплинути на здоров'я та працездатність робітника. За результатами численних досліджень впливу лазерного випромінювання на організм людини визначено складну залежність біологічного ефекту від: енергії випромінювання, довжини хвилі випромінювання, тривалості імпульсу, частоти проходження імпульсів, часу експозиції, поглиненої дози лазерного випромінювання, умов опромінення, біологічних і функціональних особливостей опромінюваної тканини та індивідуальних особливостей людини.

Найбільшого впливу зазнають очі та шкірний покрив. На шкірі виникають крововиливи різних розмірів, опіки, осередки обмеженого некрозу. При дифузно-

відбитому випромінюванні на весь організм людини спостерігаються функціональні зміни у центральній нервовій, серцево-судинній, ендокринній системах.

Для усунення негативного впливу вживаються засоби індивідуального захисту: захисні окуляри та маски з світлофільтрами які мають смугу поглинання залежно від робочої довжини хвилі лазерного світла, діелектричні рукавички, захисний одяг, діелектричні килимки біля пульта та щитка керування.

При роботі з випромінюванням будь-якого спектрального діапазону зменшити рівень випромінювання можна за допомогою світлофільтрів. Ступінь небезпеки випромінювання розраховується за формулою (1.1):

$$\eta = \eta_0 10^{-D_\lambda}, \quad (1.1)$$

де η_0 — ступінь небезпеки випромінювання при відсутності світлофільтру;

D_λ — оптична щільність світлофільтру, який застосовуються в захисних окулярах, масках, щитках та насадках.

Також біля робочого місця повинні бути розташовані: штанги для накладання заземлення, засоби пожежогасіння (вуглекислотний вогнегасник), укомплектована аптечка. Засоби захисту не повинні зменшувати ефективність технологічного процесу і працездатність робітника. Їх захисні характеристики повинні залишатися незмінними протягом встановленого терміну експлуатації. Вибір засобу захисту в кожному конкретному випадку здійснюється з урахуванням вимог безпеки для конкретного процесу. Засоби індивідуального та колективного захисту повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.011-89.

До організаційно-технічних заходів захисту відносять:

- розробку інструкцій та виготовлення стендів і плакатів з охорони праці;
- встановлення системи сигналізації на екстрений випадок;
- одночасне знаходження не менше ніж двох співробітників у робочому приміщенні;
- розподіл між працюючими зон відповідальності.

Підлога робочого приміщення повинна відповідати вимогам СНіП III-B-14-72, внутрішня відділка стін мати світло-поглинаючу поверхню. Лазери IV класу розміщують в окремих приміщеннях, двері яких повинні бути з внутрішніми замками та мати табло: «Стороннім вхід заборонено!».

За ступенем небезпеки генерованого випромінювання лазерні установки поділяються на наступні класи:

- клас 1 – вихідне випромінювання лазера не становить небезпеки для очей і шкіри;
- клас 2 – мають небезпеку при опроміненні очей прямим або дзеркально відбитим випромінюванням, не слід використовувати на рівні голови;
- клас 2a – розташовані і закріплені таким чином, що попадання променя в око людини при правильній експлуатації виключено;
- клас 3 – мають небезпеку при опроміненні очей прямим, дзеркальним, а також дифуздорозсіяним випромінюванням на відстані 10 см від матової поверхні і/або при опроміненні шкіри прямим або дзеркально відбитим випромінюванням;
- клас 3a – можуть становити небезпеку, якщо дивитися на них через оптичні інструменти, потужність до 5 мВт;
- клас 3b – мають небезпеку, якщо дивитися безпосередньо на лазер, потужність понад 5 мВт;
- клас 4 – мають небезпеку при опроміненні шкіри дифузновідбитим випромінюванням на відстані 10 см від матової поверхні.

Лазерні установки повинні бути обладнані спеціальними захисними пристроями, які перешкоджають поширенню такого лазерного випромінювання на персонал, яке

перевищує ДПІ для класу 1, в тому числі й захисні блокування для безпечної роботи та його обслуговування. Останні повинні мати функцію відключення подачі високої електричної напруги до лазерної установки та його функціональним складовим. Випромінювання лазерного потоку навіть при випадковому відключенні блокування повинно бути виключено.

Кожна з частин захисного корпусу, при знятті якого можливий доступ робочих безпосередньо до випромінювання лазера з рівнем вище ДПІ для класу 1, повинна бути оснащена табличкою «Увага! При відкриванні – лазерне випромінювання».

Лазерні установки мають різні класи небезпеки, отже, в залежності від цього таблички повинні містити наступну інформацію:

- у разі, коли лазерний потік не більше ДПІ для класу 2: «Не дивитися в пучок»;
- у разі, коли лазерний потік не більше ДПІ для класу 3а: «Не дивитися в пучок і не спостерігати безпосередньо за допомогою оптичних інструментів»;
- у разі, коли лазерний потік не більше ДПІ для класу 3б: «Уникати опромінення пучком»;
- у разі, коли лазерний потік більше ДПІ для класу 3б: «Уникати опромінення очей або шкіри прямим або розсіяним випромінюванням». [1]

Прийняття заходів для зменшення небезпеки, яку несуть в собі лазерні установки:

- установки, які відносяться до класів 3а, 3б і 4 повинні бути обладнані зоровими і/або звуковими сигналами для оповіщення про небезпеку лазерного випромінювання;
- зорові засоби передачі інформації про лазерну небезпеку необхідно розміщувати окремо від інших світлових індикаторів. Такий сигнал повинен мати підвищену інтенсивність і/або працювати в режимі переривчастого світіння (з частотою світіння 3-5 Гц, тривалістю сигналу більше 0,2 с), а також добре проглядатися крізь захисні окуляри персоналу;
- звукові сигнали повинні бути добре розпізнавані, викликати асоціації виключно з лазерним потоком і привертати увагу робітників. Тривалість звукового сигналу повинна бути більше 0,2 с. [2]

За рівнем захисту робітників від випромінювання лазерних установок будь-якого класу умови і характер праці поділяються на:

- оптимальні, які зводять до нуля опромінення робітників лазером;
- допустимі, коли опромінення робітників лазером не перевищує ПДК;
- шкідливі та небезпечні, коли опромінення робітників лазером перевищує

ПДК.

До працюючих з лазерними установками пред'являються відповідні вимоги.

Робітники повинні:

- досягти 18-літнього віку;
- пройти медичний огляд і бути визнаними гідними для роботи;
- бути проінструктовані та навчені всім методам і прийомам, що забезпечують безпечний технологічний процес роботи;
- досконало знати технічну документацію, інструкцію з використання;
- здати екзамен з ПТБ і ПТЕ;
- володіти інформацією про засоби захисту та навичками з надання першої медичної допомоги;
- мати кваліфікаційну групу не нижче III;
- пройти інструктаж на робочому місці;
- отримати допуск до роботи у встановленому порядку.

Робітники, які виконують монтаж, ремонт та наладку лазерних установок також повинні мати відповідну кваліфікаційну групу з техніки безпеки відповідно «Правилам

технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ) і «Правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (ПТБ).

При кожній зміні технічних характеристик лазерних установок і умов робіт, що виконуються проводиться позачерговий інструктаж з техніки безпеки.

Робітників, які на тимчасових умовах займаються роботою з лазерними установками в обов'язковому порядку інструктують з техніки безпеки, а також закріплюються за відповідальною особою із штату постійних співробітників. [3]

Робітникам категорично забороняється:

- без спеціалізованих захисних засобів дивитися на пряме і дзеркальне зображення лазерного випромінювання при роботі з лазерами II-IV класів;
- у зоні дії лазерного випромінювання розміщувати пристрої і предмети з дзеркальними поверхнями, що викликають його відбивання, якщо це не передбачено конструкцією установки;
- навіть на невеликий час лишати включену установку без догляду.

За порушення інструкції з ОП та інструкції по експлуатації лазерної установки робітник несе дисциплінарну або кримінальну відповідальність.

При впливі лазерного випромінювання безпосередньо на органи зору або за наявності такої підозри необхідно терміново звернутися до лікаря за наданням спеціалізованої допомоги.

При будь-яких неполадках в роботі лазерної установки, невідповідності засобів індивідуального захисту від опромінення заявленим і будь-яким іншим відступам від нормального режиму роботи, персоналу необхідно негайно повідомити керівництву і зробити відповідний запис у журналі оперативних записів з експлуатації і ремонту лазерного обладнання. [4]

Висновки

Сучасні лазерні установки індуюють випромінювання практично на всіх довжинах хвиль від ультрафіолетових до довгохвильових інфрачервоних, що дає можливість їх широкого застосування. Для створення безпечних умов експлуатації та попередження професійних захворювань персоналу, при обслуговуванні лазерних установок, необхідно строго дотримуватись правил безпеки, охорони праці, використовувати способи і засоби індивідуального та колективного захисту.

Література

1. ГОСТ 12.1.040-83 – Лазерная безопасность. Общие положения [Электронный ресурс] – <http://ohrana-bgd.narod.ru/gost021.html>
2. Международное бюро труда / Использование лазеров на рабочем месте [Электронный ресурс] – http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-moscow/documents/publication/wcms_312443.pdf
3. Безпека життєдіяльності. Баб'як О.С., Чирва Ю.О. – К., 2003. – 304 с.
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник. Под ред. Э.А. Арустамова, 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Дашков и К, 2006. – 476 с.

УДК 622.271

Н. В. ЗУЄВСЬКА, д-р техн. наук, проф., О.П. Виноградова.,

Б.С.ШМАРОВ, студ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського"

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ АЛМАЗОВМІСНОЇ
МАТРИЦІ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇЇ
ХІМІЧНОГО СКЛАДУ.**

***Анотація.** На підставі дослідження вільоту алмазних зерен зі зв'язки робочого елемента композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич», виготовленого методом гарячого пресування з хімічним складом матриці: WC (96%) + Co (4%), та породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспінання зі складом матриці: Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) встановлено, що характер утворення та геометричні параметри мікробульб на поверхні матриці породоруйнівного елемента може свідчити про ступінь інтенсивності зношування інструменту.*

***Abstract.** Based on the research of diamond grains flight connections from working diamonds composite material element "Slavutich" produced by hot pressing of the chemical composition of the matrix: WC (96%) + Co (4%), and rock cutting element produced by the composition of the matrix electric sintering: Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) revealed that the character formation and geometrical parameters micro bumps on the surface of the matrix rock cutting element may indicate the degree of wear rate instrument.*

ВСТУП. Багаторічний досвід алмазного буріння показує, що ефективність застосування породоруйнівного інструменту, в значній мірі, залежить від ступеня відповідності зносостійкості матриці абразивним властивостям гірської породи [1]. Основною причиною руйнування матриці є дія на неї абразивного шламу гірської породи [1]. Матриця породоруйнівного інструменту зношується або контртілом (гірською породою, або третім елементом, що розташовується між ними (частинкою шламу) [6,7].

Створення ефективних конструкцій бурового інструменту засноване на вивченні основних закономірностей механізмів руйнування породи одиничним індентором. До основоположних теоретичних досліджень процесу руйнування гірських порід при бурінні відносяться роботи Л.А. Галина і І.Г. Горячевою, В.Д. Андрєєва, В.М. Мосінца, А.В.Абрамова, Б.Н. Кутузова і Г.М. Крюкова, Л.А Шрейнер, Н.Н Павлової, А.Ф.Кічігіна.

Р.М. Ейгелес [1] і Г.В.Арцімовіч [2] розробили схему механізму руйнування міцної гірської породи з використанням методу фотоупругості і теоретичного аналізу полів напруги під циліндричним і прямокутним індентора.

І.А. Свешніков [3] експериментально підтвердив гіпотезу П.А. Ребиндера про наявність в гірських породах зони передруйнування, досліджуючи за допомогою люмінесцентного аналізу закономірності її утворення при статичному і динамічному впровадженні індентора з плоским підставою в блок гірської породи. Згідно [4] зона передруйнування, яка утворюється в результаті різання різцями, оснащеними твердосплавних вставкою і АТП і являє собою систему тріщин в формі дрібних еліпсоїдів, що розташовуються між великими еліпсоїда, за якими сколюються і відокремлюються фрагменти породи.

Мета. Дослідження інтенсивності зношування алмазовмісної матриці при руйнуванні пісковіку Торезького родовища циліндричними елементами із композиційного алмазовмісного матеріалу.

Матеріали і результати досліджень. Експериментальні дослідження інтенсивності зношування алмазовмісної матриці при руйнуванні пісковиків Торезького родовища циліндричними елементами з плоским торцем діаметром 10 мм із композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич», виготовленого методом гарячого пресування з хімічним складом матриці: WC (96%) + Co (4%), рис. 1, 2 (а) (вольфрамо-кобальтова матриця ВК-6 та природні алмази зернистості 800/630 при їх відносній концентрації 100%) та породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспінання зі складом матриці: Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%), оснащеного термостійкими монокристалічними синтетичними алмазами AC160T 415/350 мкм, рис. 1,2 (б) проводили на спеціальній установці для експрес-оцінки експлуатаційних характеристик матеріалів, рис. 3. При обертанні блоку оброблюваного матеріалу (диску діаметром 125 мм і висотою 50 мм, рис. 4), з частотою 350 хв⁻¹, закріпленого на шпинделі установки, елемент з КАМ, запаяний у державці, переміщується в зворотному - поступальному напрямку вздовж напрямної і прижимається за допомогою пружини і змінних дисків, що регулюють тиск у зоні контакту торця елемента і торця оброблюваного блоку, (рис. 3) в результаті чого утворюється вибій у вигляді кільця з зовнішнім та внутрішнім діаметрами 93 мм і 73 мм, відповідно, моделюючи вибій, що його утворює алмазна бурова коронка діаметром 93 мм, рис. 4.

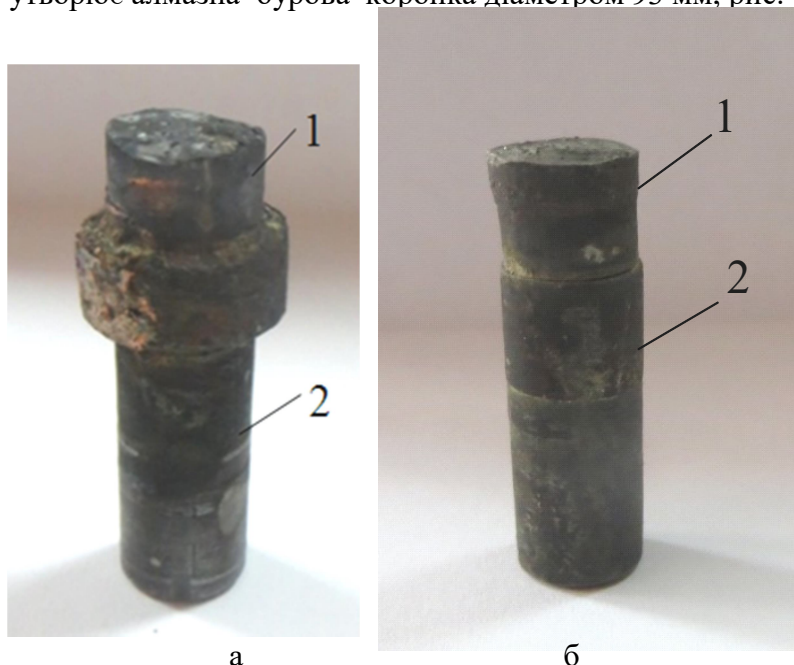


Рис. 1. Експериментальний зразок: зі «славутича» з зернистістю природних алмазів 800/630 мкм та їх відносною концентрацією 100 %, 1 – породоруйнівний елемент, 2 – державка – а; зі складом матриці: Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) оснащений термостійкими монокристалічними синтетичними алмазами AC160T 415/350 мкм

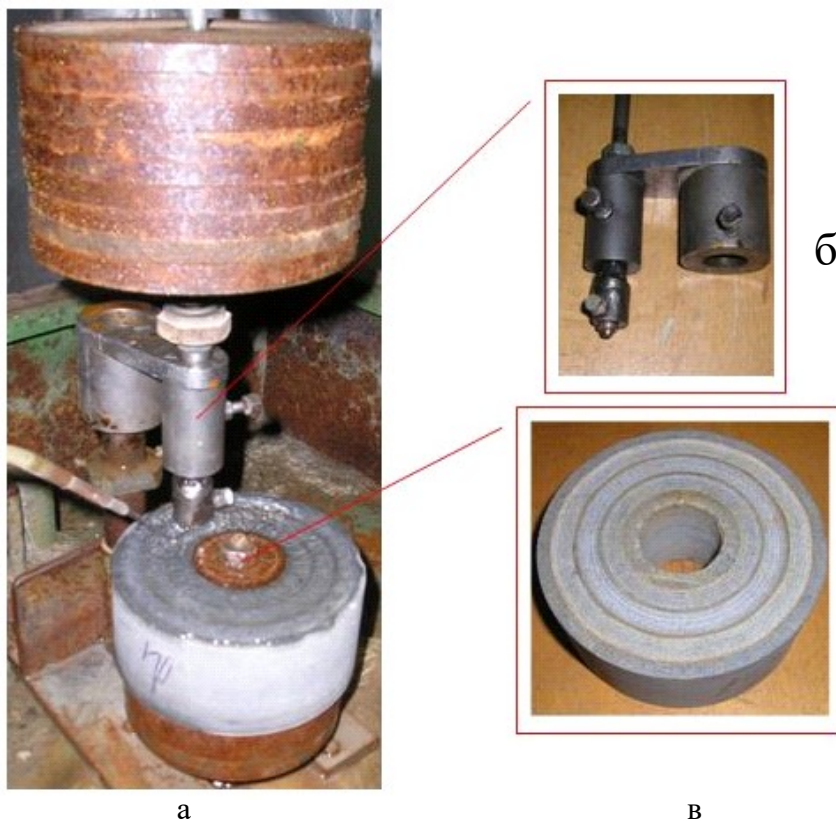
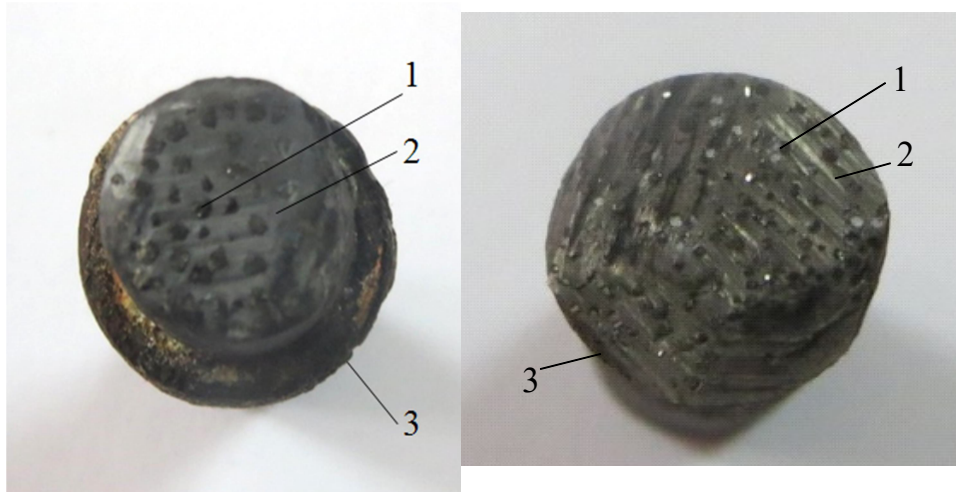


Рис. 3. Загальний вигляд: установки для експрес-оцінки експлуатаційних характеристик матеріалів – а, направляюча і пристрій для закріплення зразка – б, блок пісковика після випробувань – в



Рис. 4. Блок пісковику Торезького родовища діаметром 125мм

Мікроскопічні дослідження вильоту алмазних зерен зі зв'язки робочого елемента, дослідження конфігурації фрагментів продуктів руйнування гірських порід, поверхні вибою блоку гірської породи та робочу поверхню алмазовмісної матриці було проведено завдяки застосуванню мікроскопу Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital КОСОМ, що дозволяє спостерігати на дисплеї комп'ютеру при збільшенні у 176, 360 та 900 раз, рис. 5, об'єкт, що підлягає дослідженню.

Мікроскопічний метод, що традиційно застосовувався для вимірювання висоти виступання над рівнем алмазовмісної матриці алмазних зерен (виліт) в сегментах відрізних алмазних сегментних кругів [3] був використаний для вимірювання як вильоту алмазних зерен в матриці бурового інструменту, так і розмірів фрагментів продуктів руйнування ним гірської породи. Грубе налаштування зображення у мікроскопі 1 відбувалось при обертанні гвинта 6, тонке налаштування зображення – за допомогою гвинта 7, ціна поділки якого становить 2 мкм, тобто при повному оберті на 360° відбувається переміщення об'єктиву мікроскопу 2 на 100 мкм вгору або вниз, відносно столику 3, рис. 2. За допомогою відеокамери 8, зі збільшенням освітленості завдяки лампі 9, відбувається відтворення зображення на дисплеї ПЕОМ 10. Загальний вид відеокамери представлено на рис. 5.

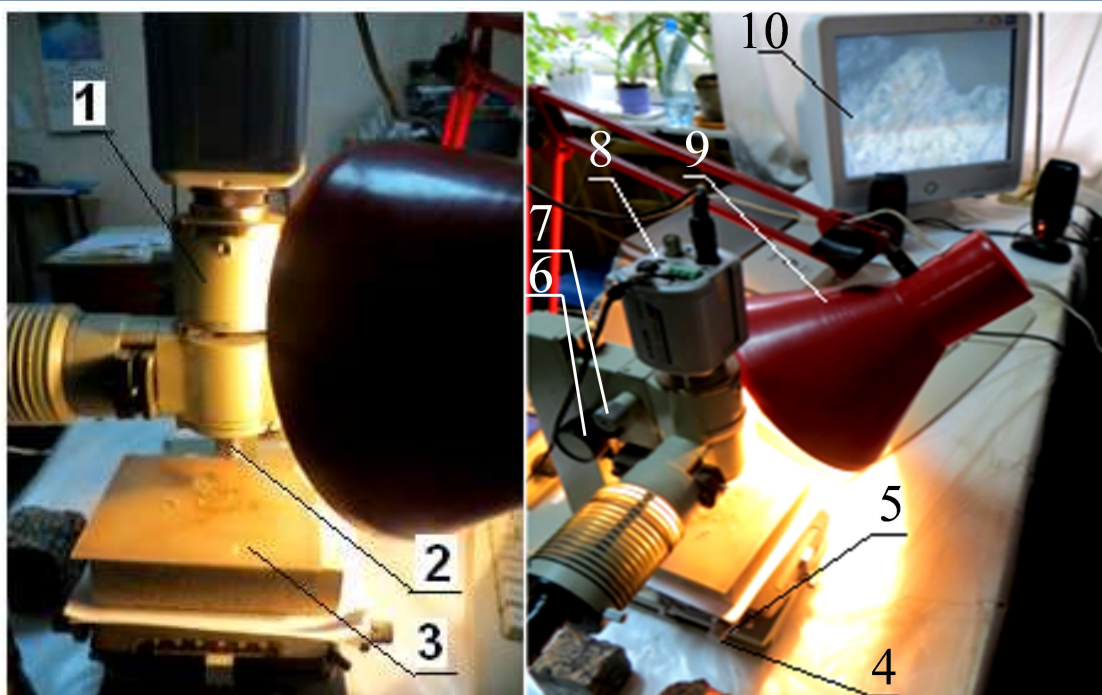
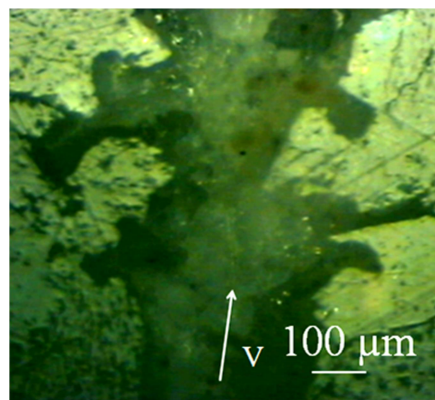
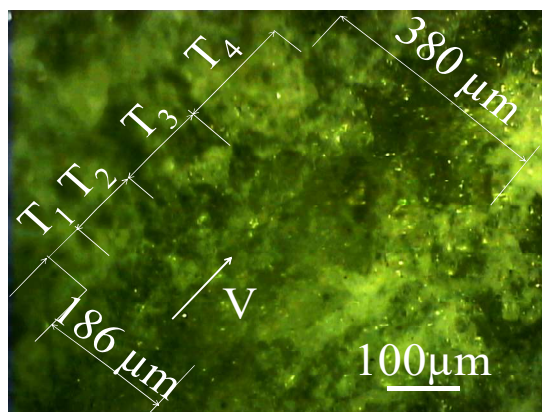


Рис. 5. Загальний вигляд мікроскопа Ломо Мета Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеного до ПЕОМ для дослідження продуктів руйнування гірських порід з різними фізико-механічними властивостями та робочої поверхні інструмента, оснащеного елементами з композиційних алмазовмісних матеріалів: 1– корпус мікроскопу, 2– змінний об’єктив, 3 – столик мікроскопу, 4 – гвинт для переміщення столику мікроскопу по осі абсцис, 5 – гвинт для переміщення столику мікроскопу навколо осі симетрії об’єктиву мікроскопу, 6 – гвинт для грубого переміщення столику мікроскопу по осі ординат, 7– гвинт для тонкого переміщення столику мікроскопу по осі ординат, 8–відеокамера, 9–лампа для збільшення освітленості у зоні розташування досліджуваного об’єкту, 10 – дисплей ПЕОМ

Як зазначалось в роботі [4] одиничний фрагмент шламу, який утворюється в результаті мікроудару у вибій, має сталу конфігурацію, що характеризується зоною заглиблення індентору, боковими та кінцевою частиною, рис. Згідно з математичною моделлю утворення ціликів гірської породи алмазним інструментом [5] руйнування гірської породи відбувається завдяки хвильовому послідовно-періодичному відколюванню мікро- та макро-фрагментів шламу, як, наприклад, алмазом зернистості 800/630 мкм в циліндричному елементі зі «славутича», зі змінним кроком T , в результаті руйнування пісковика Торезького родовища, рис. 6а. або мармуру Коелгінського родовища одиничним алмазним зерном зернистості 800/630 мкм, рис. 6б.



а

б

Рис. 6. Борозенка на вибої: пісковіку Торезького родовища породоруйнівним елементом зі «славутича», V – вектор швидкості одиничного алмазного зерна, T_1 – T_4 – змінний крок відколювання частинок шламу гірської породи – а; мармуру Коелгінського родовища, утворена одиничним алмазним зерном зернистості 800/630 мкм – б

Руйнування матриці породоруйнівних елементів бурового інструменту відбувається аналогічно руйнуванню вибою гірської породи індентором – з утворенням борозенок на робочій поверхні матриці у вигляді низок мікробибін, що чергуються зі змінним кроком T , рис. 7а при відколюванні продуктів руйнування у вигляді мікрочастинок твердого сплаву, що характеризуються всіма складовими геометричними параметрами одиничної частинки шламу гірської породи: зоною заглиблення індентора 1, боковими 2 та кінцевою частиною 3, рис. 7б. Дослідження впливу зміни експлуатаційного режиму буріння пісковіку Торезького родовища буровою коронкою, оснащеною породоруйнівними елементами зі «славутича» та впливу конструкції бурового інструменту на геометричні параметри борозенок на поверхні матриці породоруйнівних елементів дозволило зробити висновок, що характер утворення та геометричні параметри мікробибін на поверхні матриці породоруйнівного елемента може свідчити про ступінь інтенсивності зношування інструменту, в цілому [6].

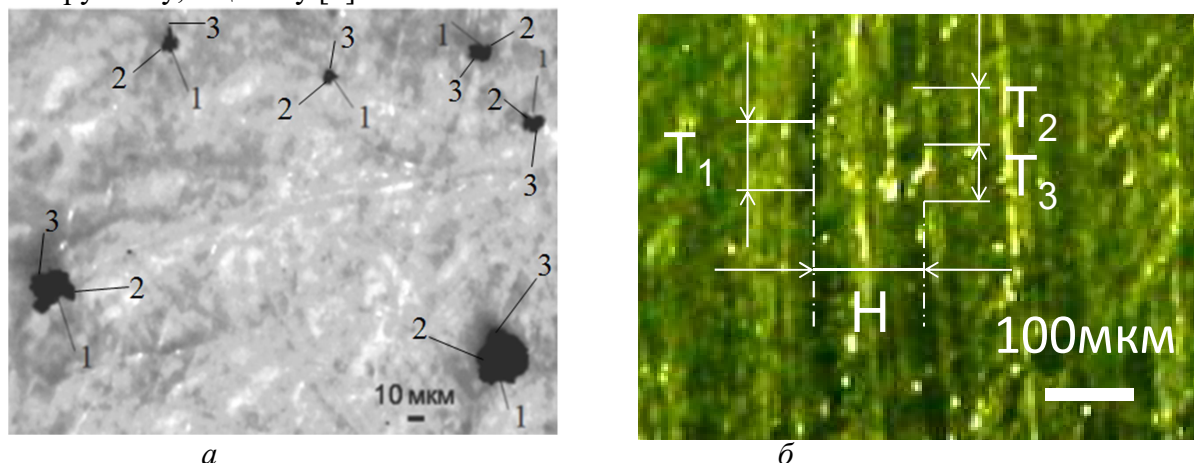
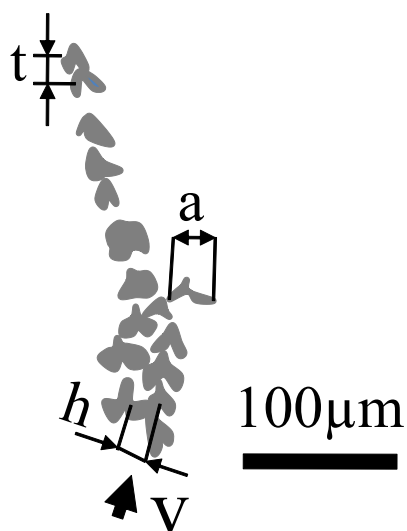


Рис. 7. Загальний вигляд : поверхні циліндричного елемента зі «славутича», H – відстань між утвореними борозенками, T – крок відколювання частинок продуктів руйнування твердого сплаву – а; частинок продуктів руйнування алмазовмісної матриці із твердого сплаву ВК-6, відколотих від елемента зі «славутича» при руйнуванні пісковіку Торезького родовища, 1 – зона заглиблення індентору (гострої кромки зерна кварцу), 2 – бокова частина, 3 – кінцева частина – б

Як показали дослідження робочих поверхонь відмінних за хімічним складом матриць: породоруйнівного елемента зі «славутича» виконаного методом гарячого пресування (вольфрамо-кобальтова матриця ВК-6 та природні алмази зернистості 800/630 при їх відносній концентрації 100%) та матриці породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспікання, оснащеного термостійкими монокристалічними синтетичними алмазами АС160Т 415/350 мкм, з концентрацією 25 % об'ємних зі складом матриці : Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%), характер утворення вибін на робочій поверхні має спільний борозноподібний характер з рис. 7.

Одну із багатьох подібних поверхонь матриці породоруйнівного елемента зі «славутича», що складається з мікробибін шириною a , відколотих з кроком t на відстані h від осі сусідньої борозенки, після його відпрацювання у буровій коронці

діаметром 93мм при осьовому навантаженні 1000 даН, представлено на рис. 8.



a *б*

Рис.8. Загальний вигляд: робочій поверхні матриці породоруйнівного елемента зі «славутича» – а; схематичного зображення мікробибін твердого сплаву у вигляді борозенок на поверхні матриці, a – ширина мікробибіни, h – відстань між борозенками, t – крок відколювання мікрочастинок твердого сплаву, v – вектор швидкості відколювання мікрочастинок твердого сплаву – б

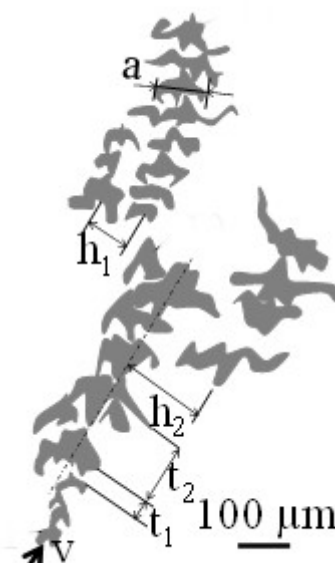
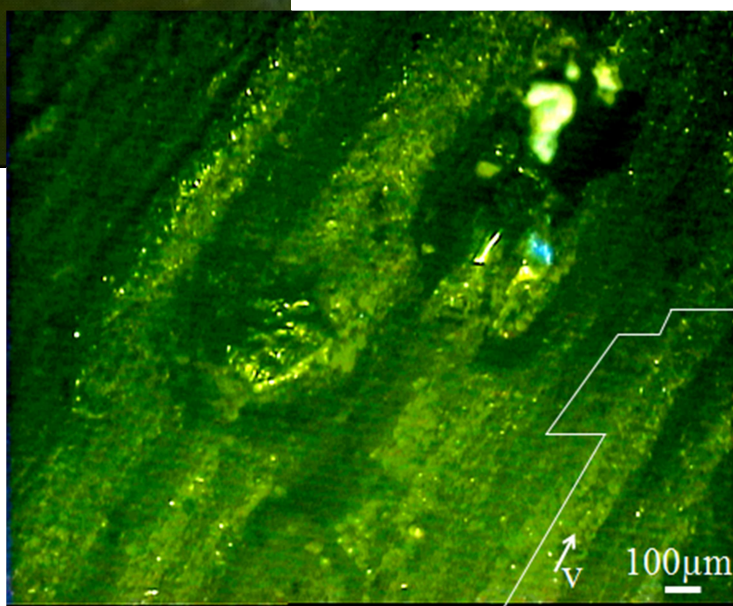


Рис.9 Загальний вигляд: робочій поверхні матриці породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспінання – а; схематичного зображення мікробибін матриці у вигляді борозенок на її поверхні, a – ширина мікробибіни, h – відстань між борозенками, t – крок відколювання мікрочастинок матриці, v – вектор швидкості відколювання мікрочастинок матриці – б

На основі окреслених мікробибін, представлених на рис. 8 та 9 необхідно побудувати гістограму розподілу ширини a мікробибін на поверхні матриці породоруйнівного

елементу.

Так, наприклад максимальна ширина відколотих частинок у вибірці становить 40 мкм, максимальна кількість частинок твердого сплаву у представленій борозенці, що відкололись при осьовому навантаженні 1000 даН, має ширину 22,5 мкм.

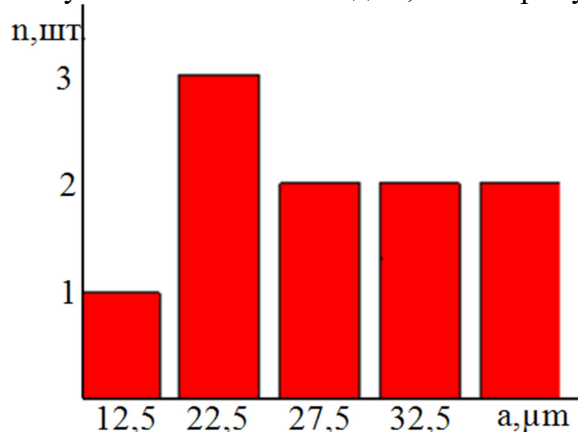


Рис.11. Гістограма розподілу ширини а вибоїн у борозенці, представлений на рис.8 б, утвореній на поверхні матриці із твердого сплаву в породоруйнівному елементі зі «славутича»

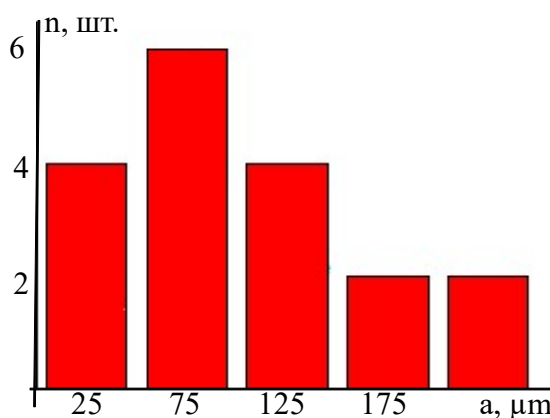


Рис.12. Гістограма розподілу ширини а вибоїн у борозенці, представлений на рис.8 б, утвореній на поверхні матриці породоруйнівного елементу, виготовленого методом електроспінання

Механічне руйнування матриці бурової коронки діаметром 76 мм, оснащеної термостійкими синтетичними алмазами при бурінні граніту Коростишівського родовища є крихким, ідентичним механічному руйнуванню матриці породоруйнівних елементів зі «славутича».

Крок відколювання частинок твердого сплаву t -однакової довжини збільшується у 1,43 рази (від 17,5 до 25 мкм) при збільшенні осьового навантаження на коронку у 2 рази, що є позитивним показником, якщо взяти за увагу те, що довжина кроку не відповідає у більшості випадків, довжині відколотої частинки. Тобто, відбувається збільшення габаритних розмірів частинок твердого сплаву, відколотих від матриці породоруйнівного елементу при зменшенні кроку їх відколювання при збільшенні осьового навантаження на коронку.

Висновки. 1. Відповідність розмірів частинок шламу твердого сплаву розмірам «мікробибоїн», що утворюють борозенки на робочій поверхні елементу зі «славутича»

та свідчить про єдиний характер руйнування крихкої твердої породи і матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту.

2. Руйнування робочої поверхні бурової коронки БК-12 діаметром 93 мм при динамічному навантаженні відбувається з відколюванням від поверхні матриці породоруйнівних елементів частинок твердого сплаву, конфігурація яких ідентична конфігурації частинок продуктів руйнування гірських порід з відмінними фізико-механічними властивостями породоруйнівними інструментами різних типів.

3. Мікроскопічне дослідження борозенок на робочій поверхні породоруйнівного елемента або габаритних розмірів частинок твердого сплаву дозволяє оцінювати або прогнозувати зносостійкість матриці інструменту завдяки побудові гістограм розподілу ширини борозенки a та періоду t відколювання мікрочастинок твердого сплаву в залежності від експлуатаційного режиму (збільшення осьового навантаження на бурову коронку), конструкції інструменту, фізико-механічних властивостей гірської породи та хімічного складу матриці породоруйнівних елементів з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів в породоруйнівному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості геологорозвідувальних робіт.

Список літератури

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении под ред. д.т.н.В.Н. Бакуля. – Киев: Наукова думка, 1978. – 232с.
2. Васюк Б.Н. Особенности процесса разрушения трещиноватых горных пород при бурении скважин / Б.Н. Васюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 23 – 27.
3. Работоспособность алмазных кругов / М.Ф. Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый, М.С. Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95с.
4. Исонкин А.М. Характер и степень воздействия частиц шлама разрушенной горной породы на матрицу алмазной буровой коронки / А.М. Исонкин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 182–187.
5. Виноградова О.П. Характер взаємного руйнування гірської породи та алмазного породоруйнівного інструменту/ О.П.Виноградова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 16(2). – С.49–57.
6. Виноградова О.П. Дослідження інтенсивності зношування бурового інструменту за характером руйнування матриці композиційного алмазовмісного матеріалу // Наукові нотатки: міжвузівський зб. наук. пр. за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство». — Луцьк: ЛНТУ, – 2016. – Вип.53. – С.
7. Виноградова О.П. Дослідження інтенсивності зношування матриці композиційного алмазовмісного матеріалу при зміні конструкції бурових коронок // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (секція «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва»).

Чечета Н.О., старший лаборант

Маріупольський державний університет

ВПЛИВ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ЛІСОВІ РЕСУРСИ

Розглянуто вплив гірничодобувного виробництва на лісові ресурси, в тому числі земну поверхню і лісовий ландшафт. Обґрунтовано необхідність відновлення та збереження лісових територій.

The influence of mining operations on forest resources, including earth's surface and forest landscape. The necessity of restoration and preservation of forest areas.

Вступ. Висока концентрація гірничого виробництва створила надзвичайно високе техногенне і антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

Відсутність дієвих заходів щодо розв'язання екологічних проблем спричинило деградацію навколишнього середовища, лісів та об'єктів рослинного світу, скорочення біорізноманіття, утворення техногенних ландшафтів, позбавлених природної рослинності.

Проблема збереження та охорони лісів є однією з найважливіших екологічних проблем.

Аналіз стану питання. Тисячоліття тому величезна частина поверхні Землі була покрита лісами. Але із зростанням чисельності людей, їх активним освоєнням земель під господарські потреби почався процес знеліснення. Незважаючи на те, що ліси є відновлюваним ресурсом, швидкість їх вирубки занадто висока і не покривається швидкістю відтворення. Щорічно знищуються мільйони гектарів листяних і хвойних лісів [1]. Особливо швидко скорочуються в Бразилії, Канаді, США, Парагваї, Гвінеї, Росії, Індонезії, Малайзії, Швеції, Фінляндії [2].

Причиною втрати лісів є будівництво доріг, гребель і водосховищ, видобуток і переробка копалин. Ліси є цінною деревиною, тому масові вирубки відбуваються через потреби населення використовувати деревину як засіб опалення. Останнім часом використовується задля потреб в опаленні не деградований ліс, а природний, який повинен зберігатися задля забезпечення біологічного різноманіття, ґрунтових і водозахисних функцій.

Погіршення стану лісів та лісових ландшафтів, деградація земель (опустелювання) залежать від дії багатьох факторів та відбувається внаслідок несприятливого поєднання природних і соціально-економічних чинників, включаючи коливання клімату і виробничу діяльність людини. Через це відбувається скорочення або повна втрата біологічної або економічної продуктивності земельних ділянок лісів, відбуваються такі процеси, як вітрова і водна ерозія ґрунтів, погіршення фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтів, втрата природної рослинності, скорочення ступеня покриття ґрунту рослинністю, збільшення відбивної здатності (альbedo) поверхні ґрунту, повне знеліснення.

Дерева, кущі та ґрунтовий покрив здатні накопичувати значну кількість пилу, газів та небезпечних металів. При цьому їх окремі види здатні зберігати нормальну життєздатність, перебуваючи в умовах негативного впливу викидів промислових підприємств.

Під час роботи гірничодобувних підприємств до атмосфери надходять наступні шкідливі речовини: пил, оксид вуглецю, сажа, діоксид азоту, сірчистий ангідрид,

сірководень, бензин, ацетон, фенол та ін. Ліси найефективнішим чином підтримують природний стан біосфери, нормалізують газовий режим і покращують хімічний склад атмосфери, сприяють біологічному очищенню ґрунту, води і ґрунту. Встановлено, що 1 га дерев щорічно споживає до 7 т вуглекислого газу і виділяє в атмосферу до 5 т кисню. Ліси є складовою частиною ландшафту і його невід'ємним елементом.

Мета роботи. Виявити вплив гірничодобувного виробництва на лісові ресурси, в тому числі земну поверхню і лісовий ландшафт.

Методики, матеріали і результати досліджень. Гірничопромисловий комплекс як і багато інших галузей є джерелом забруднення навколишнього природного середовища. Це один з найбільших забруднювачів наряду з металургійним виробництвом. Великої шкоди гірниче виробництво завдає атмосферному повітрю, водним ресурсам, в які надходять викиди шкідливих речовин, а також внаслідок гірничого виробництва відбувається порушення земної поверхні при розробці родовищ корисних копалин відкритим та підземним способом. Території (землі), зайняті під розробку родовищ корисних копалин можуть вважатися порушеними. Такі землі визначаються погіршенням якості ґрунту, може спостерігатися зникнення родючого шару, через що втрачається господарська цінність земель.

Технології видобутку корисних копалин можуть зумовлювати наступні види порушень: геомеханічні (зміна структури ґрунту та рельєфу місцевості, вирубування лісів, вирізання чагарників, погіршуються умови розвитку рослин та існування тварин), гідрологічні (забруднення шкідливими речовинами водою із надр землі, змінення водного режиму ґрунтів), хімічні (підкислення та засолення ґрунтів, зміна складу і властивостей атмосфери та гідросфери), фізико-механічні (водна ерозія, вітрова ерозія, підігрів повітря, осадження пилу в атмосфері, забруднення гумусового шару ґрунту піском, щебенем, гравієм), а також можна виокремити шумове забруднення і вібрацію ґрунту. Вищевказане має як прямий, так і опосередкований вплив на землі і лісовий ландшафт.

Після завершення гірничих робіт на землях, призначених для насадження лісів та на землях, непридатних для сільського господарства займаються лісорозведенням, тому такі землі підлягають штучному відновленню. Повторна висадка лісових масивів часто не покриває збиток, нанесений вирубкою.

Одним із видів робіт, який дозволяє надалі використовувати землю у лісовому господарстві є рекультивация земель, головною метою якої виступає повернення до народногосподарського використання земель (створення сільськогосподарських, лісових та інших угідь), які порушені внаслідок гірничих робіт.

На технічному (гірничотехнічному) етапі рекультивации виконуються гірничі роботи щодо підготовки земель до подальшого цільового використання. Проводяться роботи по зняттю, збереженню ґрунту, його повторного використання, збереження родючого шару (якщо такий зберігся), утилізуються породи та відходи.

На біологічному етапі проводять роботи з відновлення родючого шару ґрунтів, вносяться органічні та мінеральні добрива, проводяться протиерозійні заходи, висіваються рослинні культури.

По закінченню двох етапів приводить до кінцевого використання відновлених земель. Коли відновлені землі все ж є малоприсадибними для сільськогосподарських потреб, пріоритетним напрямком є створення лісових насаджень.

Використання та відтворення лісів має бути організовано таким чином, щоб найбільш повно задовольнити соціальні, економічні, культурні потреби людей.

Значна увага приділяється відновленню лісів та лісорозведенню, що спрямовується на поліпшення навколишнього природного середовища. Відновлення лісів забезпечується на землях, що були вкриті лісовою рослинністю. Роботи, пов'язані з відновленням лісів, провадяться способами, що забезпечують створення в найкоротші

строки високопродуктивних лісів з господарсько цінних деревних і чагарникових порід за спеціальними програмами і проектами, що розробляються державними органами лісового господарства [3, с. 122].

Населення неодмінно повинно брати участь в управлінні лісами та приділяти велику увагу їх охороні та збереження у природному стані.

Висновки. Антропогенний процес на навколишнє природне середовище надзвичайно швидко наростає. Основна роль при цьому належить інтенсивному розвитку техніки.

З розвитком промисловості, видобутком корисних копалин збільшилось антропогенне навантаження на природний ландшафт.

За останні роки значних змін у результаті людської діяльності зазнали геологічні процеси та об'єкти. З розвитком геологічної діяльності по видобутку корисних копалин, значного впливу зазнали земна поверхня та лісові насадження.

Охорона і підвищення ефективності використання лісових ресурсів та земель може забезпечуватися за допомогою наступних заходів:

– застосуванням новітніх технологій видобутку і переробки корисних копалин, які дозволяють використовувати менші площі земель для створення гірничопромислових підприємств;

– заходи спрямовані на скорочення площ вирубки лісових насаджень;

– заходи направлені на спорудження зелених зон навколо гірничопромислових підприємств задля накопичення шкідливих викидів та зменшення потрапляння їх до організму людини;

– здійснення рекультивації порушених територій.

Варто зазначити, що чим краще та якісніше освоюються родовища корисних копалин, чим комплексніше використовується корисні копалини, тим менше треба зусиль на введення в експлуатацію нових родовищ, будівництво нових гірничодобувних підприємств.

У роботі обгрунтовано необхідність збереження лісових ресурсів та їх відновлення. При цьому повинно бути проведено комплекс заходів з відновлення земель. Ліси підлягають державній охороні, а відновлення лісових насаджень та родючих земель повинно бути невід'ємним атрибутом у сфері охорони навколишнього природного середовища та в галузі використання і охорони земель.

Література

1. Влияние вырубки лесов на мировую экологию и меры по их спасению [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://greenologia.ru/eko-problemy/vyrubki-lesov.html>

2. Карта мониторингу лісів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.globalforestwatch.org/map/3/32.86/-1.57/ALL/grayscale/loss,forestgain?tab=countries-tab&begin=2001-01-01&end=2016-01-01&threshold=30&dont_analyze=true

3. Зінь Е.А. Регіональна економіка: Підручник / Е.А. Зінь. – К.: «ВД «Професіонал», 2007. – 528 с.

УДК 622.235.535.2

Д.В. Хлевнюк, аспірант, О.М. Чала, к.т.н., ст.н.с., А.О. Кузьменко, к.т.н., ст.н.с.
(ІГМ НАНУ).

ОЦІНКА СЕЙСМІЧНОГО ЕФЕКТУ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА КАР'ЄРАХ

Проаналізовано фізичну суть процесів, що відбуваються при одночасному підриві розосереджених зарядів. Досліджений ефект направленості сейсмічної дії вибуху розосереджених зарядів відносно лінії розташування зарядів.

Ключові слова: сейсмічні коливання, зосереджений і розосереджений заряди, зсув фаз, ефективний заряд.

**Hlevnjuk D.V., O. N. Chalaja cand. tech.sci., A.A. Kuzmenko cand. tech.sci.
(Institute of Hydromechanics NANU)**

EVALUATION OF SEISMIC EFFECT OF MASS EXPLOSIONS IN QUARRIES

Analysis of physical essence of the processes taking place at simultaneous undermining the distributed of charges. Investigated the effect directivity the seismic exposure to of the explosion distributed of charges relative to the line of charges location.

Key words: seismic vibrations, focused and is dispersed charges, phase shift, the effective charge.

Вступ. Сейсмічний ефект при масових вибухах (МВ) сьогодні розраховується в залежності не від загальної маси зарядів, а від маси окремої групи свердловинних зарядів, що є максимальною по масі вибухової речовини (група розосереджених зарядів), і для цього використовується формула академіка М.О. Садовського для зосередженого заряду. Створене положення, можливо, пояснюється малочисельними дослідженнями сейсмічного ефекту розосередженого заряду [1, 2], відсутністю нормативної документації по цьому питанню.

Відмітимо, що якщо при веденні вибухових робіт для визначення масової швидкості використовується сейсмометрична апаратура, то одержані дані по інтенсивності коливань від дії розосередженого заряду можливо використовувати у формулі М.О. Садовського і на її основі розрахувати, наприклад, допустиму масу заряду або сейсмобезпечну відстань. При цьому коефіцієнти K і n будуть іншими ніж у формулі розосередженого заряду. Але це все при наявності виміряних даних параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ), наприклад, швидкості коливань ґрунту U^{CM}/c . У випадку, коли виміряні дані відсутні, а потрібно проектувати вибухові роботи на іншому горизонті, або навіть на новому родовищі, де невідомі коефіцієнти K і n , то для визначення сейсмічного ефекту без допомоги властивостей розосередженого заряду не обійтись.

Мета роботи. Дослідження особливостей сейсмічної дії вибуху розосередженого заряду і обґрунтування використання узагальнюючої залежності інтенсивності СВХ від параметрів вибуху.

Матеріали і результати досліджень.

З метою вивчення сейсмічного ефекту вибуху розосереджених зарядів були проведені спеціальні експериментальні дослідження з використанням сейсмометричної апаратури для вимірів параметрів СВХ, результати яких лягли в основу визначення ефективного заряду Q_{ef} , що характеризує кожний окремий заряд Q_1 виходом енергії в загальний хвильовий процес при вибуху ряду розосереджених зарядів [3, 4]. Найбільше

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

значення $Q_{\text{еф}}$ буде в тому випадку, коли заряди у ряду не взаємодіють між собою. Це виникає, якщо не поєднуються їх непружні зони коливань ґрунту, тобто на відстані між зарядами $a = 2r_n$ (r_n – зона непружних коливань ґрунту). При цій умові $Q_{\text{еф}} = Q_1$. При зближенні зарядів значення $Q_{\text{еф}}$ зменшується і при $a = 0$ окремі заряди змикаються в один зосереджений заряд $Q = N \times Q_1$ (N – число зарядів у ряду) [5].

При вибуху розосередженого заряду у скельних ґрунтах всі особливості сейсмічного ефекту вибуху розосередженого заряду спостерігаються як і в умовах м'яких ґрунтів [5].

В якості прикладу розглянемо сейсмічну дію масового вибуху (МВ) у кар'єрі при розробці гранітного родовища Віри.

В таблиці 1 представлені характеристики МВ, а в таблиці 2 – результати вимірів параметрів СВХ при МВ № 2-4. На рисунку 1 – залежності масової швидкості коливань цих же вибухів від епіцентральної відстаней. Нумерація експериментальних точок у таблицях і на рисунку співпадають.

Таблиця 1

Характеристики масових вибухів

№ вибуху	Кількість зарядів у групі, N	Довжина заряду, l , м	Маса одного заряду, Q , кг	Відстань між зарядами, a , м	Розташування сейсмовимірювального профілю відносно лінії заряду
2	4	13,5	180,0	3,8	поперек
3	4	7,0	84,2	3,5	поперек
4	5	6,8*	82*	2,5*	уздовж

* – середнє значення

Таблиця 2

Результати вимірів параметрів сейсмічних хвиль

№ вибуху	2				3				4			
Епіцентральнона відстань, r , м	230	330	370	430	110	160	210	270	45	85	115	185
Масова швидкість ґрунту, U_S^z , см/с (експериментальні дані)	1,41	0,71	0,66	0,47	2,9	1,8	1,1	0,59	3,0	2,09	1,78	1,33
Залежність $U_S^z = f(r)$ за експериментальними даними	$= 15,7 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$ $R = -0,993$				$= 11,8 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}$ $R = -0,988$				$U_S^z = 26,6 \cdot r^{-0,57}$ $R = -0,989$			
Залежність $U_S^z = f(r)$, розрахована по методу розосередженого заряду	$U = 15,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$				$U = 12,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}$				$U = 34,8 \cdot r^{-0,63}$ $R = -0,979$			

Аналіз результатів МВ дає право стверджувати, що всі вони по своїй суті – це розосереджені заряди, так як їхні параметри сейсмічних хвиль розраховуються по формулах розосередженого заряду з доволі високою точністю. Покажемо це на прикладі МВ № 3.

Визначаємо ефективну масу (кг) одного окремого заряду у ряду розосереджених зарядів:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[\left(1 - \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right] =$$

$$= 84,2 \left[\left(1 - \frac{1}{4^{0,71}} \right) \cdot C + \frac{1}{4^{0,71}} \right] = 84,2 \cdot 0,426 = 35,9 \text{ кг.} \quad (1)$$

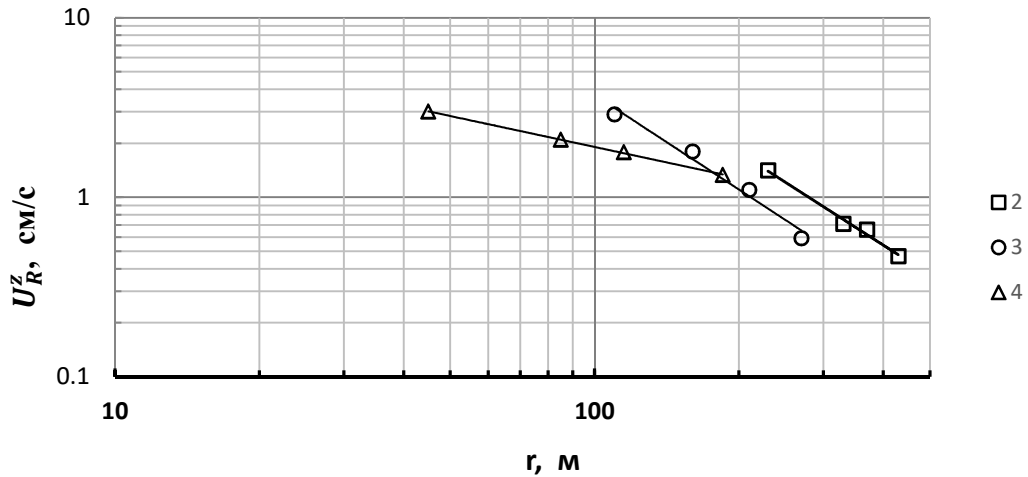


Рис. 1 Залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані: 2– вибух № 2; 3– вибух № 3; 4 – вибух № 4. (табл. 2)

Залежність швидкості зміщення ґрунту від приведеної до ефективної маси зарядів відстані для вибухів зарядів №1 може бути записано у вигляді двох варіантів:

$$U_S^Z = K_2 \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (2)$$

де $K_2 = K_C \cdot N^{n/3}$ (K_C – коефіцієнт сейсмічності),
і

$$U_S^Z = K_C \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3} \cdot N^{1/3}} \right)^{-n}. \quad (3)$$

Використовуючи співвідношення $K_2/K_1 = (Q_{\text{еф}}^{1/3})^{-n}$, визначаємо коефіцієнт пропорційності:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{K_2}{11,8 \cdot 10^3} = (35,9^{1/3})^{-1,75} = 0,124; \quad K_2 = 1468.$$

Визначаємо масову швидкість на відстані, наприклад, 160 м по формулі розосередженого заряду:

$$U_S^Z = 1468 \left(\frac{160}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,75} = 1,64 \text{ см/с.}$$

Визначаємо швидкість зміщення ґрунту в інших точках на відстанях, вказаних у таблиці 2, (вибух 3) і записуємо залежність:

$$U_S^Z = 12,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}. \quad (4)$$

Аналогічні розрахунки по МВ № 2 робимо, використовуючи дані $Q_{\text{еф}} = 72,2$ кг; $K_2 = 1372$; $n = 1,71$. Масова швидкість на відстані, наприклад, 330 м по формулі розосередженого заряду буде:

$$U_S^z = 1372 \left(\frac{330}{4,16} \right)^{-1,71} = 0,77 \text{ см/с.}$$

Залежність масової швидкості від відстані буде $U_S^z = 15,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$.

Порівнюючи залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при вибухах, отримані на основі експериментальних даних і на основі розрахункових даних із формул розосереджених зарядів, були отримані різниці 3-4%, тобто відмінності, що практично не впливають на кінцевий результат визначення масової швидкості. Це одна сторона досліджень, а інша сторона – це демонстрація того, що заряди при МВ у кар'єрах не якась невизначена зосереджена маса, а цілком пояснювана система розосередженого заряду.

Як видно із таблиці 1, характеристики МВ № 3 і № 4 мало чим відрізняються між собою, а способи вимірювання параметрів сейсмічних хвиль цих МВ відрізняються: при МВ № 3 виміри виконуються по профілю поперек лінії зарядів, а при МВ № 4 – уздовж. Ця відмінність дає можливість дослідити особливості розповсюдження СВХ в напрямку уздовж лінії зарядів при підриванні розосереджених зарядів в скельних ґрунтах.

Із рисунку 1 видно, що, починаючи з відстані $r = 2l$ (l – довжина лінії розосередження зарядів), звідки розповсюджується цілком сформована СВХ розосередженого заряду, інтенсивність коливань при вибуху № 4 на відстані $4l$ буде зумовлена дією маси вибухової речовини меншою одного заряду. Швидкість зміщення ґрунту – 3 см/с. І тільки на відстані 178 м ($\approx 18l$) на ґрунтовий масив діють всі 5-ть підірваних зарядів і по інтенсивності коливань два профілі вирівнюються між собою.

Метод підрахунку інтенсивності коливань ґрунту по профілю уздовж лінії зарядів і кількості ефективних зарядів аналогічний методу, що був застосований при дослідженні особливостей сейсмічного ефекту при вибуху розосередженого заряду у м'яких ґрунтах [5].

Таким чином, дослідження показали, що по напрямку уздовж лінії зарядів у гранітному ґрунті у ближній зоні дії вибуху розосереджених зарядів ($r = (3 \div 4)l$) у коливальному процесі приймає участь один свердловинний заряд, а всі заряди групи, якщо дозволяє величина зсуву фаз між часом приходу у точку спостереження коливань від першого і крайнього зарядів, діють на масив ґрунту на відстані від 15 до $20l$ (в залежності від умов підривання).

Висновки. Проаналізовано фізичну суть особливостей сейсмічної дії на ґрунтовий масив вибуху лінійного розосередженого заряду з урахуванням кількості взаємодіючих зарядів, відстаней між ними і типу хвильових коливань. Показано на конкретних прикладах, що розосереджені заряди є основним ланцюгом у системі кар'єрних масових вибухів.

Література.

1. Рулев Б. Г. О направленном сейсмическом действии рассредоточенных однорядных взрывов [Текст] / Б. Г. Рулев, Д. А. Харим // Взрывное дело: науч.-техн. сб. – М.: Недра, 1968. – Вып. 64/21. – С. 211 – 231.
2. Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов [Текст] / С. В. Гольдин. – М.: Недра, 1974. – 352 с.
3. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України [Текст]: монографія /Бойко В.В. – К.:ТОВ «Видавництво Сталь», 2012.– 184 .
4. Кузьменко А.А. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе [Текст] / А.А. Кузьменко, О.Н. Чалая, Д.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 2014. – Вип. 26. – С. 38–46.

5. Кузьменко А.О. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду [Текст] / А.О. Кузьменко, О.М. Чала, Т.В. Хлевнюк, Д.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 2016. – Вип. 31. – С. 25–35.

УДК 658.81:622.33

Трушкіна Н.В., науковий співробітник
Інститут економіки промисловості НАН України (м. Київ)

**МЕХАНІЗМ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО
ПАРТНЕРСТВА ПРИ УПРАВЛІННІ ЗБУТОВОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ
ВІТЧИЗНЯНИХ ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи ІЕП НАН України «Розвиток публічно-приватного партнерства у процесі модернізації вугільної промисловості та теплової енергетики» (№ держреєстрації 0115U001638).

Обґрунтовано доцільність створення синдикату на основі домовленості вугледобувних підприємств різних форм власності на засадах державно-приватного партнерства. Запропоновано функціональну схему діяльності вугільного синдикату, яка включає функції та завдання з управління збутовою діяльністю підприємств вугільної галузі. Надано пропозиції щодо вдосконалення нормативно-правових документів з регулювання діяльності господарських об'єднань на прикладі синдикату.

The expediency of creating a syndicate is justified on the basis of an agreement between coal-mining enterprises of various forms of ownership on the basis of public-private partnership. The functional scheme of the coal syndicate is proposed, which includes functions and tasks for managing the sales activities of coal industry enterprises. Proposals for the improvement of regulatory and legal documents on the regulation of economic associations on the example of the syndicate are developed.

У сучасних умовах нестійкого розвитку національної економіки функціонування підприємств паливно-енергетичного комплексу здійснюється недостатньо ефективно. Це обумовлено нестабільністю попиту на вугільну продукцію, що призводить до виникнення таких негативних явищ, як дефіцит та профіцит. А це, в свою чергу, негативно впливає на організацію збутової діяльності вітчизняних вугледобувних підприємств унаслідок політичних, інституційних, технологічних, ринкових, фінансово-економічних, маркетингових та інформаційних чинників. У зв'язку з цим існуючу проблему можна вирішити шляхом організації, контролю та регулювання спільної збутової діяльності підприємств вугільної промисловості та сектору теплової енергетики на засадах державно-приватного партнерства.

В Енергетичній стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» зазначено, що «...державно-приватне партнерство має стати ефективним інструментом узгодження цілей державної політики та зацікавленості суб'єктів господарювання у підвищенні ефективності енерговикористання...». В умовах мінливого розвитку інституціонального середовища вугільно-промислового та енергетичного комплексів «...необхідним є залучення приватного сектору до забезпечення енергетичної безпеки країни» [1, с. 35, 55].

Результати дослідження дозволили виявити недоліки управління збутовою діяльністю вітчизняних вугледобувних підприємств (як правило, державних

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

підприємств, що належать до сфери управління Міненерговугілля України). Підтвердженням є аналіз статистичних даних на прикладі ДП «Львіввугілля» (табл. 1). Так, обсяг видобутку вугілля скоротився за 2007–2016 рр. на 67%, готової вугільної продукції – на 76,7%, товарної – на 77,7%, реалізованої – на 78,2%. Рівень збитковості вуглевидобутку ДП «Львіввугілля» становив у 2016 р. – 24,6% (у 2007 р. – 33,9%, у 2012 р. – 30,7%, у 2015 р. – 30,4%). Частка витрат на збутову діяльність у собівартості 1 т товарної вугільної продукції збільшилася за 2007–2016 рр. на 1,2% – з 0,5 до 1,7%. При цьому спостерігається тенденція суттєвого зростання обсягу залишків вугілля на складах – в 3,91 рази.

Таблиця 1

Динаміка показників збутової діяльності ДП «Львіввугілля»

Показники	Роки				
	2007	2008	2012	2015	2016
Видобуток вугілля, тис. т	2805,6	2852,3	1780,0	1048,6	927,1
Готова вугільна продукція, тис. т	1994,8	1467,2	622,9	546,1	464,5
Товарна вугільна продукція, тис. т	1935,5	1409,8	579,3	510,4	432,1
Реалізована вугільна продукція, тис. т	1944,8	1414,9	573,3	502,6	424,4
Залишки вугілля на складах, тис. т	43,8	171,1	255,0	189,2	171,3
Собівартість 1 т товарної продукції, грн	286,2	532,5	881,7	1386,6	1568,1
Ціна 1 т товарної вугільної продукції, грн	189,3	320,7	610,7	964,5	1182,2
Збитковість вуглевидобутку, %	-33,9	-39,8	-30,7	-30,4	-24,6
Витрати на збут 1 т товарної продукції, грн	1,37	4,21	11,64	18,90	26,24

Складено за інформаційними матеріалами Міністерства енергетики та вугільної промисловості України і ДП «Львіввугілля».

Разом з тим, як свідчить аналіз, обсяг видобутку вугілля ДТЕК зріс за 2007–2016 рр. на 97,9%. За 2010–2016 рр. обсяг експортних операцій зі збуту вугілля знизився на 32, а імпорتنих – на 83,1%, або з 1313 до 222,2 тис. т. Сальдо експортно-імпорتنих операцій зі збуту вугільної продукції мало позитивне значення: у 2016 р. – 1110,9 тис. т (у 2010 р. – 648 тис. т). Тобто, значення цього показника зросло за цей період на 56% (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка показників збутової діяльності ДТЕК

Показники	Роки				
	2007	2010	2014	2015	2016
Видобуток вугілля, тис. т	15789,7	22180,0	37122,0	28692,0	31250,6
Експорт вугілля, тис. т	–	1961,0	4057,1	1387,1	1333,1
Імпорт вугілля, тис. т	–	1313,0	1687,0	404,1	222,2

Складено за інформаційно-аналітичними матеріалами ДТЕК.

Отже, у державному секторі вугільної промисловості існують проблеми збуту вугільної продукції. Раніше функціонувало ДП «Вугілля України», яке створено згідно з наказом Міністерства палива та енергетики України від 14.11.2003 р. № 669 з метою вдосконалення господарського механізму реалізації вугільної продукції, та що вирішувало, з якого регіону та у яких пропорціях має надходити вугілля на енергогенеруючі компанії. Однак це державне підприємство на сьогоднішній день знаходиться в стадії ліквідації відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 04.06.2015 р. № 591-р.

Тому на даний час не сформовано відповідної організаційної структури управління збутовою діяльністю державних вугледобувних підприємств, які підпорядковані Міненерговугілля України. У свою чергу, згідно з Положенням про Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, яке затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29.03.2017 р. № 208, серед основних

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

функцій Міненерговугілля України є такі: визначення пріоритетів розвитку паливно-енергетичного комплексу; формування прогнозного балансу вугілля та вугільної продукції; затвердження стратегічних планів державних підприємств і господарських товариств, до яких здійснюється управління корпоративними правами держави; формування та забезпечення здійснення заходів щодо підготовки підприємств до сталого функціонування в особливий період тощо [2].

Виходячи з цього, виникла необхідність формування синдикату на основі домовленості вугледобувних підприємств різних форм власності (наприклад, ДП «Львіввугілля» та ДТЕК) (рис. 1).



Рис. 1. Управління збутовою діяльністю вугледобувних підприємств на засадах державно-приватного партнерства

У рамках державно-приватного партнерства у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів синдикат має бути ефективною формою партнерства між великими вертикально інтегрованими компаніями, які одночасно виступають виробниками та споживачами вугільної продукції, та державними вугледобувними підприємствами з метою організації, контролю та регулювання спільної збутової діяльності. Це не суперечить діючому законодавству України, в якому зазначено про можливість об'єднання підприємств за галузевим принципом.

Оскільки ДП «Львіввугілля» належить до сфери управління Міненерговугілля України, то відносини між ними мають регулюватися на основі укладеного договору про управління майном, що відповідає Положенню про Міністерство енергетики та вугільної промисловості України [2], ст. 1029 Цивільного кодексу України [3], ст. 5 Закону України «Про державно-приватне партнерство» [4].

Згідно зі ст. 1029 Цивільного кодексу України [3] за договором управління майном одна сторона (установник управління – у даному випадку Міненерговугілля України) передає другій стороні (управителю – ДП «Львіввугілля») на певний строк майно в управління, а друга сторона зобов'язується за плату здійснювати від свого імені управління цим майном в інтересах установника управління або вказаної ним особи

(вигодонабувача).

При цьому Міненерговугілля України за принципом субсидіарності може надати ДП «Львіввугілля» повноваження з організації, контролю та регулювання спільної збутової діяльності з приватними партнерами, у даному випадку ДТЕК.

Відповідно до ст. 5 Закону України «Про державно-приватне партнерство» [4] дохід між учасниками синдикату варто розподіляти за умовами договору про спільну діяльність. У ст. 1130 глави 77 Цивільного кодексу України [3] визнано, що за договором про спільну діяльність сторони (учасники) зобов'язуються діяти разом без створення юридичної особи для досягнення певної мети. У даному випадку (на прикладі синдикату) без об'єднання внесків учасників з метою організації спільної збутової діяльності. Умови договору про спільну діяльність, у тому числі координація спільних дій учасників, покриття їх витрат і збитків, участь у результатах спільної діяльності та інше, визначаються за домовленістю сторін.

У рамках державно-приватного партнерства синдикату передається функція управління збутовою діяльністю вугледобувних підприємств державного та приватного секторів (рис. 2).

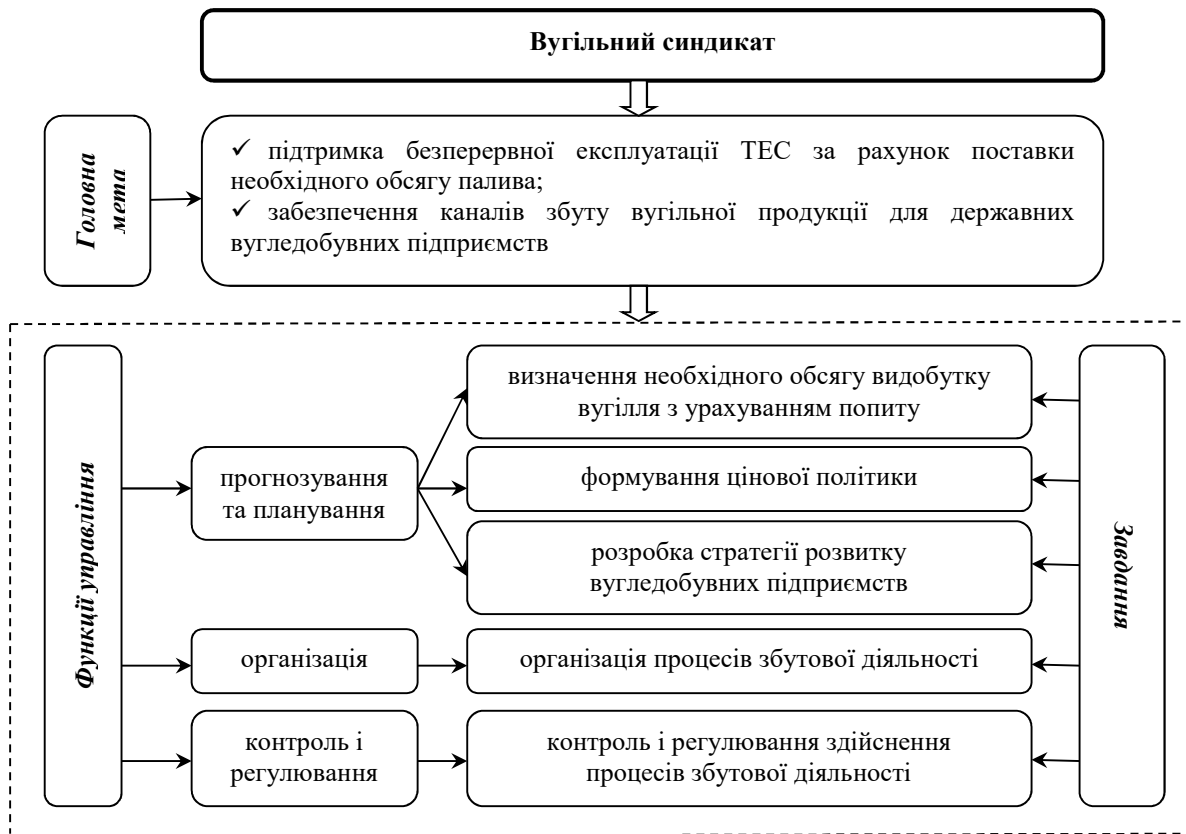


Рис. 2. Функціональна схема діяльності вугільного синдикату

З метою правового регулювання ефективного функціонування вугільного синдикату в Україні на засадах державно-приватного партнерства доцільним є внесення змін і доповнень до діючих нормативно-правових актів і законопроектів (табл. 3).

Пропозиції щодо вдосконалення нормативно-правових документів з регулювання діяльності господарських об'єднань на прикладі синдикату

Назва документа	Зміст пропозицій
Господарський кодекс України – ст. 120	Розширення переліку організаційно-правових форм об'єднань підприємств на прикладі створення синдикату, під яким слід розглядати «організаційну форму існування різновиду картельної угоди, що передбачає реалізацію продукції, виробленої учасниками об'єднання, через створення спільного збутового органу або збутової мережі одного з учасників синдикату. Така форма об'єднання є характерною для підприємств, що виробляють однорідну продукцію»
Закон України «Про ринок вугільної продукції» – ст. 1	Включення визначення синдикату як організаційної форми, що об'єднує вугледобувні підприємства задля організації та регулювання спільної збутової діяльності на засадах державно-приватного партнерства, а також викладення правових основ функціонування синдикату
Енергетична стратегія до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»	Розширення цілі «Розвиток енергетичних ринків» формуванням і функціонуванням синдикату як інструменту запровадження ринкової моделі функціонування енергетичних ринків і задоволення потреб національної економіки власною вугільною продукцією в необхідних обсягах із залученням приватного сектору
Концепція Державної Цільової економічної програми реформування вугільної промисловості на період до 2020 року	Включення комплексу заходів з управління збутовою діяльністю вугледобувних підприємств на засадах державно-приватного партнерства

Реалізація вищенаведених пропозицій дозволить створити сприятливі умови для господарювання учасників ринку вугілля, забезпечити національну економіку власним вугіллям різних марок у достатніх обсягах і за оптимальними цінами, а також підвищити рівень та якість обслуговування споживачів вугільної продукції.

Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mre.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
2. Про затвердження Положення про Міністерство енергетики та вугільної промисловості України: Постанова Кабінету Міністрів України від 29.03.2017 р. № 208 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/ru/cardnpd?docid=249869350>.
3. Цивільний кодекс України від 16.01.2003 р. № 435-IV (із змін., редакція від 02.11.2016 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/435-15>.
4. Про державно-приватне партнерство: Закон України від 01.07.2010 р. № 2404-VI (із змін., редакція від 24.05.2016 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2404-17>.

ОСОБЛИВОСТІ ДОПОМІЖНИХ ОПЕРАЦІЙ В ТЕХНОЛОГІЇ
АЛМАЗНОКАНАТНОГО РІЗАННЯ

Проаналізовано операцію буріння зустрічних свердловин при реалізації технології алмазноканатного різання. Досліджено параметри, що впливають на можливість заведення алмазного канату в зустрічні свердловини. Запропоновані формули для розрахунку параметрів якості перекриття зустрічних свердловин.

The operation of intersected holes drilling is analyzed during realization of diamond wire cutting technology. Parameters that influence on the possibility of feeding through diamond wire into intersected holes are investigated. Formulas for the quality parameters calculation of intersected holes drilling are offered.

Вступ.

Останнім часом при видобуванні булочного облицювального каменю застосовують технології здатні забезпечувати максимальні показники продуктивності процесу та збереженості каменю. Вибухові та квазістатичні методи в такому випадку не здатні забезпечувати належного рівня якості. При застосуванні таких технологій втрати пов'язані передусім з нерівностями граней по яким здійснюється відокремлення, та наведення тріщин в камені за рахунок дії поля механічних напружень. Щоб уникнути цього застосовують технологію алмазноканатного різання, яка полягає в утворенні площини відколу суто абразивним способом. Відсутність поля механічних напружень та незначна товщина робочого ріжучого інструменту забезпечують високі показники повноти виймання. Найбільша складність такої технології - підготовчі роботи. Для заведення канату у пропили необхідно пробурити дві взаємно перпендикулярні зустрічні свердловини кінці яких повинні з'єднуватися. Від точності буріння залежить можливість і тривалість часу на заведення канату у пропили. Однак на практиці в багатьох випадках досягти ідеального сполучення свердловин не вдається, і в результаті отримуємо частковий перетин свердловин при якому операційний час на заведення алмазного канату значно зростає. Тому актуальним залишається питання дослідження можливостей та особливостей здійснення заведення канату у пропили у випадку часткового перекриття свердловин

Аналіз літературних джерел. Питання буріння зустрічних свердловин досліджували у свої роботах такі науковці як Бакка М.Т., Соболевський Р.В., Котенко В.В., Башинський С.І., Шлапак В.О. Ці дослідження можна розділити на декілька напрямів. Перша група досліджень присвячена розробці засобів та прийомів для забезпечення точного буріння зустрічних свердловин [2, 4]. Друга група призначена для визначення допустимих значень відхилень свердловин для забезпечення взаємного перетину свердловин [1,3]. Відсутні дослідження по операційному часу який витрачається для заведення алмазного канату у пропили у випадку часткового перекриття свердловин та необхідності повторного переборювання. Тому дане питання є досить актуальним оскільки більшість пробурених свердловин тільки частково перетинаються між собою.

Мета роботи встановити критеріїв допустимих відхилень буріння зустрічних свердловин та їх вплив на ефективність операції заведення алмазного канату.

Матеріали і результати дослідження. Принцип заведення алмазного канату у свердловину, що перетинається полягає в опусканні у вертикальну свердловину 1 (Рис. 1., а) мотузки 2 на кінці якої знаходиться прив'язаний металевий наконечник (гайка) 3 або інший предмет, що в подальшому опускається на саме дно та зачіплюється горизонтальною штангою 6, на кінці якої знаходяться радіально пристосовані гаки 4. При обертанні штанги навколо своєї осі, гаки на кінці штанги зачіплюють та намотують гайку з мотузкою, а далі штанга виймається тягнучи за собою мотузку, до якої в подальшому прикріплюється алмазний канат. Даний спосіб заведення алмазного канату є класичним та використовується на усіх кар'єрах, де відокремлення каменю здійснюється алмазноканатним способом. Середній операційний час на заведення канату у такий спосіб становить близько 15 -20 хв. Як показує статистика проведення бурових робіт на кар'єрах з видобутку лабрадориту (Осниківське, Добринське родовище) якісний взаємний перетин свердловин забезпечується у 80% випадках, а неякісний з частковим перекриттям та ускладненням умов заведення канату відповідно 20%. В останньому випадку значно зростає операційний час на заведення канату, від 1 години і більше, а в деяких випадках на це втрачається половина часу зміни інколи з негативним результатом.

Визначення того, чи відбувся перетин зустрічних свердловин на практиці здійснюється за рахунок продування через свердловину повітря. У випадку його проходження робиться висновок про те, що перетин має місце. Однак є виключення – свердловини ледве перетинаються, площа перетину має дуже незначну величину, повітря прохідне, однак завести мотузку через цей отвір буде дуже складно або взагалі неможливо. Тому до моменту встановлення можливості заведення канату необхідно провести ряд досліджень. В загальному випадку схема заведення мотузки буде залежати від геометричних параметрів отвору перекриття свердловин (Рис. 1., б).

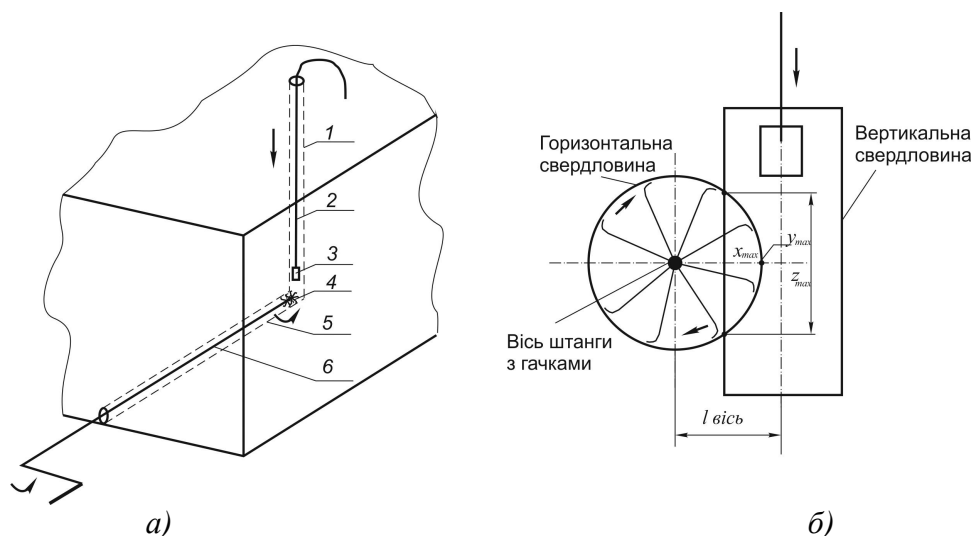


Рис.1. Схема запасування алмазного канату в зустрічні свердловини: а – загальна схема заведення канату; б – принцип подачі мотузки через зустрічні свердловини; 1 – вертикальна свердловина; 2- мотузка, що проводиться через свердловини; 3 – металевий наконечник (гайка); 4 – наконечник штанги, з радіальними гачками; 5- горизонтальна свердловина, 6 - горизонтальна штанга.

У випадку виникнення проблем з заведенням канату у свердловину необхідно здійснити ряд інклінометричних вимірювань зі встановленням в кінцевому підсумку відстані між осями свердловин в зоні перекриття та подальшим розрахунком геометричних розмірів перетину двох свердловин за формулами (1-3):

$$\frac{l_{\text{вісь}} - r^2}{R^2 -} \quad (1)$$

$$z_{\text{max}} = 2\sqrt{\frac{l_{\text{вісь}} - R^2}{r^2 -}} \quad (2)$$

$$y_{\text{max}} = 2\sqrt{\frac{l_{\text{вісь}} - R^2}{r^2 -}} \quad (3)$$

де z_{max} – максимальний вертикальний розмір перетину двох свердловин, м;
 y_{max} – максимальний горизонтальний розмір перетину двох свердловин, м;
 x_{max} – максимальна величина горизонтальної проекції перекриття свердловин, м; R – радіус більшої свердловини, м; r – радіус меншої свердловини (шпура), м; $l_{\text{вісь}}$ – відстань між осями свердловин, м.

Максимальна величина горизонтальної проекції перекриття свердловин x_{max} при заданих параметрах радіусів свердловин є найменшою з усіх інших та є обмежувальною величиною для розмірів металевго наконечника для заведення мотузки через отвір. Так для гайки М5 величина x_{max} повинна становити не менше ніж 4 мм, хоча вертикальний та горизонтальний розмір перетину двох свердловин при цьому буде становити 39 та 22 мм відповідно, що значно перевищує необхідну величину перекриття. Тому у випадку виникнення проблем для заведення мотузки через свердловини необхідно провести інклінометричні вимірювання зі встановленням можливості геометрично завести канат через свердловини.

Висновки

Встановлено алгоритм дій при якому обґрунтовується доцільність повторного перебудування вертикальної свердловини (шпура) при недостатньому перекритті з горизонтальною. За визначеними формулами та проведеними інклінометричними вимірюваннями визначається максимальні значення величини горизонтальної проекції перекриття свердловин та встановлюється відповідність розмірів металевго наконечника (гайки) мотузки яка буде пронизуватися через ці свердловини. Така методика дозволяє значно скоротити час допоміжних операцій на заведення канату через свердловини коли це зробити фактично неможливо та прийняти правильне рішення по виконанню повторного буріння свердловини (шпура).

Список використаних джерел

1. Котенко В. В. Маркшейдерське забезпечення бурових робіт при бурінні зустрічних свердловин для заведення алмазного тросу при канатному пилянні масиву / В. В. Котенко // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2008. – №45. – С. 165–169.
2. Шлапак В. О. Оптимізація технологічних параметрів процесу розпилювання високоміцного декоративного каменю алмазно-канатопильними верстатами/ В. О. Шлапак // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – № 2. – С. 177–183.
3. Бакка М. Т. Структури технологій відокремлення монолітів декоративного каменю від масиву з використанням невибухових руйнуючих засобів (НРЗ) / М. Т. Бакка, С. В. Яворська // Вісник ЖДТУ. – 2003. – №1. – С. 118–126.
4. Sobolevskiy R. Quality control of drilling operations for efficiency upgrading of creation of separation plane by lineage drilling. / R. Sobolevskiy, V. Shlapak // Metallurgical and mining industry. –2016. – No 2. – P. 167 – 173.

УДК 622.235.477

В.В. БОЙКО (Доктор технічних наук, проф.),

М.О. ПАВЛЕНКО (магістрант)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

**ОБГРУНТУВАННЯ СЕЙСМОРАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ПРОВЕДЕННЯ
ВИБУХОВИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ МАСИВІВ ПОРІД В
УМОВАХ КАР'ЄРУ «ПАТ КОРОСТЕНСЬКИЙ КАР'ЄР»**

АННОТАЦІЯ

В умовах «ПАТ Коростенський кар'єр» ведення вибухових робіт на різних ділянках вимагає диференційованого підходу до вибору параметрів, що визначають вибух. Це можливо здійснити за допомогою прогнозних карт сейсморайонування, по кожному горизонту.

У межах території визначено розташування житлових будинків і промислових підприємств, визначено ділянки з неоднаковою сейсмічною небезпекою, з урахуванням того, що:

- сейсмонебезпечні зони мають еліптичні форми, обумовлені сейсмоанізотропним проявом підривання певної території;
- охоронні об'єкти, розташовані на однаковій відстані від вибуху отримують різні сейсмічні навантаження.

Сейсморайонування території є одним з завдань для забезпечення охорони навколишніх об'єктів, розташованих в зоні сейсмічної дії вибуху, по розробленій проф. Бойко В.В. методиці, на кар'єрі, який розробляє «ПАТ Коростенський кар'єр».

Ключові слова: сейсморайонування, сейсмоефект, сеймобезпека, ізосейсми, охоронні об'єкти, вибухова речовина(ВР), анізотропний масив.

ABSTRACT

**DEFINITIONS SEISMIC SAFE PERFORMANCE OF EXPLOSION IN
CONSIDERING OF ANISOTROPY MASSIF UNDER OPEN PIT "JSC KOROSTEN
OPEN PIT"**

*Professor. VV Boyko, undergraduate MO PAVLENKO National Technical University of
Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky"*

In the conditions of the "JSC Korostensky open pit», the performance of explosion operations at different sites requires a differentiated approach to the choice of parameters that determine the explosion. This can be done with the help of forecast maps of seismic zoning, for each horizon. The location of residential houses and industrial enterprises is determined within the territory, areas with unequal seismic hazard are determined, taking into account that:

- seismic zones have elliptical forms, are caused by seismic anisotropic manifestation of explosion of a certain territory;
- security facilities located at an equal distance from the explosion, receive a variety of seismic loads.

Seismic zoning of the territory is one of the tasks for ensuring the protection of surrounding objects located in the zone of seismic impact of the explosion, according to the developed by prof. Boyko V.V. method, on a career, which develops "JSC Korostensky open pit."

Key words: seismic defect, seismic security, isoseism, security objects, explosive substance (ES), anisotropic massif.

1. Вступ

Подальший розвиток видобутку корисних копалин, в тому числі і нерудних будівельних матеріалів, в нашій країні можливо досягти тільки за рахунок збереження сировинної бази діючих кар'єрів на підставі їх реконструкції, технічного переозброєння, інтенсифікації та безпеки робіт, а також за рахунок відкриття нових родовищ.

Характерною особливістю, існуючих або знову відкриваючихся родовищ України, є той факт, що вони завжди розташовані поблизу промислових, цивільних або природо-охоронних об'єктів, так як Україна перебуває в густонаселеній території, а її родючі землі і багатий природний ландшафт вимагають дбайливого до них відношення.

У зв'язку з цим на кар'єрах завжди виникає проблема по безпечному веденні вибухових робіт, так як супроводжуючі сейсмічні коливання впливають на навколишню територію і відповідають землетрусам за шкалою Ріхтера більше ніж 5 балів.

2. Аналіз літературних джерел

З досліджень [1] встановлено, що характер розподілу ізоліній відповідного рівня сейсмічності для гранітних кар'єрів має еліпсоподібну сейсмобезпечну межу. Побудова останньої базувалась на проведенні спеціальних науково-експериментальних досліджень в результаті чого був розроблений метод аналітичного розрахунку розмірів сейсмобезпечних меж, який ми застосували для конкретних геолого-тектонічних умовах проведення підрильних робіт в кар'єрі «ПАТ Коростенський кар'єр». Даний метод побудови еліпсоподібних сейсмобезпечних меж включає етапи, пов'язані з аналітичними розрахунками радіусу великої R_1 та малої R_2 осей зони сейсмобезпеки за формулами:

$$R_1 = K_y (K_1 : [V])^{1/\nu_1} \sqrt[3]{Q}; \quad R_2 = K_y (K_2 : [V])^{1/\nu_2} \sqrt[3]{Q}, \quad (1)$$

де K_y – коефіцієнт, який враховує умови вибуху;

K_1, K_2 – коефіцієнти пропорційності відповідно паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин;

$[V]$ – швидкість допустимого рівня коливань у відповідності [4] ДСТУ, см/с;

$\nu_1; \nu_2$ – показники ступенів загасання відповідно паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин;

Q – маса вибухової речовини на одне сповільнення, кг.

А для визначення сейсмобезпечної відстані R , (м) в тріщинуватому масиві в різних напрямках від епіцентру вибуху за формулою:

$$R = \frac{\{K_y (K_1/[V])^{1/\nu_1} [(K_1/[V])^{1/\nu_1}] \sqrt[3]{Q}\}}{\sqrt{(K_1/[V])^{2/\nu_1} + [(K_1/[V])^{2/\nu_1} - (K_2/[V])^{2/\nu_1}] \cos^2 \varphi}} \quad (2)$$

де φ – відповідний полярному куту кут (град.) між радіусом зони ізосейм і профілем П–П (рис. 1).

3. Мета роботи

Обґрунтування сейсморайонування території проведення вибухових робіт з урахуванням анізотропії масивів порід в умовах кар'єру «ПАТ Коростенський кар'єр» з застосуванням існуючих технологічних методів управління сейсмоанізотропним проявом масових вибухів, в районах розташування охоронних об'єктів, для збільшення обсягів відбійки гірських порід при одночасно якісному їх дробленні.

4. Матеріали і результати досліджень

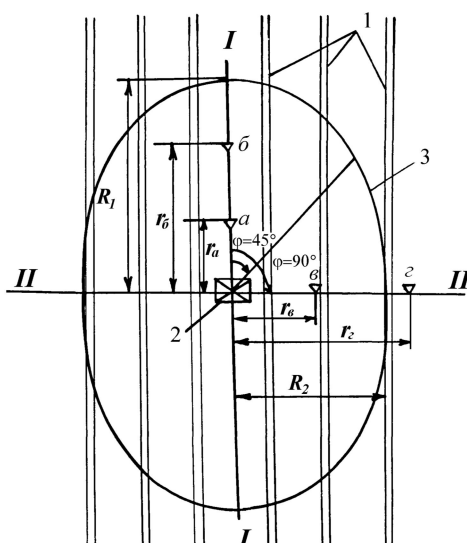


Рис. 1. Схема до визначення розмірів еліпсоподібної сейсмонезпечної зони в гранітному гірському масиві кар'єра «ПАТ Коростенський кар'єр»:
I-I, II-II – профілі по яким визначались коефіцієнти пропорційності K і показники ступеня загасання ν на відстанях r_a, r_b, r_b, r_z . 1 – система тріщинуватості гірського масиву; 2 – висаджуємий блок; R_1, R_2, R – великий, малий і під кутом φ до системи тріщинуватості радіуси осей ізосейсм відповідно

Показники ступенів затухання та коефіцієнти пропорційності відповідно паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин для гранітного кар'єра «ПАТ Коростенський кар'єр» вибирались відповідно [1], для регіону Житомирської обл. і приведені в *табл. 1*.

Таблиця 1

**Значення коефіцієнтів в напрямках великої (K_1) і (ν_1)
і малої (K_2) і (ν_2) осей еліпса ізосейсм**

	Коефіцієнт пропорційності, K		Показник ступеня загасання, ν	
	K_1	K_2	ν_1	ν_2
ПАТ Коростенський кар'єр	1300	160	2,1	1,7

Значення коефіцієнтів підставивши в (1) дадуть змогу отримати емпіричну залежність для розрахунку радіусу великої R_1 та малої R_2 осей зони сейсмонезпечки з послідуною побудовою меж сейсмонезпечності в конкретних геолого-тектонічних умовах кар'єра «ПАТ Коростенський кар'єр» місцевості, в якій розташовані кар'єр та прилеглі до нього об'єкти, що охороняються. Для оперативного визначення радіусів сейсмонезпечних відстаней застосовувалась номограма [1] зображена на *рис. 2*.

На плані гірничих робіт кар'єру «ПАТ Коростенський кар'єр» *рис. 3* показані ізолінії сейсмонезпечних мас заряду на 3-му його горизонті. При цьому сейсмонезпечні границі 3 на *рис.3*, отримані в анізотропному гірничого масиву з урахуванням наступних елементів технології висаджуваної на один інтервал уповільнення маси заряду Q : коефіцієнт умов підривання $K_y = 1$; допустима швидкість коливань $U_{дон}$ в зоні охоронних об'єктів у відповідності [4] ДСТУ 4704:2008 ($U_{дон} = 0,5 \text{ см/с}$ на частоті

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

20Гц); сейсмічні властивості гірського масиву, які враховуються коефіцієнтом пропорційності K і показником ступеня загасання ν (табл. 1). Послідовність операцій при визначенні розмірів великої і малої осі R еліпса сейсмобезпеки показана на рис. 2 стрілками.

При побудові границі сейсмобезпеки велика вісь еліпса зони сейсмобезпеки співпадає з напрямом основної системи тріщинуватості рис.3 (поз. 1) направлена на північ. Параметри еліптичних меж, в будь-якому напрямку φ – полярному куту (град.) між радіусом зони ізосейм і профілем II–II визначаються по формулі (2), а розмірами великої і малої осі еліпса сейсмобезпеки, вибираються по номограмі рис. 2.

Вище розглянутий метод побудови еліпсоподібної зони ізосейм з центральним епіцентром вибуху, тобто коли він співпадає з центром еліпса. Але на практиці частіше за все залежно від умов, при яких, наприклад, змінюється напрямок ініціювання свердловинних зарядів вибухової речовини в блоці, який підривається, еліпс, окреслюючи сейсмобезпечну межу, може зміщуватися відносно центру блоку, що підривається. При цьому, в залежності від місця розташування охоронних об'єктів, останні будуть знаходитись в умовах сейсмічного навантаження на них, тобто наражені на сейсмобезпеку або ж ні.

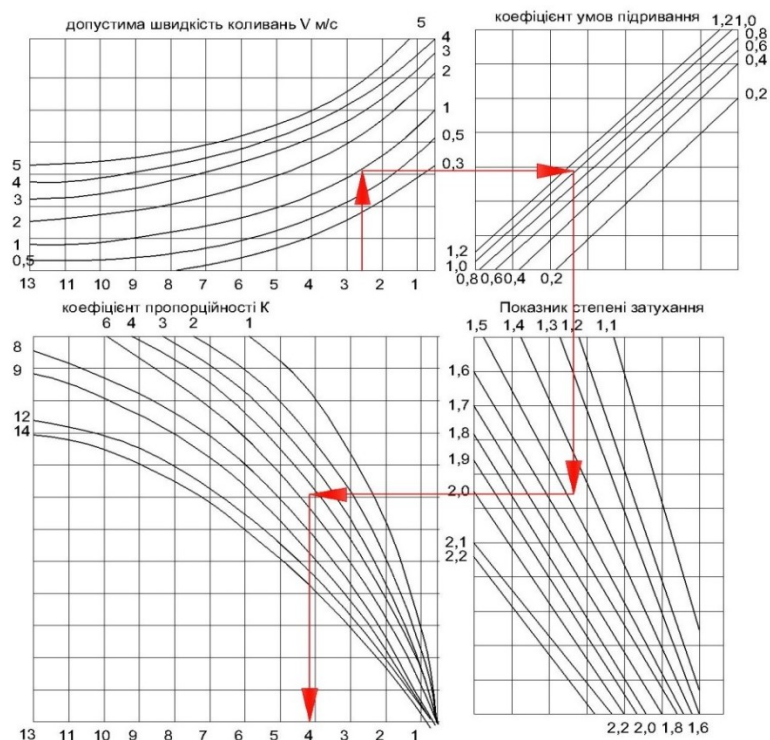


Рис. 2. Номограма визначення радіусів сейсмобезпечних відстаней

Таблиця розрахунку сейсмобезпечної відстані R , радіуси великої R_1 та малої R_2 осей зони сейсмобезпечності для житлових будинків зображено на рис.3.

Показники	R	R1	R2	K_y	K_1	K_2	[V]	ν_1	ν_2	Q
Значення	500,112923	575,633941	390,133599	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	4080
	508,944987	585,799717	397,023413	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	4300
	531,593974	611,868881	414,691684	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	4900
	565,542647	650,944072	441,174738	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	5900
	600,128698	690,752891	468,155006	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	7050
Значення	628,554629	723,471363	490,32982	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	8100
	654,61867	753,471282	510,662144	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	9150
	675,413976	777,406844	526,884376	1	1300	160	0,7	2,1	1,7	10050

Таблиця розрахунку сейсмобезпечної відстані R, радіуси великої R₁ та малої R₂ осей зони сеймонебезпечності для будинків промислового використання зображено на рис.4.

Показники	R	R1	R2	K _y	K ₁	K ₂	[V]	v ₁	v ₂	Q
Значення	230,73485	287,861085	165,742922	1	1300	160	3	2,1	1,7	4080
	234,80966	292,944752	168,669966	1	1300	160	3	2,1	1,7	4300
	245,259121	305,981332	176,176089	1	1300	160	3	2,1	1,7	4900
	260,921867	325,521922	187,427052	1	1300	160	3	2,1	1,7	5900
Значення	276,878678	345,429382	198,88925	1	1300	160	3	2,1	1,7	7050
	289,993422	361,791126	208,309916	1	1300	160	3	2,1	1,7	8100
	302,018472	376,793384	216,947826	1	1300	160	3	2,1	1,7	9150
	311,612709	388,762999	223,839619	1	1300	160	3	2,1	1,7	10050

Отримані з розрахунків данні дають можливість виконати сейморайонування для «ПАТ Коростенський кар'єр» (рис. 5).

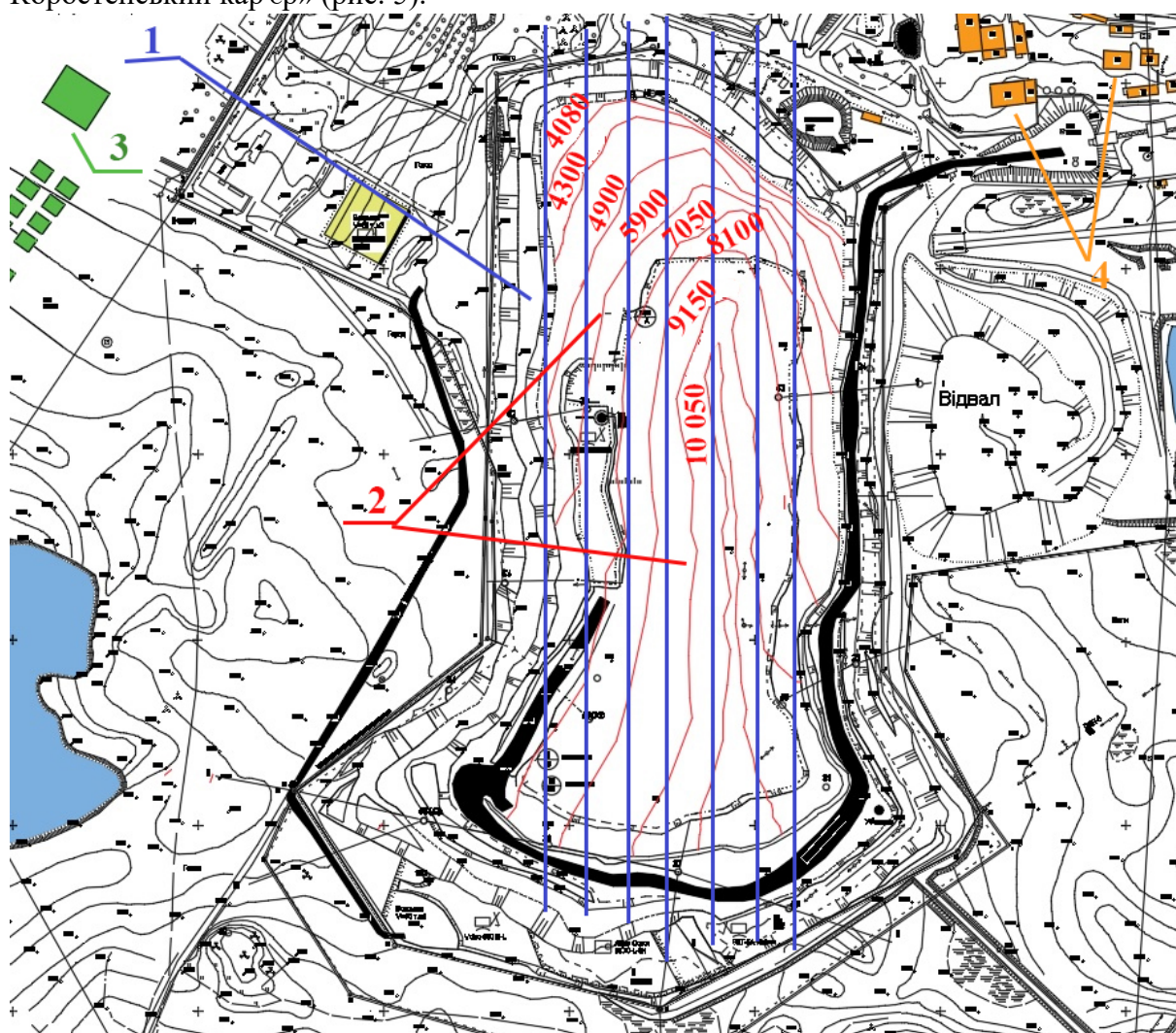


Рис. 5. Сейморайонування проведення вибухових робіт на кар'єрі «ПАТ Коростенський кар'єр»:

- 1 – основна система тріщинуватості; 2 – ізолініями допустимих масштабів вибухів;
- 3 – житлові будинки; 4 – споруди промислового призначення

5. Висновки.

Впровадження розробленої виконання вибухових робіт за даними сейсморайонування в умовах кар'єра «ПАТ Коростенський кар'єр» дозволить забезпечити нормальну експлуатацію житлових будівель і споруд щебеневого заводу.

Бібліографічний список

1. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія / В.В.Бойко – К.:ТОВ «Видавництво Сталь»,2012. – 235с.
2. НПАОП О.ОО-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. –К.: ДП «Редакція журналу. «Охорона праці», 2013. – 359 с.
3. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. –Х.: ТОВ Видавництво «Лідер», 2013. – 120 с.
4. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. / ДСТУ 4704:2008. К: Держспоживстандарт України. - 2009. – 11с.

УДК 622.271

М.І. Соколовська, аспірант, О.О. Фролов, д-р техн. наук, проф.,
(КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПОСІДНАННЯ МІСТКОСТІ КОВША ЕКСКАВАТОРІВ З МІСТКІСТЮ КУЗОВА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Встановлено, що раціональне співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Отримана аналітична залежність раціонального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при навантаженні і транспортуванні будь-яких типів гірських порід з урахуванням тривалості виконання рейсу.

Ключові слова: кар'єр, гірнича маса, екскаваторно-автомобільний комплекс, об'єм кузова автосамоскида і об'єм ковша екскаватора

It is established that a rational ratio of the volume of the body of a dump truck to the volume of a bucket of an excavator is the most important condition ensuring high-performance use of excavators and truck at the minimum cost of mining operations. The analytical dependence of the rational relationship between the volume of the dump truck body and the volume of the excavator bucket is obtained to achieve the maximum possible productivity of the shovel-truck complex when loading and transporting any types of rocks taking into account the duration of the voyage.

Keywords: career, rock mass, shovel-truck complex, the volume of the body of a dump truck and the volume of a bucket of an excavator.

Вступ. Формування комплексів обладнання, що складає структуру комплексної механізації, ґрунтується на їхній якісній і кількісній взаємодії з обладнанням суміжних процесів. Провідним обладнанням в загальному технологічному процесі, з якими

пов'язуються параметри, продуктивність та кількість устаткування інших ланок вантажопотоків, є, зазвичай, навантажувальні і транспортні машини [1].

В теорії і практиці експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів велика роль відводиться вивченню впливу на кінцевий результат роботи комплексу основного його параметра – співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида V_a і об'ємом ковша екскаватора E . Оскільки навантаження і транспортування в кар'єрі являють собою єдиний технологічний процес, то указані параметри машин повинні бути тісно пов'язані між собою з урахуванням динаміки змін умов протікання процесу [2].

Аналіз літературних джерел. Згідно [3], мінімальним співвідношенням між об'ємом кузова автосамоскиду V_a та ковшем екскаватора-мехлопати E слід вважати 4:1, а максимальним – не більше ніж 6:1-7:1.

В роботі [4] рекомендується вибирати співвідношення між ємністю кузова автосамоскиду і ємністю ковша екскаватора таким чином, щоб при відстані транспортування до 1,6 км кількість циклів екскаватора при навантаженні автосамоскиду знаходилося в межах $3 \leq n_{ц} \leq 5$.

Науковці в роботі [5] пропонують оптимальне співвідношення V_a/E визначати з урахуванням фактичного ресурсу несучої системи автосамоскида при його навантаженні екскаватором. Дослідивши поєднання автосамоскида БелА3-75211 з екскаваторами, які мають різну ємність ковша, вони прийшли до висновку, що максимальна річна продуктивність автосамоскида досягається при $V_a/E=5$.

Автор роботи [6] при розрахунку елементів навантажувально-транспортного циклу виходить з технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу, тобто рівностей їх відносних продуктивностей. На підставі цього отримана формула для визначення оптимального значення вагового модуля.

В [7] зазначено, що при навантаженні скельних порід співвідношення V_a/E повинно задовільняти умові $V_a/E \geq 2$. На практиці воно змінюється від 2 до 10. Розрахунки показують, що оптимальне його значення при невеликій відстані транспортування (1-2 км) складає 4–6, а при збільшенні відстані транспортування до 5 і 7–8 км воно складає 6–10 і 8–10 відповідно.

Автори роботи [8] відмічають, що як показує практика і проведені дослідження, відношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора повинне бути не менше 4-5 і не більше 10-12.

Вищенаведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що серед дослідників немає єдиного погляду на метод визначення раціонального співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик.

Мета роботи. Встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і максимального використання його в часі.

Матеріали і результати досліджень. Встановлення раціонального поєднання місткості ковша екскаваторів з місткістю кузова транспортних засобів здійснимо через якісний взаємозв'язок продуктивності комплексу обладнання циклічної дії з продуктивністю транспортних машин. Згідно [9] годинна продуктивність екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид визначається за формулою

$$Q_c = \frac{60k_3}{t_n + t_o} q_a k_q, \text{ т/Год}, \quad (1)$$

де t_n – середня тривалість навантаження автосамоскида, хв; t_o – тривалість обміну автосамоскидів під завантаження, хв; k_3 – коефіцієнт зниження продуктивності через нерівномірність навантажувально-транспортних операцій; q_a – вантажопідйомність автосамоскиду, т; k_q – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Формулу (1) також можна представити у вигляді

$$Q_c = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_c} + t_o} q_a k_q, \text{ Т/ГОД.} \quad (2)$$

де $t_{\text{ц}}$ – середня тривалість циклу екскавації, хв; q_c – маса породи в ковші екскаватора, т,

Аналіз (2) показує, щоб досягти максимальної продуктивності екскаватора, необхідно зменшувати тривалість обміну автосамоскидів під завантаження t_o . Якщо припустити, що t_o буде наближатися до нуля або $t_o=0$, то формула (2) буде мати вигляд

$$Q_{c.\text{max}} = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}}} q_c k_q, \text{ Т/ГОД,} \quad (3)$$

тобто продуктивність екскаватора визначається тільки технічними характеристиками.

Відносне зменшення продуктивності екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид в цьому разі буде становити

$$Q_{\text{відн.с}} = \frac{Q_c}{Q_{c.\text{max}}} = \frac{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_c}}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_c} + t_o}. \quad (4)$$

Експлуатаційна продуктивність автосамоскидів при навантаженні його екскаватором визначається з виразу

$$Q_a = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_c} + t_o + t_p} q_a k_q, \text{ Т/ГОД,} \quad (5)$$

де t_p – середня тривалість рейсу автосамоскиду, хв.

З (5) видно, що продуктивність автосамоскидів буде збільшуватися зі зменшенням кількості навантажених ковшів екскаватора, а максимальне значення продуктивності буде у випадку, коли $n_k = q_a/q_c = 1$, тобто

$$Q_{a.\text{max}} = \frac{60k_3}{t_{\text{ц}} + t_o + t_p} q_a k_q, \text{ Т/ГОД.} \quad (6)$$

Відносне зменшення продуктивності автосамоскидів становить

$$Q_{\text{відн.а}} = \frac{Q_a}{Q_{a.\text{max}}} = \frac{t_{\text{ц}} + t_o + t_p}{t_{\text{ц}} \frac{q_a}{q_c} + t_o + t_p}. \quad (7)$$

Згідно [3] повна технологічна узгодженість у роботі екскаваторно-транспортного комплексу настане у випадку, коли відносні значення продуктивностей екскаватора і автосамоскида будуть рівні між собою (так зване математичне очікування даного процесу). У відповідності до вищенаведеного, порівняємо формули (4) і (7) та отриманий вираз розв'яжемо відносно співвідношення q_a/q_c :

$$\frac{q_a}{q_c} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (8)$$

Вантажопідйомність автосамоскиду визначається за формулою

$$q_a = V_a \frac{\gamma}{k_p}, \quad (9)$$

де V_a – місткість кузова автосамоскида, м³; γ – щільність гірничої маси, т/м³; k_p – коефіцієнт розпушеної гірничої маси в кузові автосамоскида.

Маса гірничої маси в ковші екскаватора становить

$$q_c = E \frac{k_{\text{н}}}{k_p} \gamma, \quad (10)$$

де E – об'єм ковша екскаватора, м³; $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт наповнення ковша.

Враховуючи (9) та (10), формула (8) остаточно набуде вигляду

$$\frac{V_a}{E} = \frac{1}{2} k_n \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_u + t_o + t_p)}{t_u^2}} \right). \quad (11)$$

На підставі (11) побудована залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора, який в свою чергу характеризує тип гірничої породи, що виймається (рис.1). Середня тривалість циклу екскавації породи прийнята $t_u=0,5$ хв, середня тривалість обміну автосамоскидів під завантаження становить $t_o=1$ хв.

Аналіз графічних залежностей показує, що збільшення тривалості рейсу, а отже відстані транспортування, викликає необхідність переглядати співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора, тобто змінювати обладнання. В іншому випадку необхідно заздалегідь планувати гірничо-транспортні роботи таким чином, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс, тобто співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора було оптимальним.

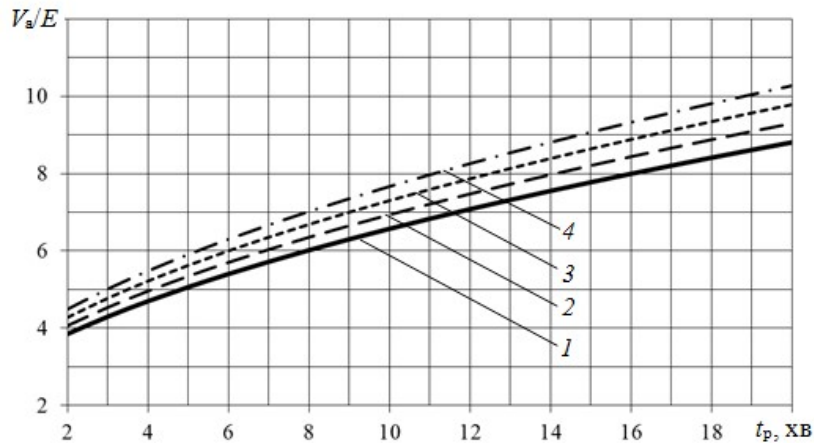


Рис. 1. Залежність між співвідношенням V_a/E та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду t_p для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора: 1 – $k_n=0,9$; 2 – $k_n=0,95$; 3 – $k_n=1,0$; 4 – $k_n=1,05$

Висновки. Отримана аналітична залежність з визначення необхідного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу для будь-яких типів гірських порід з урахуванням тривалості виконання рейсу. Співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора коливається в межах від 4 до 10 і більше при зміні тривалості транспортування від 2 до 20 хв і більше. Отримані результати дозволяють планувати гірничотранспортні роботи на кар'єрах таким чином, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс.

Бібліографічний список

1. **Ржевский В.В.** Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
2. **Мариєв П. Л.** Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П. Л. Мариєв, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов. СПб: Элмор, 2004. — 427 с.

3. **Васильев М.В.** Автомобильный транспорт карьеров / М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов. – М.: Недра, 1973. – 280 с.
4. **Бишоп Т.М.** Автомобильный транспорт. Перевод с англ. / Т.М. Бишоп. – М.: Недра, 1971. – 142 с.
5. **Хорешок А.А.** Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин. // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. КузГТУ. – 2007. – №5. – С. 3 - 4.
6. **Кулешов А.А.** Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров / А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1980. – 317 с.
7. **Томаков П.И.** Технология, механизация и организация открытых горных работ / П.И. Томаков, И.К. Наумов. М.: Недра, 1986. -312 с.
8. **Научные основы** проектирования карьеров / [Под общей редакцией В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова и др.]. – М.: Недра, 1971. – 600 с.
9. Ржевский В.В. Открытые горные работы. часть II. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. 4-е издание, перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 549 с.

УДК 622.28.044

САХНО С.В. аспирант каф. РМПИ

ОСТАНКО А.Э. студ. гр. ГС-14

ГВУЗ «Донецкий Национальный технический университет», Покровск

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРУШЕНИЙ ПОРОД В ВЫРАБОТКАХ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

Метою досліджень є визначення характеру деформування порід навколо виробок закріплених анкерними системами. Дослідження проведені в натурних умовах за допомогою глибинних реперів, встановлених на замірних станціях. Сформульовано механізм розшарування порід навколо виробки і визначено найнебезпечніші ділянки.

The purpose of research is to determine the nature of deformation rock around workings by anchor systems. Studies conducted in natural conditions using deep marks installed at observational stations. Formulated mechanism exfoliation rocks around roadway and determine the most dangerous areas.

Травматизм, связанный с обрушением горных пород на угольных шахтах занимает одно из первых мест. При этом традиционно речь идет об обрушениях кровли в протяженных выработках, закрепленных рамной податливой арочной крепью. А одним из мероприятий по предотвращению вывалов является установка дополнительной анкерной крепи. Однако мировая практика ведения горных работ показывает, что в выработках закрепленных рамно-анкерной и анкерной крепью обрушения кровли не редкость.

Обследование мест вывалов в выработках, закрепленных анкерами свидетельствуют, что часто даже после обрушения пород анкерные болты остаются целыми, их разрушение не происходит (рис. 1). То есть у несущего элемента еще есть запас прочности, а система уже не работает. Таким образом, проблема надежности крепления анкерными системами достаточно актуальна.



а)

б)

Рисунок 1 – Обрушение кровли выработок, закрепленных анкерами

а) штрек шахты С, иллинойский бассейн США [1], б) штрек шахтоуправления «Покровськое», Украина (фото автора)

Анкерными системами как самостоятельной крепью в Украине крепят выработки, не подверженные влиянию очистных работ [2]. В сочетании с рамными крепями анкера применяются для крепления подготовительных выработок, монтажных, демонтажных ходки и камеры. В выработках предприятий группы ДТЭК, ш/у Покровское, ш. Краснолиманская накоплен огромный практический опыт эксплуатации анкерных систем.

На наш взгляд существует два случая обрушений пород, обращающие на себя внимание при применении анкерного крепления:

- обрушение заанкеренной части массива одним блоком, с отрывом его от пород кровли (рис. 1а);

- вывалы пород из приконтурной части с обнажением части анкера (рис. 1б).

Для установления закономерностей формирования и развития ЗНД вокруг выработки, закрепленной анкерной крепью, были проведены натурные шахтные наблюдения в конвейерном штреке северной коренной лавы пл. k_8^H горизонта 450 м ш. «Добропольская».

Непосредственная кровля пласта - аргиллит темно-серый, мощностью 1,9 м, с пределом прочности на одноосное сжатие 27-29 МПа. Основная кровля пласта - алевролит темно-серый мощностью 7,2 м и пределом прочности на одноосное сжатие 30 МПа. Непосредственно в почве залегал алевролит серый, в верхней части слоя «кучерявичик» слабослюдистый. Мощность слоя 2,4 м, предел прочности на одноосное сжатие 28-32 МПа. Штрек имел прямоугольную форму поперечного сечения. Высота выработки в проходке составляла 3,3 м, ширина 4,8 м.

Выработка длиной 270 м проводилась при помощи комбайна КПД. Средняя скорость продвижения забоя 190 м/мес. Плотность установки анкеров длиной 2,4 – 0,77 анк/м². Закрепление анкера в шпуре производилось химическим способом.

Замерные станции, оборудованные глубинными реперами, были установлены непосредственно в забое штрека. В выработке было установлено три глубинные станции. Первая станция – посередине сечения штрека в непосредственной близости от анкерного подхвата (ПК 132 между анкерами), вторая – между рядами анкеров посередине сечения штрека (ПК 131+9,5), третья – на расстоянии 10 см от второго кровельного анкера вдоль анкерного ряда (ПК 131+9, 1,2 м от бока выработки). Каждая станция состояла из 8 глубинных реперов, установленных в кровле выработки.

При обработке результатов натурных наблюдений за смещениями глубинных реперов на экспериментальном участке предполагалось, что репер №1, имеющий

максимальную глубину заложения, неподвижен. Это допущение основано на том, что развитие зоны неупругих деформаций вокруг выработки не происходит мгновенно, а занимает некоторый промежуток времени. Ниже приведены результаты замеров смещений произошедших в течение 14 суток, в последующий период 14-30 суток наблюдалась стабилизация скоростей сдвижений. Предполагалось, что зона неупругих деформаций, за этот период, не достигнет 4,2 м.

Для анализа динамики развития зоны разрушенных пород вокруг выработки, были построены графики деформаций пород с удалением от контура выработки (рис. 2).

Анализ графиков деформирования пород на экспериментальном участке показывает, что наибольшие смещения наблюдаются в центре выработки (станции 1 и 2). Уже на 14 сутки после проведения на расстоянии от контура 2,7 м (станции 1 и 2) породы расслаиваются, что фиксируется по смещениям относительно неподвижного репера 3 мм. На первой станции зафиксирована зона сжатия пород между реперами на 2,7 и 2,5 метра. В непосредственной близости от анкера (станция 1) породы смещаются единым блоком, что отмечается по реперам на глубине 2,2-0,6 м. Между рядами анкеров (станция 2) смещения примерно равномерно растут в направлении контура. Смещение контура через 14 суток по центру выработки (станции 1 и 2) составляют 4-5 мм, а станции 3 – 3 мм.

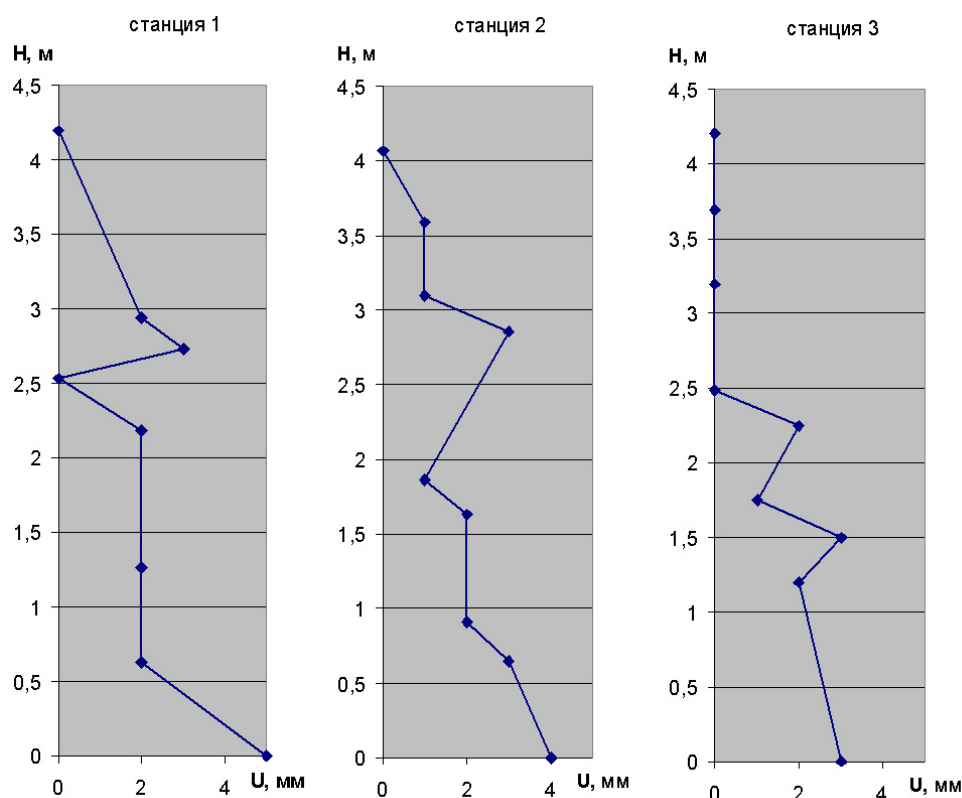


Рисунок 2 - Графики смещений глубинных реперов на экспериментальных участках через 14 суток после проведения выработки

Выводы.

Уже через 14 суток после проведения выработки в породном массиве зарождаются дефекты, которые впоследствии могут привести к обрушениям – за зоной крепления анкерной крепи и на контуре выработки.

Особенностью образования зоны разрушения вокруг горной выработки, закрепленной анкерной крепью, является то, что заанкерванный массив смещается без существенных расслоений на глубине 2,3-1,0м, а участок кровли на глубине между 0,5-

1,0 м отслаивается от вышележащей части. Породы вокруг горной выработки, закрепленной анкерной крепью, испытывают деформации и растяжения и сжатия.

Во многом полученный результат объясняется образованием вокруг выработки зоны мгновенного разрушения вследствие упруго пластического восстановления пород в момент проведения, и соответственно перераспределение напряжений вокруг выработки, что приводит к развитию фронта разрушения от контура выработки вглубь массива. После установки анкерной крепи эти процессы не прекращаются мгновенно, они продолжают до момента образования несущей породно-анкерной конструкции.

Библиографический список

1. Molinda GM, Oyler DC, Gurgenzi H [2006]. Identifying moisture-sensitive roof rocks in coal mines. In: Peng SS, Mark C, Finfinger GL, Tadolini SC, Khair AW, Heasley KA, Luo Y, eds. Proceedings of the 25th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV: West Virginia University, pp. 57-64.

2. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов – Днепропетровск. : Вильпо, 2002. – 372 с.

УДК 334.021:622.33

І.П. Петрова, к.е.н., молодший науковий співробітник відділу проблем регуляторної політики та розвитку підприємництва, Інститут економіки промисловості НАН України

КОРПОРАТИВНЕ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАПАСІВ ДЕРЖАВНИХ ШАХТ ПРИВАТНИМ СЕКТОРОМ В РАМКАХ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Розглянуто сутність корпоративної розробки шахтного поля. Досліджено особливості та механізм реалізації корпоративної розробки шахтного поля як форми державно-приватного партнерства.

The essence of Corporate Mine Development is considered. The peculiarities and the mechanism of realization of Corporate Mine Development as a form of public-private partnerships are investigated.

Вступ. Відповідно до Концепції Державної цільової економічної програми реформування вугільної промисловості на 2015-2020 роки трансформація вугільної промисловості представляє собою складний процес. Більшість вугледобувних підприємств працюють неефективно та перебувають на державній дотації та утриманні. Дефіцит бюджетних коштів для здійснення технічної модернізації шахт і інноваційних зрушень у галузі потребує залучення приватного фінансування. На думку вчених [1-5], ефективною формою залучення приватних інвестицій є корпоративна розробка шахтного поля (КРШП), яка була апробована на шахті «Красноармійська-Західна» № 1.

Аналіз літературних джерел. У науковій літературі корпоративна розробка шахтного поля розглядається з різних аспектів. По-перше, це інвестиційна програма залучення приватних інвестицій до державних шахт [1]. По-друге, корпоративна розробка шахтного поля є різновидом форм державно-приватного партнерства [2; 3; 5]. Однак існує і протилежна думка стосовно КРШП. Учені Д. Череватський та І. Фокіна не відносять корпоративну розробку шахтного поля до форм державно-приватного партнерства. На їх думку, в надрокористуванні все зводиться до двох базових систем – ліцензійної (надра передаються в користування на підставі адміністративних актів) і

концесійної (надра передаються у користування на підставі договорів) [6].

Водночас у практичній діяльності державно-приватне партнерство набуває різноманітних форм. Перелік форм участі державного і приватного партнерів у реалізації проектів є відкритим, оскільки нові форми ДПП виникають в залежності від розподілу правомочностей власності між учасниками, а також обраних схем фінансування і моделей управління [4]. Відкритим питанням залишається визначення особливостей та механізму реалізації корпоративної розробки шахтного поля як форми державно-приватного партнерства. Для повного розкриття даного питання необхідно врахувати нові зміни Закону України «Про державно-приватне партнерство» від 24.05.2016 р. [7]

Метою роботи є дослідження особливостей корпоративної розробки шахтного поля як форми державно-приватного партнерства, визначення механізму її реалізації.

Матеріали і результати досліджень. Спираючись на Закон України «Про державно-приватне партнерство» (редакція від 24 травня 2016 року) [7] та нормативно-правові акти у сфері діяльності гірничих підприємств [8; 9] розглянемо особливості корпоративної розробки шахтного поля.

Особливості корпоративної розробки шахтного поля як форми державно-приватного партнерства полягає в наступному. По-перше, щодо суб'єктів державного та приватного секторів, які взаємодіють у корпоративній розробці. Відповідно до положень Закону України «Про державно-приватне партнерство» державний партнер – це держава або територіальна громада в особі відповідних державних органів та органів місцевого самоврядування в залежності від власності на об'єкти щодо яких здійснюється державно-приватне партнерство (ст. 1 Закону України «Про ДПП»). На стороні приватного партнера можуть виступати юридичні особи або фізичні особи. Це положення Закону України «Про державно-приватне партнерство» не суперечить положенням Кодексу про надра. Згідно ст. 13 Кодексу про надра користувачами надр можуть бути підприємства, установи, організації, громадяни України, а також іноземці і особи без громадянства, іноземні юридичні особи [8].

По-друге, об'єктами державно-приватного партнерства є ділянки надр (стаття 7 Закону України «Про ДПП») [7]. Разом з тим, слід зазначити, що державно-приватне партнерство застосовується з урахуванням особливостей правового режиму щодо окремих об'єктів та окремих видів діяльності, встановлених законом.

По-третє, держава в особі відповідних органів державної влади надає право управління (користування, експлуатації) державного об'єкта з подальшим управлінням (користуванням, експлуатацією) за умови прийняття та виконання приватним партнером інвестиційних зобов'язань відповідно до договору. Участь шахти та приватного сектору у спільній діяльності регламентується відповідним договором, а також додатковими угодами (про надання шахтою поточних послуг, виконання сторонами інших робіт).

По-четверте, у рамках договору приватний інвестор, що розробляє наданий йому окремий гірничий відвід із шахтою використовує промислову інфраструктуру діючої шахти за встановлену плату. Відповідно до статті 18 Закону України «Про державно-приватне партнерство» [7] державна підтримка при здійсненні корпоративної розробки шахтного поля може надаватися шляхом постачання приватному партнеру товарів (робіт, послуг), необхідних для її здійснення.

По-п'яте, інтерес держави полягає у залученні інвестиційних ресурсів та сучасного менеджменту через спільну діяльність. У свою чергу, приватний інвестор отримує прибуток та заощаджує значні кошти користуючись промисловою інфраструктурою діючої шахти, які необхідні для будівництва і утримання власної шахти. У формі КРШП простежується дотримання одного із головних принципів здійснення державно-приватного партнерства – узгодження інтересів державного та

приватного партнерів з метою отримання взаємної вигоди.

По-шосте, взаємовідносини між державним вугледобувним підприємством та приватним сектором мають довгостроковий характер. Укладання угоди, а саме надання права (ліцензії) на користування надрами, може бути короткостроковим (до 5 років) і довгостроковим (до 50 років). У разі необхідності строки тимчасового користування надрами може бути продовжено.

По-сьоме, передача приватному сектору частини ризиків у процесі здійснення корпоративної розробки шахтного поля.

Отже, на основі вищенаведеного, можна стверджувати, що корпоративна розробка шахтного поля є формою державно-приватного партнерства. Для підтвердження цієї тези розглянемо механізм реалізації корпоративної розробки шахтного, з урахуванням галузевої специфіки, у вигляді послідовності таких етапів: пропозиція про здійснення КРШП, аналіз ефективності здійснення КРШП, обґрунтування соціально-економічних та екологічних наслідків здійснення КРШП і прийняття рішення про здійснення, організація і проведення відкритих торгів та аукціонів, укладання угоди корпоративної розробки шахтного поля із переможцем аукціону. Структурні елементи механізму реалізації корпоративної розробки шахтного поля наведено на рис.

На першому етапі Міністерство енергетики та вугільної промисловості України або особи, які можуть бути приватними партнерами, готують пропозиції про здійснення корпоративної розробки шахтного поля, де обов'язковим документом є попереднє техніко-економічне обґрунтування (ідентифікаційне дослідження), і подають до Міністерства економічного розвитку і торгівлі України проводити аналіз ефективності здійснення корпоративної розробки шахтного поля. Форма техніко-економічного обґрунтування затверджена наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Деякі питання проведення аналізу ефективності здійснення державно-приватного партнерства» (від 27.02.2012 р. № 255).

На другому етапі Міністерство економічного розвитку і торгівлі України проводить аналіз ефективності здійснення корпоративної розробки шахтного поля та виявлення можливих ризиків, пов'язаних із його реалізацією, шляхом: детального обґрунтування соціально-економічних та екологічних наслідків здійснення КРШП; порівняння основних показників реалізації проекту (рентабельності, рівня витрат, якості послуг тощо) із залученням приватного партнера та без такого залучення; виявлення видів ризиків здійснення корпоративної розробки шахтного поля, їх оцінки та визначення форми управління ризиками.

Порядок проведення аналізу ефективності здійснення ДПП визначається Постановою Кабінету Міністрів України «Порядок проведення аналізу ефективності здійснення державно-приватного партнерства» (від 11.04.2011 р. № 384), а виявлення можливих ризиків, пов'язаних із реалізацією ДПП, оцінка та визначення форми управління ними – Постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Методики виявлення ризиків, пов'язаних з державно-приватним партнерством, їх оцінки та визначення форми управління ними» (від 16.02.2011 р. № 232 із змінами від 16.09.2015 р. № 713).

На третьому етапі за результатами аналізу ефективності здійснення корпоративної розробки шахтного поля обґрунтовуються соціально-економічні й екологічні наслідки реалізації та приймається рішення про здійснення КРШП Міністерством економічного розвитку і торгівлі України.

На четвертому етапі визначають приватного партнера для укладання угоди корпоративної розробки шахтного поля. Слід зазначити, що надра надаються у користування підприємствам, установам, організаціям і громадянам лише за наявності у них спеціального дозволу на користування ділянкою надр. Право на користування

надрами засвідчується актом про надання гірничого відводу (частина перша ст. 19 Кодексу України про надра) [8].

Згідно з п. 2 Порядку надання спеціальних дозволів на користування надрами, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30.05.2011 № 615 [9], спеціальні дозволи на користування надрами надаються Державною службою геології та надр України переможцям аукціонів з їх продажу та у випадках, передбачених п. 8 постанови Кабінету Міністрів України про надання дозволів.

Враховуючи специфіку даної форми пропонуємо замість конкурсних процедур проводити організацію та проведення відкритих торгів та аукціонів. Відповідальність на цьому етапі покласти на Міністерство енергетики та вугільної промисловості України.

На п'ятому етапі укладається договір корпоративної розробки шахтного поля із приватним партнером, який є переможцем аукціону. Контроль за виконанням цього договору здійснюється Міністерством енергетики та вугільної промисловості України.

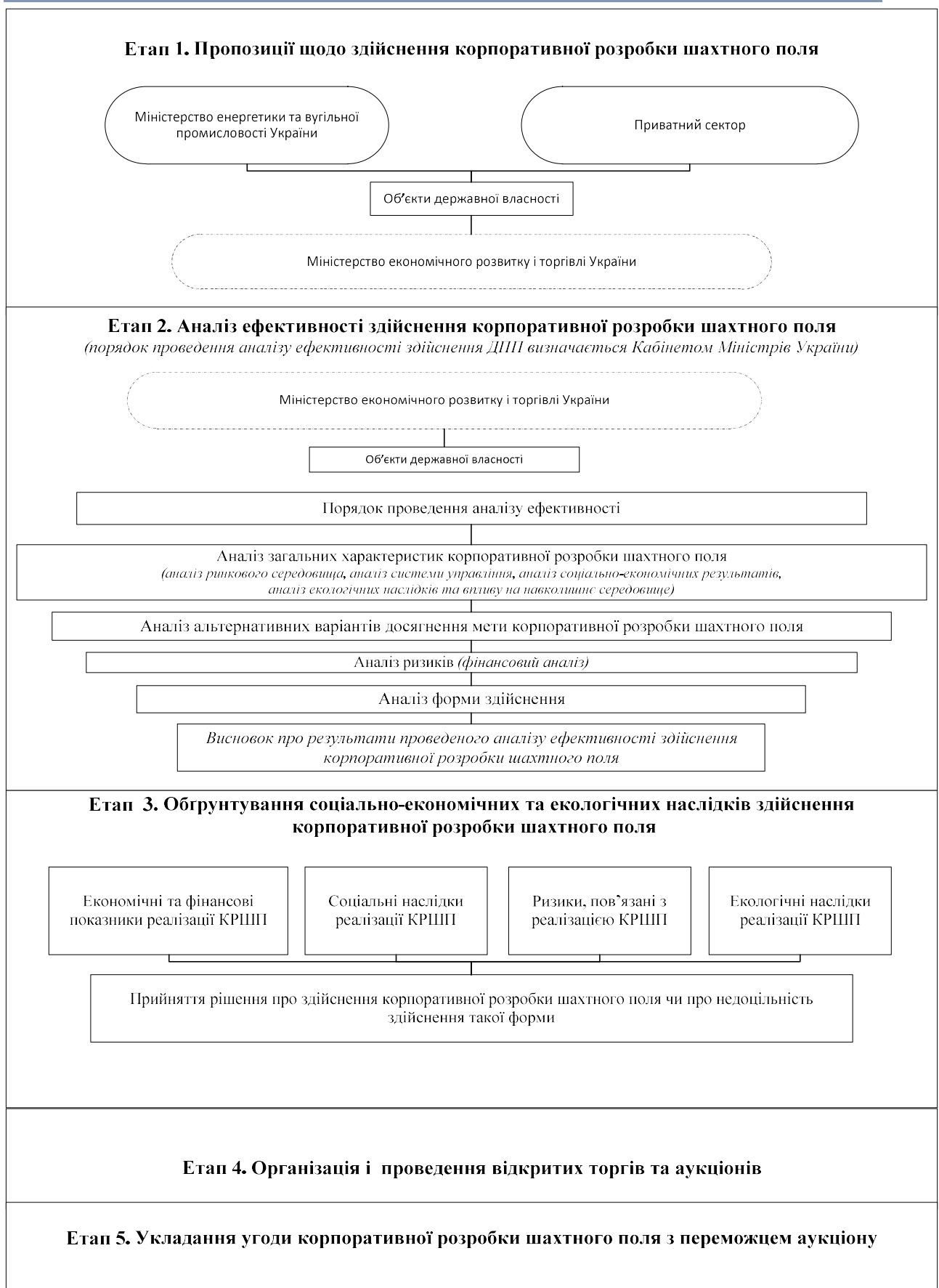


Рис. Структурні елементи механізму реалізації корпоративної розробки шахтного поля

Висновки. Перспективною формою державно-приватного партнерства є корпоративна розробка шахтного поля. Схема КРШП була апробована на вітчизняних гірничих підприємствах і довела свою ефективність. На основі аналізу законодавства виявлено, що корпоративна розробка шахтного поля є формою державно-приватного партнерства. По суті корпоративна розробка шахтного поля як форма державно-приватного партнерства передбачає надання державою права управління гірничим відводом, прилеглою до шахти, з подальшим управлінням (користуванням, експлуатацією) за умови прийняття та виконання приватним партнером інвестиційних зобов'язань відповідно до договору. Враховуючи результати проведеного дослідження з корпоративної розробки шахтного поля як форми ДПП запропоновано механізм реалізації КРШП, який складається з п'яти етапів: пропозиція про здійснення КРШП, аналіз ефективності здійснення КРШП, обґрунтування соціально-економічних та екологічних наслідків здійснення КРШП і прийняття рішення про здійснення, організація і проведення відкритих торгів та аукціонів, укладання угоди корпоративної розробки шахтного поля із переможцем аукціону.

Бібліографічний список

1. Ильяшов М.А. Трёхмерные индустриальные парки: определение, особенности и направления развития / М.А. Ильяшов, В.В. Левит, Д.Ю. Череватский // Экономика промышленности. – 2015. – № 1 (69). – С. 74-83.
2. Филатов Ю. В. Опыт корпоративной разработки шахтного поля / Ю. В. Филатов, Ю. А. Наумов, А. А. Лещинский, Д. Ю. Череватский // Уголь Украины. – 2000. – № 11. – С. 25–28.
3. Сердюк О.С. Щодо ефективності інвестиційних проєктів, реалізованих механізмами державно-приватного партнерства на вугільних підприємствах / О.С. Сердюк // Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2015. – № 1. – С. 110-117.
4. Залознова Ю.С. Класифікація форм державно-приватного партнерства: узагальнення зарубіжного та вітчизняного досвіду / Ю.С. Залознова, І.П. Петрова, Н.В. Трушкіна // Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. – 2016. – Vol. 2. – No. 3. – С. 88–105. – Режим доступу: www.are-journal.com.
5. Залознова Ю.С. Щодо корпоративної розробки шахтного поля як форми державно-приватного партнерства [Електронний ресурс] / Ю.С. Залознова, І.П. Петрова // Східна Європа: економіка, бізнес та управління. – 2017. – Вип. 7. – С. 30-34. – Режим доступу: http://easterneurope-ebm.in.ua/journal/7_2017/07.pdf.
6. Череватський Д. Ю. Про можливість віднесення спільної розробки вугільних родовищ до державно-приватного партнерства / Д. Ю. Череватський, І.В. Фокіна // Уголь Украины. – 2016. – № 4-5 (712-713). – С. 19-22.
7. Про державно-приватне партнерство: Закон України від 01.07.10 р. № 2404-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2404-17>. – Назва з екрану.
8. Про надра: Кодекс України від 27.07.1994 р. № 132/94 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр>.
9. Про затвердження Порядку надання спеціальних дозволів на користування надрами [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 30 травня 2011 р. № 615. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/615-2011-п>.

УДК

Д. т. н. професор Кравець В.Г. (НТУУ «КПІ»), д. т. н. професор
Самєдов А.М. (НТУУ «КПІ») аспірант Пасько О.З. (НТУУ «КПІ»)

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ЗАНУРЕННЯ ПАЛЬ В ГРУНТОВИЙ МАСИВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглядається новий спосіб занурення палів в ґрунтовий масив із використанням гідродинамічних процесів.

Consider a new way of piling soil in an array using hydrodynamic processes.

Вступ. Стрімкий розвиток суспільства призвів до збільшення чисельності населення. Це, в свою чергу, призвело до необхідності задоволення людських потреб. Однією із таких потреб є будівництво житлових будівель та інших споруд. Та, на жаль, ґрунти не завжди володіють достатніми фізико-механічними характеристиками для будівництва на них. На території України біля 70% ґрунтових масивів характеризуються низькими фізико-механічними характеристиками, це не враховуючи високий рівень ґрунтових вод, що має великий вплив на фізико-механічні характеристики ґрунтів. Враховуючи всі ці несприятливі фактори, будівництво на таких ґрунтах дуже ускладнюється.

На даний час існує багато методів та методик із вирішенням даної задачі, але всі вони мають свої недоліки та обмеження по їх використанню.

Актуальність. У зв'язку із активною забудовою території України в умовах земельного дефіциту зростає роль ділянок із складною геологічною гідрогеологічною будовою.

Мета і завдання. Удосконалити методику закріплення ґрунтових масивів ґрунтоцементними елементами.

Основна частина.

В сьогочасному будівництві існує багато методів штучного закріплення ґрунтів. Зазвичай використовують такі методи закріплення ґрунтових масивів:

- хімічний спосіб - закріплюють піщані і лесові ґрунти нагнітанням в них через ін'єктори хімічних розчинів.
- електричний спосіб - закріплюють вологі глинисті ґрунти
- електрохімічний спосіб відрізняється від попереднього тим, одночасно з електричним струмом в ґрунт вводять через трубу, є катодом і служить ін'єктором, розчини хімічних добавок, що збільшують провідність струму (силікат натрію, хлористий кальцій, хлористе залізо і ін).
- закріплення за допомогою ґрунтоцементних елементів (паль)

Кожен із перерахованих методів має власні переваги та недоліки. Ми ж спробуємо виділити спільні ознаки недоліків та визначити найоптимальніший.

Хімічний та електрохімічний методи хоч і результативні та все ж економічно затратні є не лише матеріали, а й обладнання в порівнянні із закріпленням ґрунтоцементними елементами та й мають обмеження по застосуванню в ґрутах, а також вони втрачають свою ефективність із зростанням вологості масиву (розглядається лише ґрунтовий масив).

Електричний метод використовується з метою зменшення вологості масиву.

Закріплення ґрунтоцементними елементами, на відміну від хімічного та електрохімічного методів дозволяє виконувати роботи в різних ґрунтах (окрім скельних) за допомогою розроблених способів занурення паль а ґрунтовий масив.

Із розвитком суспільства виникає необхідність вдосконалення способів закріплення ґрунтових масивів ґрунтоцементними елементами, тому на даному етапі ми пропонуємо більш удосконалений спосіб занурення ґрунтоцементних елементів.

Пропонований спосіб (Рис.1.) полягає в тому, що до залізобетонного елемента прикріплюються із двох боків труба, для подачі водного розчину до сопла під тиском від 2 до 5 МПа. Водяна суміш із великою швидкістю витікатиме із труби через сопло і за допомогою кінетичної енергії, яку матиме струмінь води - розмиватиметься ґрунтовий масив, утворюючи порожнину.

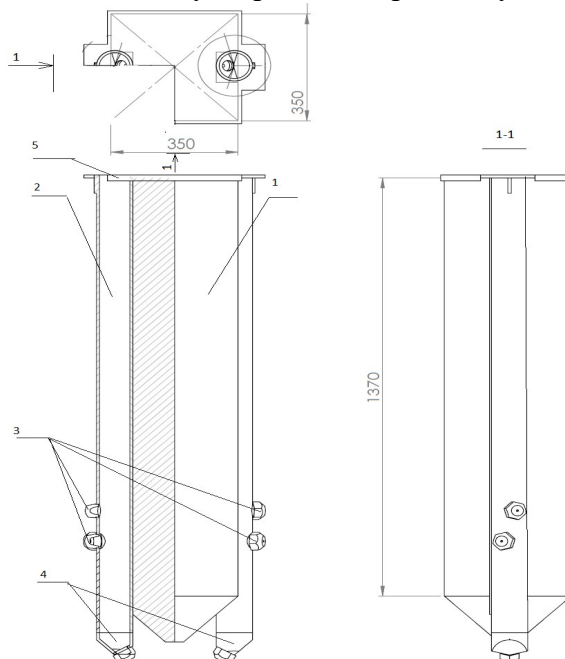


Рис. 1. Будова моделі для улаштування ґрунтоцементних елементів

1 – з/б паля, 2 – водо-подаюча труба, 3 – сопло, 4 – направляючий елемент, 5 – закріплюючий елемент.

Для визначення швидкості потоку текучого середовища на виході із сопла було проведено моделювання. Щоб отримати це значення було задано такі параметри: подача води в трубу здійснювалась під тиском 2 МПа, на виході із сопла тиск задавався мінімальний, так як потік руху води із сопла мав турбулентний режим та зон обмежень не було і тиск задавався 2 Па (Рис. 2.).

Таким чином ми отримали вхідну модель для подальшого проведення розрахунків.

На даній моделі (Рис. 2. Рис. 3.) можна помітити – величина тиску в самій трубі є незмінною, вона лише змінюється в зонах де прикріплено сопло, значення тиску спадає і на виході із сопла вона набуває мінімального значення. Це підтверджує, що завдання поставлене вірно і можна продовжувати дослідження і надалі.

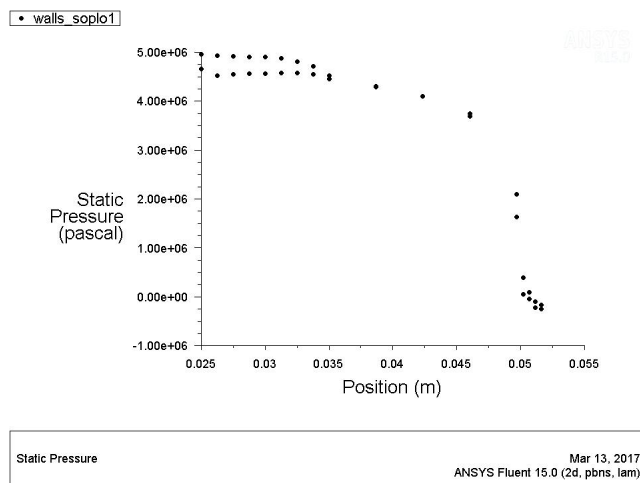
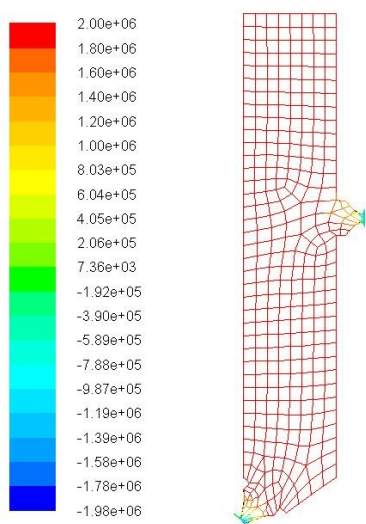
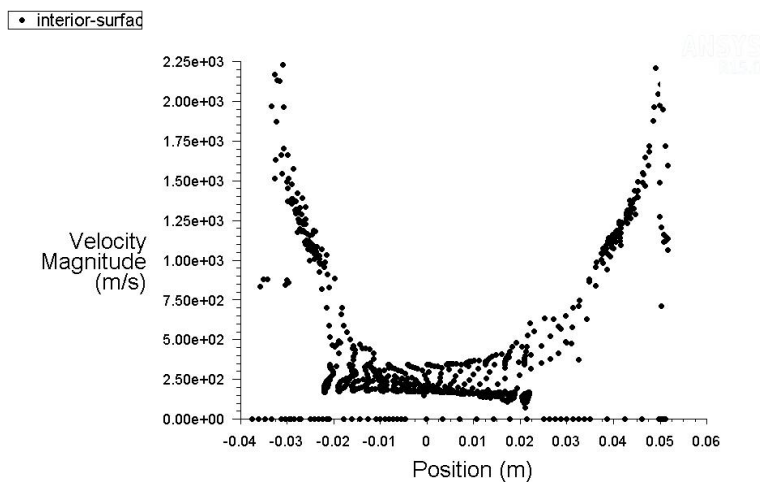
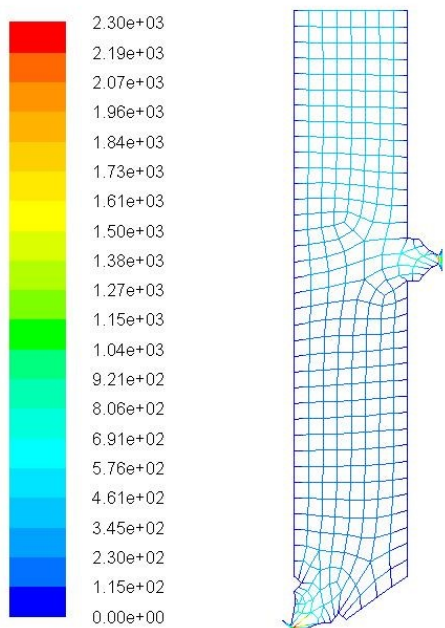


Рис. 2. Розподіл тиску в водоподаючій трубі.

Рис. 3. Величина тиску в соплі

Значення тиску на вході в трубу повинно бути достатнім для того, щоб потік міг руйнувати ґрунтовий масив, який його оточує. Тому в даному варіанті було обрано початковий тиск 2 МПа. Ця величина надасть достатньої швидкості потоку для руйнівної сили.



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Velocity Magnitude

Mar 13, 2017
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, lam)

Рис. 4. Розподіл швидкість потоку в трубі Рис. 5. Діаграма швидкостей

Після проведення моделювання [1] (Рис. 4., Рис. 5.) швидкість потоку рідини на виході із сопла становить 2300 м/с, а на вході в трубу – 230 м/с. Струменневий потік з такою швидкістю повністю виконуватиме руйнування ґрунтового масиву. Для порівняння – при руйнуванні кольорових металів (на прикладі алюмінію) потоком струменю необхідно щоб потік мав швидкість 1200 м/с.

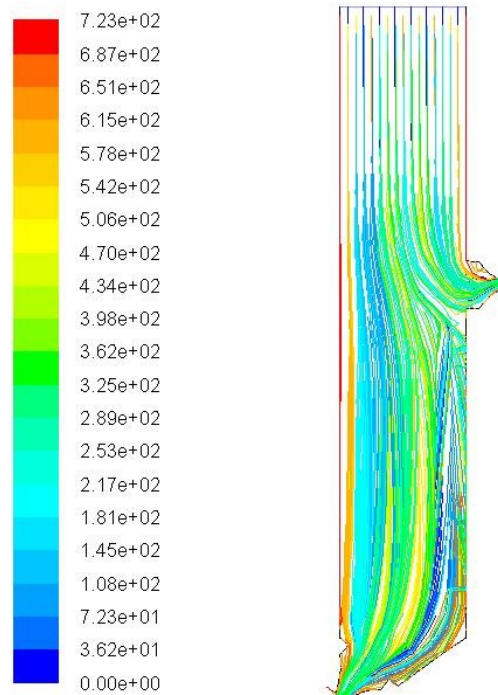


Рис.6. Розподіл потоків текучого середовища (вода) в водоподаючій трубі.

Порівнюючи дані із гідроабразивним різанням, можна зменшити швидкість потоку струменя до 750 – 900 м/с – враховуючи меншу щільність середовища (грунтовий масив / метал).

Дане моделювання було проведено в програмному пакеті ANSYS Flow Fluent[2].

Висновок. Переваги даного способу полягають в тому, що роботи виконуються безшумно, не завдає пошкоджень залізобетонним елементам, дає можливість збільшувати бічну поверхню паль, шляхом об'ємного бетонування зовнішнього контуру.

Відповідно до проведеного дослідження можна внести невеликі, але необхідні коригування для того, щоб даний спосіб був більш раціональним та економічним.

Список використаної літератури

1. ANSYS Theory reference. 001242. Eleventh edition SAS, Inc. 1999 - 1286 с.
2. Release 15.0 - © SAS IP, Inc. All rights reserved. - Contains proprietary and confidential information vi of ANSYS, Inc. and its subsidiaries and affiliates. 2013 – 780 с.
3. Токин, А. Н. Фундаменти из цементогрунта [Текст] / А. Н. Токин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 182 с.
4. Ржаницин, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве [Текст] / Б. А. Ржаницин. – Москва : Строй издат, 1986. – 264 с.
5. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти [Текст] / М. Л. Зоценко, В. І. Коваенко, А. В. Яков лев [та ін.]. – Видання друге, перероблене і доповнене. – Полтава : ПНТУ, 2004. – 568 с. : іл.

УДК 622.235.477

В.В. ПАВЛЕНКО (магістрант)

В.Г. КРАВЕЦЬ(доктор технічних наук)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ ВИБУХОВОЇ ЕМУЛЬСІЇ З СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ В ПОРОДНИЙ МАСИВ

Анотація

Розглянуто та проведено аналіз поведінки ЕВР у свердловині свідчить про зміну об'єму заряду і його довжини за рахунок зміни густини ЕВР внаслідок її остигання і дії гідростатичного тиску на газовий сенсibilізатор, про зменшення концентрації газового сенсibilізатора з глибиною в свердловинному заряді та обумовлене цим погіршення детонаційної здатності заряду. В силу багатofакторності цих змін їх кількісні закономірності для кожного конкретного випадку бажано досліджувати в натурних умовах експериментальним шляхом - за зміною довжини заряду в часі від моменту заряджання аж до стабілізації температури ЕВР у свердловині в різні температурні сезони року..

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *ЕВР, швидкість детонації, критичний діаметр, густина, гідростатичний тиск, газогенерація, ударна хвиля, негабарит.*

Аннотация

Рассмотрены и проведен анализ поведения ЭВВ в скважине свидетельствует об изменении объема заряда и его длины за счет изменения плотности ЭВВ в результате ее остывания и действия гидростатического давления на газовый сенсibilізатор, об уменьшении концентрации газового сенсibilізаторов с глубиной в скважинном заряде и обусловленное этим ухудшение детонационной способности заряда. В силу многофакторности этих изменений их количественные закономерности для каждого конкретного случая желательно исследовать в натурных условиях экспериментальным путем - изменением длины заряда во времени с момента зарядки до стабилизации температуры ЭВВ в скважине в различные температурные сезоны года .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ЭВВ, скорость детонации, критический диаметр, плотность, гидростатическое давление, газогенерации, ударная волна, негабарит.*

Summary

Considered and analyzed the behavior EVV in the well indicates a change in the volume of the charge and its length by changing the density EVV due to its cooling action and hydrostatic pressure gas sensitizer, the sensitizer gas reduce the concentration with depth in hole charges and the consequent deterioration of detonation capacity charge. Because of these changes bahatofaktornosti their quantitative patterns for each case it is desirable to explore the natural conditions in an experimental way - by changing the length of the charging time from the time of charging up to temperature stabilization EVV in the well at different temperature seasons .

KEYWORDS: *EVR, detonation velocity, the critical diameter, density, hydrostatic pressure, hazoheneratsiya, shock wave, oversized.*

Вступ. ЕВР – це рідка механічна суміш емульсійної матриці та сенсibilізатора. Емульсійна матриця, в свою чергу, являє собою зворотну емульсію висококонцентрованого водного розчину неорганічного окислювача з рідким паливом і емульгатором. У ній дрібнодисперсні краплі розчину окислювача розподілені у рідкому паливі. Стабільності емульсії надає емульгатор, розчинений у паливі. У ЕВР паливо разом із емульгатором є неперервною фазою, а розчин окислювача – дисперсною фазою. Паливом у складі ЕВР є, як правило, рідкі нафтопродукти. Як емульгатор використовують ефіри сорбіту та жирних кислот, ефіри гліцерину, неорганічні солі вищих алкіл-амінів і полімерні сполуки. Емульсія набуває вибухових властивостей в процесі її сенсibilізації одним із двох способів: хімічною газогенерацією або введенням газоповітряних мікросфер чи пористих сипучих матеріалів, що мають на своїй поверхні або у порожнинах повітряні пухирці. Газові пухирці в емульсії відіграють роль «гарячих точок», які забезпечують стійке детонаційне перетворення ЕВР від ініціувального імпульсу. Кращою вважається газова сенсibilізація, тому що вона забезпечує вищу детонаційну здатність ЕВР.

На відміну від гранульованих і сипучих, емульсійні ВР, перебуваючи в свердловинах, проявляють цілу низку специфічних ефектів, обумовлених їх рідкою консистенцією, підвищеною температурою та особливостями сенсibilізаторів.

Реальні масиви гірських порід здебільшого є тріщинуватими. Часто вони розсічені на окремі породні блоки системно чи хаотично орієнтованими тріщинами значної довжини. Останні разом з пористістю породи виступають головними шляхами фільтрації рідин у гірському масиві. Тріщинуватість і пористість породи можуть обумовлювати фільтрацію ЕВР за межі свердловини. Така ситуація є небажаною як у технічному, так і екологічному плані. Технічний аспект її пов'язаний з прямими втратами маси свердловинних зарядів і відповідним погіршенням результатів вибуху. Екологічна небезпека фільтрації ЕВР полягає в забрудненні підземних вод і гірських порід шкідливими компонентами вибухівки. Через потрапляння ЕВР у тріщини і пори забруднюються підземні води, а при наповненні пор відбувається забруднення гірської породи. В обох випадках втрачається маса свердловинного заряду, змінюється співвідношення компонентів, що негативно впливає на детонаційні властивості заряду ЕВР.

Міграція ЕВР із свердловин у породний масив відмічається на ряді кар'єрів, наприклад [1] в умовах вічномерзлих порід при використанні ЕВР іренель та іремекс, які виробляються на кар'єрі за технологією і на устаткуванні, закуплених у фірми «Діно Нобель» (США). Щоб уникнути втрат маси свердловинних зарядів із ЕВР інколи їх розміщують у гідроізолюючих оболонках-рукавах.

У пористих породах, наприклад, вапняках, бокова поверхня свердловини гідравлічно пов'язана безпосередньо з поровим простором. Швидкість фільтрації рідини через таке пористе середовище визначається лінійним законом фільтрації А. Дарсі [2]: $\omega = k \Delta p / \eta L$, де k – коефіцієнт проникності породи; η – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини; Δp – перепад тиску на шляху L в пористому середовищі. Коефіцієнт проникності не залежить від властивостей рідини, його величина визначається розміром і формою пор у породі, а також їх засмічення породним шламом.

Із закону Дарсі випливає, що чим більша проникність породи, менша маса ЕВР і більший перепад тиску, що діє на неї, тим більша швидкість її фільтрації, тобто тим більша маса ЕВР із свердловинного заряду проникне в породний масив за одиницю часу. Величина перепаду тиску Δp_n на n -ому перерізі свердловинного заряду, що знаходиться на глибині h від його верхнього торця, визначається двома параметрами – тиском у свердловині p_n і тиском рідини p_f у поровому просторі породи, тобто $\Delta p_n = p_n$

- p_{ϕ} . У свою чергу, $p_n = g(h\rho_e + \ell_n \rho_n)$, де g – прискорення земного тяжіння, ρ_e і ρ_n – густина ЕВР і матеріалу забивки, ℓ_n – довжина набивки. Отже максимальний тиск має місце при $h = \ell_3$ (ℓ_3 – довжина заряду), тобто на дні свердловини. Відповідно до цього тут маємо найбільшу швидкість фільтрації емульсії в породний масив при незмінності інших факторів впливу.

Величина p_{ϕ} залежить від виду флюїду, що знаходиться в порах: для води вона значно вища, ніж для повітря. Тому в сухих породах умови фільтрації ЕВР із свердловини є найбільш сприятливими. У обводнених породах поровий тиск створюється, головним чином, висотою h_v стовпа води над розглядуваною точкою n та відповідною їй точкою на депресійній кривій, яка характеризує верхній рівень води в масиві уступу. Отже для води, $p_{\phi} = gh_v \rho_v$, де ρ_v – густина підземної води. Як відомо, в обводнених масивах рівень води є мінімальним біля укосу уступу і нелінійно збільшується з віддаленням від нього в тилу його частину. Саме тому для зарядів першого ряду наявні найсприятливіші умови для витоку ЕВР із свердловини у породу.

Втрати ЕВР ΔQ із свердловини через фільтрацію в пори можна вирахувати за формулою $\Delta Q = \psi \omega_c t$, де ψ – коефіцієнт, що враховує площу порових отворів на площі бокової поверхні свердловини s ; ω_c – середня швидкість порової фільтрації ЕВР; t – тривалість знаходження ЕВР у свердловині. Значення коефіцієнта ψ визначається властивостями порового простору породи; $\psi < 1,0$. Величина s пропорційна діаметру свердловини d і довжині свердловинного заряду ℓ_3 : $s = \pi d \ell_3$. Середня швидкість фільтрації визначається законом Дарсі при середніх значеннях параметрів, що входять до нього. Це стосується коефіцієнта проникності породи, якій може змінюватись в межах товщі породи потужністю ℓ_e , в'язкістю ЕВР, що визначається її властивостями і температурою (різко зростає при зниженні температури), а також градієнта тиску на контакті з порами.

При умові незмінності густини ЕВР вздовж заряду (для ЕВР, сенсibilізованих мікросферами чи твердими речовинами) середній тиск $p_c = g(\ell_n \rho_n + 0,5 \ell_3 \rho_3)$. У загальному випадку середній градієнт тиску Δp на контакті ЕВР з порами породи визначається за виразом $\Delta p_c = p_c - p_{\phi c}$, де $p_{\phi c}$ – середнє значення тиску в порах залежно від виду флюїду та потужності шару породи, на яку він поширюється.

У масиві уступу параметри природної тріщинуватості певною мірою змінені впливом попередніх вибухів [3]. Їх дія насамперед проявляється в збільшенні розкриття природних тріщин у частині масиву, що прилягає до укосу уступу (дія вибуху свердловинних зарядів попередньої заходки даного горизонту) і до його верхньої площадки (дія вибуху зарядів перебуру верхнього горизонту). Вибухове розкриття тріщин верхньої частини уступу локалізується в зоні забивки зарядів, тому слабо впливає на фільтраційні властивості масиву нижче цієї зони. З боку укосу уступу вибухове розкриття природних тріщин поширюється в масиві, де розміщуються свердловини першого ряду, тому саме тут слід очікувати максимальну швидкість фільтрації і максимальні втрати маси зарядів ЕВР. Тріщинна фільтрація можлива лише тоді, коли свердловинний заряд пересікає тріщини породного масиву. Якщо гірський масив є тріщинуватим, а породи пористими, то у ньому реалізуються тріщинний і поровий режими фільтрації. Таке поєднання ще більше ускладнює процес фільтрації, а відповідно і точність розрахунку втрат ЕВР із свердловинного заряду. Тому найбільш надійним на даний час слід вважати експериментальне визначення втрат ЕВР шляхом реєстрації зміни висоти колонки заряду в свердловині (усадка заряду) в часі, внаслідок чого можна оцінити загальні закономірності фільтрації ЕВР у конкретних гірничо-геологічних умовах розробки в характерних зонах уступів у різні сезони року. Якісно зміну довжини емульсійного свердловинного заряду в часі зображено на рис. 1. На ньому крива 1 відповідає зміні ℓ_3 при відсутності фільтрації ЕВР із свердловини, а крива 2 – при її наявності. Точка А характеризує ℓ_3 на момент закінчення заряджання

свердловини. В ній ЕВР остигає від температури T_e до температури породного масиву T_{Π} (середня величина на довжині заряду) протягом часу t_B , за який довжина заряду зменшується до величини l_{3B1} . Цьому стану відповідає точка B_1 на кривій 1, при $t > t_B$ ніякої зміни з довжиною ЕВР не відбувається. Величина t_B залежить від температури ЕВР і породи, їх теплових властивостей, діаметра заряду тощо і може сягати багатьох годин. Значення $l_y = l_{3A} - l_{3B1}$ визначає температурну усадку заряду, величину якої можна оцінити за виразом: $l_y = l_{3A\beta}(T_{\Pi} - T_3)$, де β – середній (у межах від T_e до T_{Π}) коефіцієнт об'ємного теплового розширення ЕВР. Як видно, величина l_y зростає при збільшенні довжини заряду і залежить від величини T_{Π} , тобто сезону року.

Для кривої 2 одночасно з остиганням відбувається фільтрація ЕВР у породу впродовж всього терміну перебування її у свердловині. Масова швидкість фільтрації ω_m , що характеризує втрату маси ЕВР за одиницю часу, зменшується із затухаючою інтенсивністю досягаючи стаціонарного значення при $t \geq t_B$. Останнє можна оцінити за виразом $\omega_m = [\pi d^2(l_{eB2} - l_{eC2})\rho_e]/(t_C - t_B)$. Емпіричні залежності, подібні до наведених на рис 1, необхідні для обґрунтованого проектування масових вибухів свердловинними зарядами із емульсійних ВР.

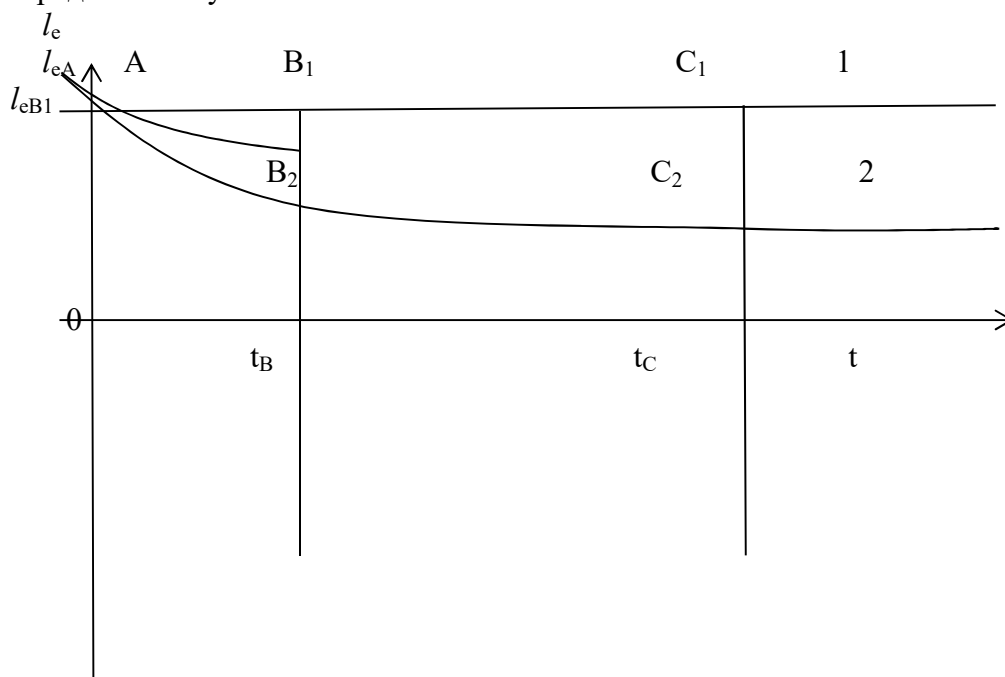


Рис. 14. Схематична залежність $l_e(t)$ у непроникних (1) і проникних (2) породах
Довжина їх є одним з основних параметрів, що визначає якість вибухової підготовки гірничої маси на кар'єрах.

Зменшення l_e пропорційно збільшує довжину набивки і об'єм породного масиву з цієї області, яка найгірше руйнується при вибуху свердловинних зарядів. Тому проектну довжину свердловинних зарядів $l_e \pm \Delta$ (де Δ - допуск на довжину заряду), густину і погонну масу ЕВР у свердловині слід визначати при температурі породи T_{Π} , тобто з урахуванням температурної усадки свердловинного заряду. Якщо останнє менше за Δ (а це можливо на коротких зарядах), то нею можна знехтувати у непроникних для ЕВР породних масивах. У протилежному випадку слід проводити коректування довжини заряду шляхом збільшення його маси на величину $\Delta M = \pi d^2 \rho l_y / 4$. При наявності фільтрації ЕВР ситуація ще більше ускладнюється. Тут усадка заряду визначається температурною і фільтраційною складовими, а її величина сильно залежить від часу перебування ЕВР у свердловині. У цьому разі можливі різні підходи щодо забезпечення проектною довжини заряду. Перший з них полягає в недопущенні перебування ЕВР у свердловині понад критичний термін, при якому усадка заряду

перевищує величину допуску. Такий підхід є доцільним з позиції збереження фізичних і детонаційних властивостей ЕВР за рахунок скорочення тривалості негативного впливу свердловинного середовища (розчинення і вилучування компонентів ВР засмічення ЕВР, міграція сенсibilізатора в заряді тощо), але не раціональним з екологічних міркувань. Другий підхід полягає в дозаряджанні свердловинних зарядів з великою усадкою ЕВР в день проведення масового вибуху, що ускладнює технологію заряджання і забивання свердловин, є збитковим і екологічно шкідливим. Виключити всі зазначені негаразди можливо лише при розміщенні ЕВР у гідроізоляційних оболонках, як це інколи зустрічається в практиці використання ЕВР. Проте останній підхід слід вважати вимушеним і нераціональним при масовому застосуванні з позицій низьких технологічності й економічності вибухових робіт. Загалом слід визнати, що в сильно пористих і тріщинуватих породних масивах, яким властива висока гідравлічна проникність, використання ЕВР є здебільше недоцільним. Якщо ці породи сухі та малообводнені, беззаперечною альтернативою ЕВР виступають найпростіші гранульовані ВР, застосування яких дозволяє позбутися більшості вищезазначених негараздів, пов'язаних з усадкою емульсійних свердловинних зарядів, а також спростити технологію, знизити собівартість вибухових робіт і підвищити їх екологічність.

Викладене означає, що область раціонального поширення ЕВР обмежена слабопроникними для них гірськими породами. При цьому проникність породи визначається в'язкістю ЕВР, яка в свою чергу залежить від компонентного складу ЕВР та температурного режиму в свердловині.

Таким чином, проведений аналіз поведінки ЕВР у свердловині свідчить про зміну об'єму заряду і його довжини за рахунок зміни густини ЕВР внаслідок її остигання і дії гідростатичного тиску на газовий сенсibilізатор, про зменшення концентрації газового сенсibilізатора з глибиною в свердловинному заряді та обумовлене цим погіршення детонаційної здатності заряду. В силу багатofакторності цих змін їх кількісні закономірності для кожного конкретного випадку бажано досліджувати в натурних умовах експериментальним шляхом - за зміною довжини заряду в часі від моменту заряджання аж до стабілізації температури ЕВР у свердловині в різні температурні сезони року. Якщо виявиться, що довжина свердловинного заряду та вирахована його густина виходять за межі унормованих допусків, ці зміни необхідно враховувати при проектуванні масових вибухів з використанням ЕВР.

Наведені закономірності фільтрації та температурної усадки ЕВР у породному масиві певною мірою стосуються й інших високотемпературних і рідких ВР, зокрема акватолів.

Висновки:

- 1) Максимальна порова фільтрація ЕВР при незмінних інших умовах має місце в нижній частині сухих свердловин у сильно пористих породах у найтепліший період року, коли в'язкість емульсії в породі є найнижчою.
- 2) Зазначені умови найповніше проявляються у свердловинах першого ряду на породному уступі кар'єра влітку.
- 3) У морозний сезон температура породи в цій частині масиву може бути на 10-15°C нижчою, ніж у теплий період, внаслідок чого в'язкість емульсії суттєво зростає, а швидкість фільтрації знизиться.
- 4) У разі коли порода має незначну пористість, а відповідно і майже нульову проникність, фільтрація здійснюється тріщинами гірського масиву. Незважаючи на те, що коефіцієнт тріщинуватості порід значно менший (долі відсотка від коефіцієнта

пористості(до 10-20 %), гідравлічна провідність тріщин є значно вищою за провідність пористої породи.

5) Проведений аналіз поведінки ЕВР у свердловині свідчить про зміну об'єму заряду і його довжини за рахунок зміни густини ЕВР внаслідок її остигання і дії гідростатичного тиску на газовий сенсibilізатор, про зменшення концентрації газового сенсibilізатора з глибиною в свердловинному заряді та обумовлене цим погіршення детонаційної здатності заряду.

Бібліографічний список

1. Андреев С.Г .Физика взрыва / С.Г.Андреев, А.В.Бабкин,-е, перераб. Ф.А.Баум и др./ Под ред.Л.П.Орленко.-Изд. 3-е, перераб. – в 2-х т. -Т.1.-М.: Физматлит, 2002.-823с.
2. Соснин В.А. Исследование процесса детонации в эмульсионных промышленных взрывчатых веществах / В.А.Соснин, Е.В.Колганов / Химическая физика, 2003.-Т.22.- №8.-С.100-107.
3. Поплавський В.А.Проблеми безпеки вибухової справи на ка/р'єрах/
В.А.Поплавський/ -К.: ННДПБОП, 2009.—183с.

УДК 624.151.01

Самедов А. М., д.т.н., проф., Охріменко В. І., магістр, Стеценко О.М., магістр, НТУУ «КПІ» ім. І.Сікорського

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕНЬ АБО ЗОВНІШНІХ СИЛ

Розглянуто проблеми напружено-деформованого стану гірських порід при дії навантажень або зовнішніх сил, а також напружено-деформований стан в просторових і плоских задачах. Визначено компоненти тензорів напруг і деформацій у вигляді матриці, які можна вирішити за допомогою комп'ютера.

The problems of the stress-strain state of the rocks under the action of external forces or stress, and stress-strain state in spatial and planar problems. Determined tensor components of stress and strain in a matrix that can be solved by a computer.

Мета роботи. Дати оцінку напружено-деформованого стану гірських порід при дії навантажень або зовнішніх сил.

Результати досліджень. У деяких літературних джерелах [1 ÷ 7] наводиться напружено-деформований стан гірських порід, але не пояснюється його оцінка для застосування цих положень при розрахунку конструкцій споруд.

При прикладенні навантаження або зовнішніх сил на гірські породи в тілі виникає напружений стан, який деформує або створює пластичні деформації і порушує структуру, змінює структурні зв'язки між частинками. Напружений стан виражається компонентами нормальних $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ і дотичних $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$ компонентів напружень або компонентів головних напружень $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ і $\tau_{12}, \tau_{21}, \tau_{13}, \tau_{31}, \tau_{23}, \tau_{32}$.

Відзначимо, що правий індекс в позначенні дотичного напруження вказує майданчик до якого прикладено напругу і нормаль до майданчика, другий - напрямок дотичного напруження по відповідній осі координат.

Для ізотропного тіла пари дотичних напружень рівні, тобто: $\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$. Ці умови справедливі як при пружному, так і при пластичному стані деформування. При таких умовах щоб оцінити напружений стан для просторових задач, необхідно визначити не дев'ять компонентів: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx},$

τ_{yz}, τ_{zy} , а шість незалежних компонентів напружень $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$.

Компоненти напружень можна визначити у вигляді матриці, тобто тензора 2-го рангу, який називається тензором напружень:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xz} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

Тензор напружень визначається заданням шести скалярних величин, таких як: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$, які називаються компонентами тензора. Кожен стовпець тензора напружень T_{σ} в прямокутній системі координат x, y, z визначає його компоненти, паралельні відповідній осі. При цьому нормальні напруження вважаються позитивними, якщо вони викликають розтягнення, і негативними якщо стиск. Знак дотичного напруження приймається позитивним, якщо напруга збігається з позитивним напрямком осі координат за умови, що зовнішня нормаль до цього майданчика також збігається з позитивним напрямком осі координат, дотичне напруження приймається негативним за умови, що воно збігається з негативним напрямком осі.

Досліджуючи напружений стан в довільних майданчиках будь-яких гірських порід, чи то вони є суцільним середовищем (монолітні блоки), чи то в сипучих середовищах, таких як ґрунт, завжди можна підібрати таку схему, в якій діють лише нормальні напруження, а дотичні відсутні. Такий майданчик називається головним, а нормальні напруження на цьому майданчику називаються головними напруженнями, і позначаються $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Тензор напружень в головних координатних осях можна записати в наступному вигляді, для визначення компонентів головних напружень:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Головні напруження в будь-якій точці тіла не залежать від способу їх знаходження, тобто інваріантні по відношенню до перетворення координат.

В теорії буріння шпурів в гірських породах (наприклад в гранітах, габро, вапняках, мармурі та ін.), де тиск дотичних напружень відіграє дуже важливу роль, слід знайти максимальні значення компонентів дотичних напружень. Для цього необхідно з'ясувати, на яких майданчиках дотичні напруження приймають екстремальні значення, якщо тензор напрямків заданий в головних осях. Позначимо напрямні косинусів, як змінні функцій l, m, n використовуємо відому умову $l^2 + m^2 + n^2 = 1$ і виключимо один з направляючих косинусів, наприклад n . Підставляємо $n^2 = 1 - l^2 - m^2$ в вираз такого вигляду:

$$\tau^2 = (\sigma_1^2 - \sigma_3^2)l^2 + (\sigma_2^2 - \sigma_3^2)m^2 + \sigma_3^2 - [(\sigma_1 - \sigma_3)l^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)m^2 + \sigma_3^2]^2 \quad (3)$$

Щоб знайти максимум і мінімум дотичних напружень з (3) τ^2 , як функцію змінних l та m , прирівняємо нулю часткові похідні від τ^2 по l і m :

$$[\tau^2]' = l[(\sigma_1 - \sigma_3)l^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)m^2 - 1/2(\sigma_1 - \sigma_3)] = 0, \quad (4)$$

$$[\tau^2]' = m[(\sigma_1 - \sigma_3)l^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)m^2 - 1/2(\sigma_1 - \sigma_3)] = 0. \quad (4')$$

Використовуючи рівність $l^2 + m^2 + n^2 = 1$, знаходимо при $l = m = 0$ значення $n = \pm 1$. Якщо прийняти $l = m = 0$, то $m = \pm 1$, а при $m = n = 0$, $l = \pm 1$. Вирішуючи рівняння (4) і (4') при почерговому прирівнюванню нулю l і m , $m = \pm\sqrt{1/2}$ і $l = \pm\sqrt{1/2}$. Аналогічним шляхом, виключивши з рівняння (3) спершу, m а потім l , знайдемо значення n .

Знайдені значення косинусів кутів визначають майданчики з екстремальними значеннями дотичних напружень. Їх можна представити у вигляді табл. 1.

Екстремальні значення дотичних напружень

Значення косинуса	Майданчики, що співпадають			Майданчики дотичних напружень, що мають максимальне значення		
	l	m	n	l	m	n
l	0	0	± 1	0	$\pm\sqrt{1/2}$	$\pm\sqrt{1/2}$
m	0	± 1	0	$\pm\sqrt{1/2}$	0	$\pm\sqrt{1/2}$
n	± 1	0	0	$\pm\sqrt{1/2}$	$\pm\sqrt{1/2}$	0

Характерно, що майданчики дотичних напружень розташовуються перпендикулярно до однієї з координатних площин, а прямий кут між двома іншими площинами діляться навпіл. Дотичні напруження, що діють на даних майданчиках, називаються головними дотичними напруженнями.

Підставляючи значення косинусів, що відповідають трьом останнім графам Табл. 1, в рівняння (3), можна знайти значення максимальних дотичних напружень, що діють на майданчиках:

$$\tau_{12} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3); [l = \pm\sqrt{1/2}, m = \pm\sqrt{1/2}, n = 0], \quad (5.1)$$

$$\tau_{23} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3); [l = 0, m = \pm\sqrt{1/2}, n = \pm\sqrt{1/2}], \quad (5.2)$$

$$\tau_{31} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_1); [l = \pm\sqrt{1/2}, m = 0, n = \pm\sqrt{1/2}]. \quad (5.3)$$

Якщо вважати, що головні напруження при трьохосному напруженому стані на приладі стабілометр становить $\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3$. Отже, найбільше головне дотичне напруження $\tau_{max} = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_2)$

Можна показати, що на майданчиках дотичних напружень є також і нормальні напруження. Використовуючи Табл.1, можна визначити нормальні напруження в наступному вигляді:

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2); \sigma_{23} = \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3); \sigma_{31} = \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \quad (6)$$

тобто на майданчиках головних дотичних напружень діють нормальні напруження, рівні за значенням напівсумі головних напружень.

Середнє значення трьох головних нормальних напружень називають гідростатичним напруженням або середнім нормальним напруженням для даної точки.

Розглянемо окремо компоненти тензора напружень які викликають зміни обсягу тіла гірських порід, і компоненти, що мають відношення до зміни форми. Подібне розділення тензора напружень на частини необхідно також і для більш наочного опису законів деформування гірських порід при складному напруженому стані тіла, на прикладі видобутку гірських порід способом вибуху.

При цьому середнє нормальне напруження визначається як октаедричне в наступному вигляді:

$$\sigma_{cp} = \sigma_{окт} = 1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = 1/3(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (7)$$

Тензори напруження складаються з шарового $T_{ш}$ і девіаторного D_{σ} тензорів напружень, тобто:

$$T_{(\sigma)} = T_{ш} + D_{\sigma} \quad (8)$$

де $T_{ш}$ – шаровий тензор напружень:

$$T_{ш} = \begin{pmatrix} \sigma_{cp} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{cp} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{cp} \end{pmatrix} \quad (9)$$

D_{σ} – девіатор напружень:

$$D_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x - \sigma_{cp} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{cp} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{cp} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Графічне представлення розташування тензора напружень на шарову і девіаторну

наведені на Рис.1.

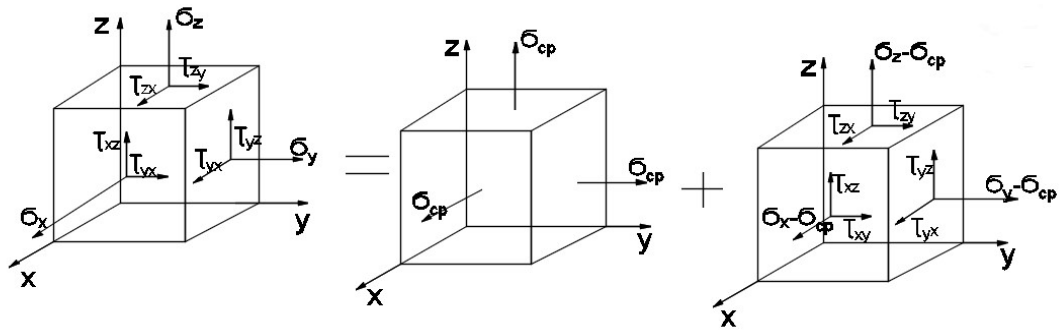


Рис. 1 Графічне представлення розкладення тензора напружень на шарову і девіаторну частини на довільних осях

Легко побачити, що перший інваріант шарового тензора напружень збігається з першим інваріантом загального тензора напружень, наприклад:

$$I_{1,шар.} = \sigma_{cp} + \sigma_{cp} + \sigma_{cp} = 3\sigma_{cp}. \quad (11)$$

Тоді перший інваріант девіатора напружень по визначенню девіаторів має дорівнювати нулю, тобто:

$$I_{1,дев} = (\sigma_x - \sigma_y) + (\sigma_y - \sigma_z) + (\sigma_z - \sigma_x) = 0 \quad (12)$$

Слід зазначити, що при переході від однієї точки тіла до іншої напруження можуть змінюватися, залишаючись безперервними функціями координат. Це показує, що необхідно складати диференціальні рівняння рівноваги для довільно обраного елементарного об'єму, інтегрування яких дозволить знайти закономірність розподілу напружень або порушують зусилля в гірських породах. Це особливо необхідно враховувати при видобутку блоків гірських порід способом вибуху. Наприклад, в шпурах які потрібно підривати умовно виділимо елементарний паралелепіпед з ребрами d_x, d_y, d_z . Дію відкинутих частин замінимо відповідними силами, які створюються вибухами, як показано на Рис.2.

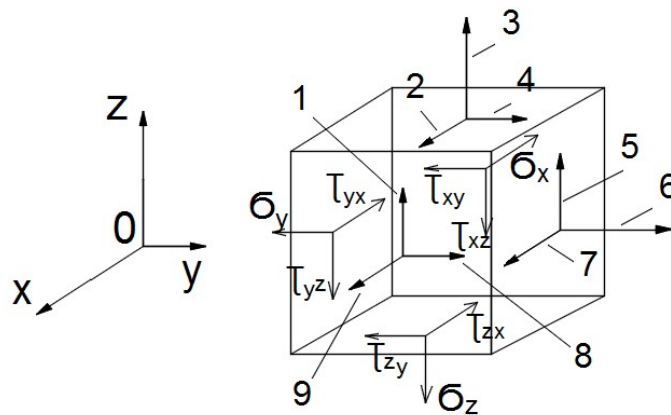


Рис. 2 Напруження на гранях нескінченно малого паралелепіпеда:

$$1 - \tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} dx; 2 - \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz; 3 - \sigma_z + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} dz; 4 - \tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} dz; 5 - \tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} dy;$$

$$6 - \sigma_y + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} dy; 7 - \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy; 8 - \tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx; 9 - \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx.$$

Тоді напруження на паралельних гранях відрізняються один від одного на нескінченно малі величини прирощення, які є приватними диференціалами від компонентів тензора напружень. Оскільки тіло знаходиться в рівновазі, то для виділеного елемента повинні задовольняються умови рівноваги $\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum Z = 0$.

Прирівнявши суму проєкцій сил на вісь x нулю, вийде:

$$\left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx\right) dydz - \sigma_x dydz + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy\right) dx dz - \tau_{yx} dx dz + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz\right) dx dy - \tau_{zx} dx dy = 0 \quad (13)$$

Таким же чином будуть змінюватися проєкції сил на вісь y і z . Тут (13) розкривши дужки і скоротивши на dx , dy , dz отримаємо диференціальне рівняння рівноваги в наступному вигляді:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

Для ізотропних матеріалів пари дотичних напружень рівні, тому, число відомих функцій у формулах (14) скорочується до шести, а диференціальних рівнянь є тільки три.

Для напруженого стану в пластичній області гірських порід з достатньою точністю можна розглядати весь процес деформації, що відбувається в одній площині, наприклад в площині xOy , при роботі на стиск гірських порід в конструкціях споруд. Тоді умови в паралельних площинах приймаються однаковими. Так, наприклад, в конструкціях споруд, які піддаються стисненню гірськими породами, для плоскої задачі напруження по одній з осей буває настільки мале, що його можна не брати до уваги.

Для перевірки гірських порід в плоскому або просторовому напруженому стані, можна виготовити зразки-близнюки у вигляді циліндрів висотою в 1,5-2,0 рази більше, ніж діаметр підосви і розмістити всередині трьохосного приладу «стабілометр» і навантажувати з вертикальними $\sigma_1 = \max$ і бічними ступінчастими тисками σ_2 і σ_3 або $\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$ і знімати при різних значеннях $\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$ бічних тисків, $\sigma_1 = \max$ руйнуючих тисків, на основі цих даних побудувати діаграми напруг за допомогою кругів Мора, можна оцінити величини руйнівних напружень.

В умовах плоского напруженого стану і плоскої деформованої схеми пошук значення і знаку напружень в тілі, що деформується істотно спрощується. Так як всі похідні від напружень по одній з осей, наприклад по осі Z , дорівнюють нулю, то диференціальне рівняння рівноваги для плоского деформованого стану має вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

В умовах плоскої задачі компонентами тензора напружень є лише σ_x , σ_{yx} і τ_{xy} , τ_{yx} , а в ізотропному матеріалі $\tau_{xy} = \tau_{yx}$.

Якщо відомі головні нормальні напруження σ_1 і $\sigma_2 = \sigma_3$ з випробувань на «стабілометр», то можна використовувати кола Мора (Рис.3).

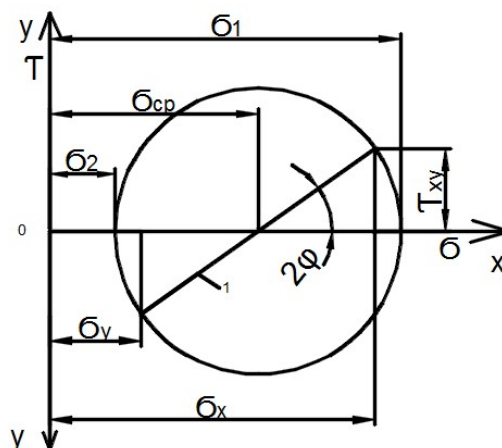


Рис. 3 Діаграма напружень (круг Мора); 1 – головні осі круга Мора

З Рис.3 кіл Мора можна визначити:

$$\sigma_x = \left[\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right] \cdot \cos 2\varphi; \quad (16)$$

$$\sigma_y = \left[\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right] \cdot \cos 2\varphi; \quad (16')$$

$$\tau_{xy} = \left[\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right] \cdot \sin 2\varphi. \quad (16'')$$

де φ - кут між віссю X і головною віссю лінії 1 (Рис.3)

Деформація тіла гірських порід при напруженому стані визначається зміною форми і розмірів його елементарних об'ємів. Для характеристики деформації в заданій точці тіла гірської породи при напруженому стані, застосовуються зміни довжини будь-якого фізичного відрізка, що проходить через цю точку, а також визначати зміни кута між двома довільними прямими, що виходять з цієї точки.

При збільшенні напруги можна спостерігати три області деформації породи: пружну, пластичну і руйнуючу. По виду деформації породи можна розділити на пружну або не пружну, пружно-пластичну і пластичну (пружна деформація незначна).

Переходячи до просторового уявлення на прикладі шпурів, що знаходяться в напруженому стані від енергії вибуху при видобутку корисних гірських порід, деформування елементарного паралелепіпеда визначається сукупністю компонентів деформацій у вигляді подібно тензора напружень, як матриця тензорів деформацій:

$$T_\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{pmatrix} \quad (17)$$

В умовах ізотропії: $\gamma_{xy} = \gamma_{yx}$, $\gamma_{xz} = \gamma_{zx}$, $\gamma_{yz} = \gamma_{zy}$.

За аналогією при напруженому стані з застосування головних осей деформації ε_1 , ε_2 і ε_3 , тензор деформації буде:

$$T_\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Тензори деформації так як і тензори напружень складаються з шарових і девіаторних тензорів деформацій і визначаються за аналогією напружень.

З перерахованого вище можна зробити наступні висновки:

1) Прикладення навантаження або зовнішніх сил на гірські породи, викликають їх напружено-деформований стан, який визначається за допомогою компонентів нормальних і дотичних напружень.

2) Для просторових задач необхідно визначити 9 компонентів, а для плоских задач - 4 компоненти напружень. У разі ізотропії матеріалів треба визначити для просторових задач 6 компонентів, так як пари дотичних напружень рівні, тобто: $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, а для плоских задач за всі 3 компонента напружень. Подібно до напруження визначаються компоненти деформацій.

3) У напруженому, а також деформованому стані гірських порід для оцінки стану досить буде визначити величини максимальних значень нормальних і дотичних компонентів напружень в напрямках діючих навантажень або зовнішніх сил, щоб практично визначити стан конструкцій, що складаються з даних гірських порід.

4) Компоненти напружень, а також деформацій зазвичай визначають на майданчиках, які умовно вирізані у вигляді елементарного паралелепіпеда до якого прикладені компоненти напружень або деформацій по координатним осях x, y, z.

З гірських порід вирізають зразки-близнюки у вигляді циліндра і випробовують в приладі «стабілометр», з них можна визначити головні компоненти σ_1 , σ_2 , σ_3 .

Використовуючи коло Мора обчислюють максимальні або середні значення компонентів напружень. Знаючи компоненти головних напружень можна визначити компоненти напружень по осях x , y , z .

Література

1. Беликов Б. П., Александров К. С., Рьжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. М.: Наука, 1970.-259с.
2. Гениев Г. А. Плоская деформация анизотропной идеально-пластической среды.// Строительная механика и расчет сооружений, 1982, №:3. с.14-18.
3. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1973. – 285с.
4. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – Машиностроение. М.: 1968. – 400с.
5. Павлова Н. Н., Шрейнер Л. А. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. М.: Недра, 1964. – 160с.
6. Самедов А. М. Расчет и проектирование подземных сооружений мелкого заложения (монография) Киев, НТУУ «КПИ», 2013 г, - 851с.
7. Качанов Л. М. Основы механики разрушения. - М.: Наука, 1974. – 312с.

УДК 351.745

L.D. Tretiakova, doctor of technical sciences, prof., L.O.Mitiuk, ph.d., assistant professor
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**THE URGENCY OF THE PROBLEMS OF ACCIDENTS IN THE COAL INDUSTRY
OF UKRAINE**

In this article authors analysed the most common types of accidents that occur in the coal industry of Ukraine, indicate the causes and gave common advices to prevent them

У статті проаналізовано найпоширені типи аварій у вугільній промисловості України, вказані основні причини їх виникнення, запропоновано загальні заходи щодо їх попередження та запобігання.

Between 1999 and 2017 years in Ukraine were 43 large-scale accidents with fatalities, so the issues of labor protection in coal industry remain. After analyzing information from open sources, it is possible to identify the main types of accidents and causes that led to such catastrophic consequences [1].

The last disaster, which rocked the whole of Ukraine was the explosion at the mine “Stapove” in Lvov region, which is considered one of the largest coal mine lining sheets, crashes in western Ukraine, which occurred March 2, 2017 and has led to death of 8 and injury of 23 miners. The explosion occurred on Thursday, March 2, 2017 at 12:46 at the mine number 10 "Steppe" JSC "Lvovugol" in s. Gluhov district, Lvov region on the horizon 550 m, tunnel. At this time in the mine worked 172 miners, including emergency site were 34 miners. As reported at 17:50 on March 2, Head of Lvov Regional State Administration Oleg Synyutkacause the collapse of roadway was a fire, not an explosion, as previously reported. There was a flash of methane. Miners punched a new bench to extract coal. Before the rescue operations were involved in five departments of the State paramilitary mountain rescue service Minenerhovuhillya. There were 50 people and seven vehicles, including DSNS of 20 people and six vehicles were involved. More than two hours had been raised to the surface of the miners.

Mining accidents can have a variety of causes, including leaks of poisonous gases such as hydrogen sulfide or explosive natural gases, especially firedamp or methane, dust explosions, collapsing of mine stopes, mining-induced seismicity, flooding, or general

mechanical errors from improperly used or malfunctioning mining equipment (such as safety lamps or electrical equipment). Use of improper explosives underground can also cause methane and coal dust explosions.

The main reason of accidents in coal mines is methane explosion. It continuously and in large enough quantities allocated in the mine spaces. For the most adsorption of it takes place in the inner surfaces of coal seams. In the free form and not in very large quantities, these gases are directly in the pores of rocks and coal product. One ton of coal can accumulate over 20.0 m³ dangerous gas. What is more, in this case the pressure reaches 4 MPa. Quantitative characteristics of these parameters depend on the depth of the mine. Amount of gas increases the depth of mining. Gas could trigger an explosion, if it reaches the extra-concentration (VKPV - 14%) [2].

The process of evolution of gas is very complex. It is influenced by such factors as the amount of gas in the coal seam, the degree of permeability of the coal product, tectonic changes, structural basis of coal products and other. Production of the gas is a permanent process. It occurs both in the preparatory stages of production, and at the moment of cleaning or promotion slaughter.

So we conclude that if there is no high concentration of methane and ignition sources, the explosion cannot occur. That is why the mines used ways of dealing with methane such as to prevent the formation of explosive mixtures, drainage discharge of fumarole methane, tamping of fumarole, degassing coal beds are also important measures to prevent ignition and explosion of methane (avoid open flames, sparks), and most importantly all the requirements of dust and gas regime mine.

Another reason for the frequency of accidents in mines is the collapse of rocks. In the coal industry of Ukraine probability of accidents due to this phenomenon (16.9%) ranked third after accidents related to gas-dynamic phenomena (28%), but the absolute values of fatal accidents "avalanches and rock collapse" are the main traumatic factors [3]. Unexpected movements of coal ranges usually lead to the collapse not only species, but also to release combustible gases. These phenomena have their own characteristics, such as:

- 1 Mountain range looks like a candle or pocket toward the cavity layer (layer uprising).
- 2 Coal after the collapse forms an angle that is comparable to the hillsides that has a natural form.
- 3 The relative allocation of gas, calculated as a division of the total number during the collapse, to the amount of collapsed coal, does not exceed the value derived as the difference between the natural gas content array and its residual values.

The problem seems widely studied by the scientific community and experts in the field of industrial safety. They noted one obvious feature that leads to the collapse of coal - all of them are the result of pressure formed in mines, and the gravitational processes.

Another cause dangerous accident in mines is a fire. Fire is in all likelihood leading to major economic losses. Costs of liquidation are 80-95% of the costs for the elimination of all accidents in mining enterprises. The origin of the fire is divided into exogenous and endogenous. Exogenous fires have arisen as a result of an external heat source. Endogenous arise as a result of spontaneous combustion of coal and sulfide ores. The most common causes of fires in mines include improper maintenance welding, electrical networks and electrical equipment, explosion mixture of dust, gas and air, overheating friction conveyor belts, bearings and cables [4].

There are three methods of fire suppression, insulation, active and combined. Active mode is the direct impact of extinguishing the fire. Insulation - cessation of air, ie oxygen to the fire. Combined combines active and insulation methods that overlap and influence of oxygen on fire extinguishing fire. Tactics extinguishing underground fires is the environment that is exposed to the fire extinguishing at all approaches and possible distribution. Also one

of the means of preventing fires spreading is reversing the air flow at the site of the fire or the entire mine. Reversing allows you to manage the process of fire and stop its spread [5].

The general fire prevention measures include: developing emergency plans, regular training of all personnel elimination methods of underground fires in the early stages of their development and maintenance of mine rescue units, equipment and apparatus necessary equipment to rescue people and fire suppression.

To sum up, analyzing the most common types of hazards and accidents at coal mines Ukraine can ask a legitimate question: why accidents so high? Theoretically, currently available methods and means of preventing accidents are effectively 80-90% of situations, but the main obstacle is the human factor. The systematic failure of safety, their ignorance, not only mine workers, but led management, which sometimes ignores and violates state standards of Ukraine in the field. In our opinion, management should be proactive in addressing security and monitoring its quality, which will occur in replacement of obsolete equipment with new, monitor the implementation of safety personnel mines, geological data analysis and other important factors.

Literature:

1. Accident in the mines of Ukraine. [electronic resource]. – Access: [http://miningwiki.ru/wiki/ Аварії на шахтах України](http://miningwiki.ru/wiki/Аварії_на_шахтах_України)
2. Impacting factors on Allocation of methane and carbon dioxide in main [electronic resource] – Access: [https:// 1cert.ru/stati/factory-vliayushchie-na-vydelenie-metana-i-dvuokis-ugleroda-v-shakhtnykh-prostranstvakh](https://1cert.ru/stati/factory-vliayushchie-na-vydelenie-metana-i-dvuokis-ugleroda-v-shakhtnykh-prostranstvakh)
3. Provision coal mine security in layers with topncrests [electronic resource]. – Access: [https:// 1cert.ru/stati/obespechenie-bezopasnosti-v-ugolnykh-plastakh-podverzhennykh-obrusheniyu](https://1cert.ru/stati/obespechenie-bezopasnosti-v-ugolnykh-plastakh-podverzhennykh-obrusheniyu)
4. The air in the mine [electronic resource] – Access: [http://ukrbukva.net/page5, 8208-Vozduhoobmen-v-shahte.html](http://ukrbukva.net/page5,8208-Vozduhoobmen-v-shahte.html)
5. Fire protection mines [electronic resource] – Access: [https:// uk. wikipedia.org /wiki / Протипожежний захист шахт](https://uk.wikipedia.org/wiki/Протипожежний_захист_шахт)

УДК 622.235+679.85

Марчук А.Л. магістрант, Кравець В. Г. професор, к.т.н , завідувач кафедри (КПІ ім. Ігоря Сікорського), Поплавський В.А. к.т.н (Національний НДІ промислової безпеки та охорони праці)

**УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЧНИМ ЕФЕКТОМ ВИБУХУ ЗАРЯДІВ
КОНТАКТНОЇ ДІЇ**

Анотація

Розглянуто особливості застосування та детонації зарядів контактної дії. Показано можливість керування бризантною дією накладного заряду через призначення відповідних співвідношень геометричних параметрів заряду. Наведено результати експериментальних досліджень ефективності конічних зарядів при дробленні негабаритних блоків.

Ключові слова: накладний заряд, бризантність, активна маса, конічний заряд, негабарит

Summary

Features of the application and detonation of contact action charges. The possibility of control blasting action plated destination charge through the respective ratios of geometrical parameters of charge. The results of experimental research effectiveness tapered charges by crushing oversized blocks.

Key words: contact action charge, active mass, tapered charge, oversized block

В певних складних умовах ведення гірничих робіт метод накладних зарядів вибухових речовин (ВР) заслуговує на увагу в першу чергу завдяки своїй простоті через відсутність потреби в зарядній виробці. Однак відомо, що доля енергії накладного заряду, яка витрачається цим зарядом на руйнування межі контакту з середовищем, значно менша порівняно з дією такого ж заряду в умовах камуфлету. Оскільки місцева дія заряду визначається рівнем бризантності ВР, простим рішенням щодо збільшення місцевої дії накладного заряду є застосування відповідних високоенергетичних ВР.

Для спрощення задачі визначення ефективних параметрів накладного заряду, вважаємо, що найпростіше формувати такий заряд в циліндричній оболонці. Покажемо, на основі яких фізичних ефектів можливо посилити руйнівну здатність накладного заряду постійної маси, скориставшись результатами робіт [1-3].

Як відомо [4,5], бризантність заряду в першому наближенні оцінюють величиною повного I чи питомого $i = I/s$ (де s – площа контакту заряду з перешкодою) імпульсів при відбитті детонаційної хвилі від перешкоди. У разі плоскої детонаційної хвилі та одномірного руху продуктів детонації повний імпульс визначається виразом:

$$I = \frac{8}{27} s \rho l D = \frac{8}{27} Q D, \quad (1)$$

де s – площа поперечного перерізу заряду; ρ – густина ВР; l – довжина заряду; D – швидкість детонування ВР; $Q = sl\rho$ – повна (загальна) маса заряду.

Вплив густини ВР на величину імпульсу проявляється двічі – за рахунок зміни маси заряду та швидкості детонування ВР згідно з виразом $D = A\rho^n$ [4], де A і n – константи для конкретної бризантної ВР.

Стосовно циліндричного заряду, який детонує з одного торця, а другим контактує з перешкодою, в умовах реального тривимірного руху продуктів детонації на величину імпульсу впливає не повна маса заряду, як це впливає із виразу (1), а тільки маса m_a його активної частини, продукти детонування якої розлітаються в напрямку перешкоди. Отже, для ВР з постійними детонаційними характеристиками величина імпульсів визначається відповідно загальною m_a і питомою $m_{an} = m_a / s$ активними масами заряду. Вбік поширення детонації розлітається 4/9 маси ВР, яка відділяється від загального об'єму. При збільшенні довжини заряду з постійним діаметром d обидві активні маси збільшуються, прямуючи до певної межі. Гранична довжина заряду $l_2 = 9d/4$. У цьому разі гранична активна маса m_{a2} займає об'єм повного конуса з діаметром основи d та довжиною (висотою), рівною граничній довжині активної частини заряду $l_{a2} = 4l_2/9 = d$ (рис.1, а), і становить

$$m_{a2} = \pi d^3 / 12 \quad (2)$$

Якщо $l < l_2$, то активна маса визначається об'ємом зрізаного конуса з довжиною $l_a = 4l/9$, діаметрами великої d і малої $d_1 = h_1 = l_{a2} - l_a$ основ, тобто

$$m_a = \pi \rho (d^3 - d_1^3) / 12. \quad (3)$$

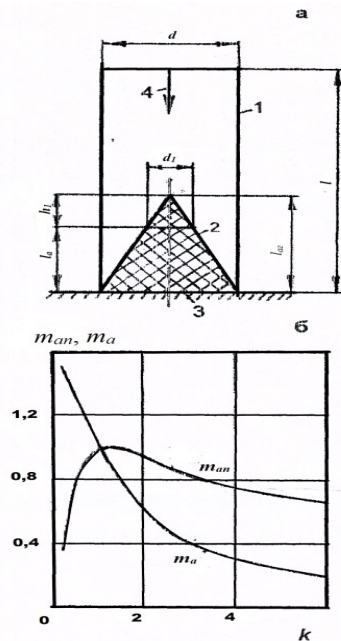


Рис.1. Схема до розрахунку (а) та розрахунків залежності зведених загальної і питомої активних мас заряду від параметра k (б):

1 – заряд ВР; 2 – активна маса заряду; 3 – перешкода;
4 – напрямок поширення детонації

У разі, коли довжина заряду залишається незмінною, а його діаметр збільшується, активна маса заряду теж зростає, асимптотично наближаючись до певної межі.

В обох розглянутих випадках (зміна довжини та діаметра) також змінюється загальна маса заряду, тобто загальні витрати енергії ВР. Цікаво встановити, як змінюється активна маса, а отже, і бризантність циліндричного заряду залежно від величини відношення його довжини до діаметра при постійній загальній масі $Q = \pi d^3 \rho k / 4$, де $k = l/d$. За такої умови одночасно змінюються обидва геометричні параметри заряду – довжина та діаметр, причому їхній вплив різнонаправлений, оскільки l знаходиться в прямій, а d – в оберненій залежності від величини k .

Підставляючи значення $d = (4Q / \pi \rho k)^{1/3}$ у формули (2) і (3) та виконуючи необхідні перетворення, знаходимо вирази для загальної і питомої активних мас заряду: при $k \geq 9/4$

$$m_a = \frac{Q}{3k}, \quad m_{an} = \frac{m_a}{s} = \frac{1}{3} (4Q\rho^2/\pi k)^{1/3};$$

при $k \leq 9/4$

$$m_a = \frac{4}{9} Q \left(1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right), \quad (4)$$

$$m_{an} = \frac{4}{9} (4Q\rho^2 k^2 / \pi)^{1/3} \left(1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right). \quad (5)$$

Щоб виключити загальну масу заряду, отримані залежності подамо у зведеному вигляді: $m_a = m_a / m_{a1}$, $m_{an} = m_{an} / m_{an1}$, де m_{a1} і m_{an1} – відповідно загальна та питома активні маси заряду при $k = 1,0$, тобто коли висота й діаметр циліндричного заряду рівні між собою. Із (4) і (5) при $k = 1,0$ маємо:

$$m_{a1} = \frac{604Q}{2187}, \quad m_{an1} = \frac{604}{2187} (4Q\rho^2/\pi)^{1/2}.$$

За допомогою цих виразів знаходимо формули для зведених активних мас заряду:

при $k \geq 9/4$

$$m_a = 729/604k, m_{an} = 729/604k^{1/3};$$

при $k \leq 9/4$

$$m_a = \frac{243}{151} \left(1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243}\right),$$

$$m_{an} = \frac{243k^{2/3}}{151} \left(1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243}\right) = m_a k^{2/3}.$$

Кожна із отриманих останніх чотирьох формул відповідає тільки вказаним діапазнам k , однойменні з них попарно спрягаються при $k = 9/4$, утворюючи загальні залежності (рис.1, б). Вони свідчать, що зведені активні маси заряду, а отже, і бризантна дія вибуху, суттєво залежать від параметра k . При збільшенні довжини й відповідному зменшенні діаметра циліндричного заряду постійної маси зведена загальна активна маса монотонно знижується із затухаючою інтенсивністю. Питома зведена активна маса має чіткий максимум при $k = 1,3$, рівний 1,0. Значення m_{an} зліва від максимуму зменшуються дуже швидко, справа – повільно.

Отримані закономірності мають важливе практичне застосування: можливість керувати бризантною дією накладного циліндричного заряду постійної маси зміною його геометричних розмірів, тобто параметра k . У тих випадках, коли потрібно забезпечити максимальне питома навантаження на перешкоду, заряд повинен мати $k = 1,3$. Якщо необхідно збільшити загальну бризантну дію вибуху, слід застосувати заряди малої висоти й великого діаметра ($k < 1,3$).

Необхідно зазначити, що для реальних умов використання зовнішніх зарядів встановлені розрахункові залежності можуть зазнавати деякої зміни за таких основних причин. По-перше, при ініціюванні заряду на його осі фронт детонування, на відміну від прийнятого в розрахунковій схемі, не буде плоским і паралельним до поверхні перешкоди. Відхилення від ідеалізованого розрахункового положення фронту збільшується із ростом діаметра та зменшенням довжини заряду. Непостійність кута падіння детонаційної хвилі на перешкоду та неодноразність її приходу до різних точок перешкоди в межах контактної площі позначається на величині бризантності вибуху: вона зменшується при відхиленні напрямку детонування від нормального до перешкоди.

По-друге, зміна розмірів зарядів промислових ВР супроводжується зміною параметрів детонації – швидкості та тиску. До того ж, в коротких зарядах детонація не завжди встигає вийти на стаціонарний режим і при потужних ініціаторах має підвищені параметри.

Випробування конічних зарядів

Промислові випробування конічних накладних зарядів проведено в промислових умовах при дробленні негабариту на гранітному кар'єрі, що розробляє сірі тріщинуваті граніти для виготовлення щебеню [3]. Відповідно до класифікації за тріщинуватістю граніти належать до III і IV категорії, тобто є крупноблочними та дуже крупноблочними. Межа міцності на стискання гранітів змінюється від 80 до 175 МПа, їх густина – 2770-2900 кг/м³.

Вибухове руйнування негабариту традиційно здійснювали шпуровими та зовнішніми зарядами, в тому числі кумулятивними типу ЗКНКЗ-1000 заводського виготовлення. Останні являють собою тротиліві шашки складної форми з напівсферичною кумулятивною виїмкою в нижньому торці й мають вузол ініціювання зверху шашки. Маса зарядів – 1000 г.

З метою одержання достовірної характеристики гранітного негабариту на майданчиках II-IV робочих уступів кар'єру було обстежено 1097 негабаритних кусків, відсортованих екскаватором. З'ясувалося, що серед них відсутні куски завдовжки

менше 0,8 м. Довжина середнього негабаритного куска дорівнює 1,38 м, його ширина – 1,02 м, товщина – 0,72 м, описаний об’єм – 1,18 м³.

На таких негабаритних блоках випробувано заряди амоніту 6 ЖВ у формі зрізаного конуса як найефективнішого із раніше досліджених у полігонних умовах. У ньому кут φ між твірною та основою конуса становив 60°, а параметр $k = 0,3$.

Параметри накладних конічних зарядів визначаються “описаним” об’ємом негабаритних блоків V_H та “описаною” питомою витратою ВР q_H на їх дроблення до необхідної кондиції. Оскільки величина гранітних негабаритних блоків змінюється в широких межах, доцільно мати певний типоряд конічних зарядів, кожен з яких забезпечує кондиційне дроблення блоків, що належать до порівняно вузького діапазону крупності за об’ємом Q_H . Величина q_H залежить від властивостей породи негабаритних блоків, їх форми, величини, ступеня знеміцнення при первинному вибуху, напрямку дії заряду відносно його сторін, а також від розміру кондиційного куска. Зважаючи на це, величину q_H доцільно встановлювати за результатами природних дослідів у конкретних умовах. Загалом маса накладного заряду $Q_i = V_{ni} q_n$. У випробуваннях використовували чотири однакових за формою, але різних за розмірами та масою конічні заряди: їх Q_i становили 0,35; 0,7; 1,2 і 1,9 кг при діаметрі нижньої основи конуса 12, 15, 18 і 21 см відповідно. Конічну форму зарядів забезпечували відповідними оболонками багаторазового використання, виготовленими із цупкого картону. Геометричні розміри зарядів (та оболонки) розраховували за їхньою масою відповідно до такої методики.

Об’єм конічного накладного заряду (оболонки) $V = Q / \rho$, де ρ – густина ВР у заряді. Діаметр нижньої основи конуса

$$d = (12V / \pi k \varphi)^{1/3},$$

де

$$k \varphi = 0,5 \operatorname{tg} \varphi - \left(1 - \frac{2k}{\operatorname{tg} \varphi}\right)^2 (0,5 \operatorname{tg} \varphi - k).$$

Діаметр верхньої основи конуса

$$d_e = d (1 - 2k / \operatorname{tg} \varphi).$$

Висота зрізаного конуса $l = kd$.

При раціональних $k = 0,3$, $\varphi = 60^\circ$ і $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ ці формули набувають такого вигляду:

$$d = 1,84V^{1/3}, \quad d_e = 0,654d, \quad l = 0,3d.$$

На негабаритному блоці завжди розміщували тільки один конічний заряд амоніту 6 ЖВ, масу якого приймали з урахуванням крупності блока. Виготовляли заряди безпосередньо на негабаритних блоках наступним чином.

Оболонку потрібного розміру встановлювали на поверхню блока, заповнювали ВР з одночасним пошаровим ущільненням її дерев’яним штампом до густини близької 1100 кг/м³. Потім заряд (разом з оболонкою) по боковій поверхні обсыпали дрібнодисперсною засипкою (відсів дробильного виробництва) до рівня висоти заряду, оболонку виймали, зверху заряду з незначним зануренням у ВР горизонтально розміщували електродетонатор і весь заряд засипали дрібнодисперсним матеріалом. Слід зазначити, що ущільнений заряд амоніту 6 ЖВ зберігає свою форму після вилучення оболонки та за відсутності обсыпки із дрібнодисперсного матеріалу. Проте вона може бути легко порушена при зануренні в заряд електродетонатора. Щоб цього не сталося і щоб гарантовано збереглася форма заряду, необхідна його обсыпка завтовшки не менше 3-5 см. Вона також доцільна для зниження інтенсивності ударної повітряної хвилі вибуху.

Залежно від величини негабаритного блока кількість кумулятивних зарядів ЗКНКЗ-1000, які розміщували на ньому, змінювали від одного до чотирьох. Установлювали їх, як правило, відокремлено (на певній відстані) один від одного.

Ініціювання накладних зарядів здійснювали електродетонаторами.

За результатами проведених випробувань отримано залежності довжини максимального куска від питомої витрати ВР на дроблення негабариту при використанні конічних накладних зарядів амоніту 6 ЖВ і кумулятивних зарядів ЗКНКЗ-1000 (рис.2). Питома витрата ВР в цих залежностях належить до описаного об'єму негабаритних блоків, тобто його величина занижена порівняно з фактичною питомою витратою ВР настільки, наскільки фактичний об'єм блока менший від описаного об'єму.

Як видно з рис. 2, залежності $l_M(q)$ для випробуваних зарядів дуже близькі, практично збігаються. Це стосується як дисперсійного поля експериментальних точок, так і усереднених залежностей. Отже, руйнівна здатність цих зарядів також практично однакова.

Із отриманих залежностей також видно, що для кондиційного дроблення негабариту ($l_M \leq 0,8$ м) "описана" питома витрата ВР має бути не меншою $0,5-1$ кг/м³ при середньому значенні $0,7-0,8$ кг/м³. Такий широкий діапазон значень питомої витрати ВР, необхідної для забезпечення потрібної кондиції дроблення, саме й відображає різноманітність форми, розмірів негабаритних блоків, напрямків дії вибуху заряду відносно їхніх поверхонь, ступеня їх знеміцнення первинним вибухом і вплив перелічених чинників на крупність дроблення.

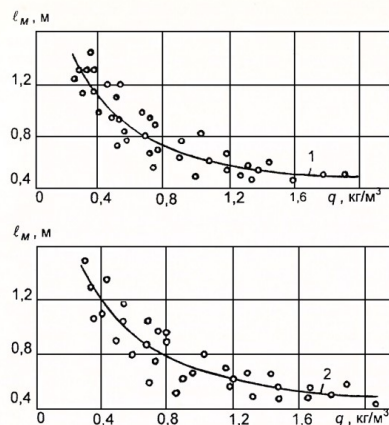


Рис. 2. Залежності $l_M(q)$ для граніту:

1 – конічні накладні заряди; 2 – кумулятивні заряди ЗКНКЗ-1000

Загалом потрібно зазначити, що розроблені накладні заряди в формі зрізаного конуса із амоніту 6 ЖВ забезпечують дроблення негабариту на рівні кумулятивних зарядів ЗКНКЗ-1000 при менших витратах на ВР. Формування таких зарядів вимагає складнішої технології та жорстких оболонки багаторазового використання з листового кольорового металу чи пластику. Засипання зарядів сухим дрібнодисперсним матеріалом у цій технології необхідне для виконання декількох функцій: забезпечення стабільної форми заряду, фіксування електродетонатора зверху заряду, підвищення руйнівної дії вибуху та локалізації ударної повітряної хвилі. Розміщувати конічні заряди, як і будь-які інші, потрібно, за можливістю, в центрі найбільшої поверхні негабариту так, щоб напрямок їх дії збігався з товщиною блока, забезпечуючи мінімальну енергоємність і максимальну інтенсивність дроблення.

При відповідній організації робіт використання цієї технології дає можливість

покращити техніко-економічні показники та безпеку вибухового подрібнення негабариту, а також розширити сферу застосування методу накладних зарядів особливо в обмежених умовах кар'єрів, які розробляють міцні гірські породи.

Бібліографічний список:

1. Поплавский В. А., Гржибовский В. В., Курилович Н. Н. Совершенствование дробления негабарита наружными зарядами / К., 1989 – 36 с. (Препринт АН УССР. Ин-т геофизики).
2. Поплавский В. А., Гржибовский В. В. Повышение бризантного действия наружного заряда / Нетрадиционные технологии взрывных работ. Сб. научн. Трудов АН Украины. От-ние геодинамики взрыва ин-та геофизики. – К.:Наук. думка, 1992. – С. 16-22.
3. Поплавский В. А. Повышение дробящего действия наружных зарядов ВВ / К., 1991. – 32 с. (Препринт АН УССР. Ин-т геофизики).
4. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкевич и др. Под ред. К. П. Станюкевича. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
5. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. В 2-х т. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – Т.2. – 656 с.

УДК 622.235+331.45

Марчук А. Л., магістрант, Кравець В.Г., професор, к.т.н , завідувач кафедри (НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського)

ОСОБЛИВОСТІ ПІДТРИМАННЯ ДЕТОНАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ В ПОДОВЖЕНОМУ ЗАРЯДІ

Анотація: Розглянуто питання підтримання стаціонарного детонаційного процесу в подовженому промисловому заряді. Аналізується вплив систем ініціювання та параметрів проміжних детонаторів на стабільність детонації заряду. Визначено чинники ефективного застосування сучасних систем ініціювання для забезпечення реалізації функціонального призначення свердловинного заряду.

Ключові слова: свердловинний заряд, детонація, ініціювання, проміжний детонатор

Summary: Questions of the maintenance of a stationary detonation process in the extended industrial charge. Analyzes the impact of initiation systems and settings in the intermediate detonators on the stability of detonation of the charge. Defined the factors for effective application of modern initiation systems to ensure implementation of the functional purpose of the borehole charge.

Key words: borehole charge, detonation, initiation, interim detonator

Призначення свердловинного заряду полягає у забезпеченні необхідної ефективності його вибуху в породному масиві. Ефективність вибуху оцінюють величиною (радіусом) зони подрібнення масиву та крупністю породних кусків у ній, а негативні прояви вибуху - розкиданням кусків у навколишньому просторі, ударною повітряною хвилею, сейсмічним ефектом, пило-газовим викидом, екологічною шкідливістю компонентів ВР і продуктів їх детонаційного розкладу тощо. Якісний вибух можливий, якщо збудження детонації та вибухове перетворення ВР свердловинного заряду відбувається в режимі, вищому за критичний.

Кращим режимом вибухового перетворення свердловинного заряду має бути

нормальна стаціонарна детонація по всій його довжині. У цьому разі забезпечуються прогнозовані результати вибуху. На жаль, у більшості сучасних малочутливих ВР, конверсійних порохів і твердих ракетних палив складно отримати нормальний детонаційний процес; найчастіше їх перетворення відбувається в режимі низькошвидкісної нестаціонарної детонації, детонаційно-подібних вибухів, нормального чи конвективного горіння. Такі режими вибухового перетворення свердловинного заряду супроводжуються неякісним дробленням гірського масиву, виникненням відмов заряду та підвищеною шкідливістю продуктів вибуху.

Об'єктивним критерієм нормальної детонації свердловинного заряду є її стаціонарна швидкість D . З нею функціонально пов'язані майже всі термодинамічні параметри вибуху, що визначають його руйнівну дію на породний масив, зокрема теплоту вибуху, детонаційний тиск і середній тиск у свердловині, масову швидкість продуктів вибуху, їх температуру тощо.

Для кожної ВР у конкретних умовах вибуху швидкість детонації є постійною величиною. Однак вона може змінюватися у широкому діапазоні значень залежно від окремого чи сукупного впливу таких чинників, як діаметр d і густина ρ заряду, наявності міцної оболонки навколо заряду, однорідності змішування компонентів сумішевої ВР, зовнішніх умов перебування заряду (температура, вологість, обводнення, породне засмічення, гідростатичний тиск). При постійності всіх інших умов залежність $D(d)$ (рис. 1,а) обмежується мінімальним (критичним) значенням $D_{кр}$, що відповідає критичному діаметру детонації $d_{кр}$, та ідеальним значенням D_i , яке досягається при граничному діаметрі детонації $d_{гр}$. Величина D зростає із затухаючою інтенсивністю при збільшенні d від $d_{кр}$ до $d_{гр}$. Діапазон між $d_{кр}$ і $d_{гр}$ є вузьким для високочутливих ВР і дуже широким для грубодисперсних вибухових сумішей на основі АС. Критичний діаметр детонації не є константою, а змінюється в широких межах залежно від фізичного стану ВР. Для крупнодисперсної, зволоженої та ущільненої ВР він більший, ніж для тонкодисперсної та сухої за оптимальної густини.

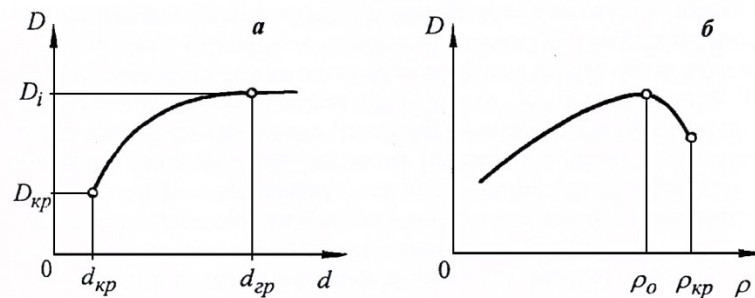


Рис. 1. Схематичні залежності $D(d)$ (а) та $D(\rho)$

Критичний діаметр детонації слугує мірою детонаційної здатності ВР і належить до найважливіших її характеристик - чим він менший, тим вища детонаційна здатність ВР.

Залежності $D(\rho)$ (рис. 1, б) для сумішевих ВР мають екстремальний характер: спочатку з ростом ρ до оптимального значення ρ_0 , що відповідає точці максимуму цієї залежності, D також збільшується, а далі - спадає аж до цілковитого затухання. Густина, що відповідає D_{max} , називають критичною $\rho_{кр}$. Вона теж не є константою, бо залежить від типу ВР, діаметра й міцності оболонки заряду, дисперсності, вологості, якості приготування ВР тощо.

Густина ВР у вертикальному свердловинному заряді зростає пропорційно зміні

гідростатичного тиску у ньому, тобто з віддаленням від його верхнього торця. Ця закономірність сильно проявляється для рідких ВР, особливо емульсійних, сенсibilізованих газогенерацією [2].

Стаціонарність детонації свердловинного заряду неможлива без надійного його ініціювання у породному масиві. В наш час в основному застосовують дві системи ініціювання: на основі детонуючого шнура (ДШ) з проміжним детонатором (ПД) і на основі ударної трубки (детонуючого хвилеводу) з неелектричним детонатором і проміжним бойовиком. Саме вони мають забезпечувати надійність ініціювання свердловинного заряду в усьому можливому діапазоні умов, у тому числі найгірших, передбачених сферою застосування ВР. А це означає, що всі елементи системи ініціювання мають бути збалансовані за чутливістю до сприйняття і передавання ініціюючого імпульсу між собою та ВР в умовах свердловини. Зазначене найбільшою мірою стосується таких контактних пар елементів: ДШ-ПБ, ПБ-ВР заряду у разі застосування системи ініціювання на основі ДШ, а також неелектричний детонатор - ПД і ПД-ВР заряду при використанні ударних трубок. Негативними чинниками впливу свердловинного середовища на надійність передавання ініціювального імпульсу між зазначеними парами елементів є вологість, обводнення, гідростатичний тиск у свердловині, її породне засмічення та час перебування заряду ВР у ній до моменту вибуху.

Внутрішньосвердловинна система ініціювання на основі ДШ під час детонування негативно впливає на детонаційну здатність та енергію вибуху малочутливих ВР внаслідок так званого бічного ефекту ДШ: при вибуху ниток ДШ поблизу них ВР може загорятися, не переходячи в детонацію, а віддалік від них - ущільнюватися, знижуючи свою чутливість, через що виникає низькошвидкісна, а отже, неповна детонація заряду, обумовлена поширенням фронту детонації від ПД. Негативний вплив вибуху ниток ДШ тим вищий, чим вищою є його потужність. Як відомо, бічного ефекту не має система ініціювання на основі ударних трубок.

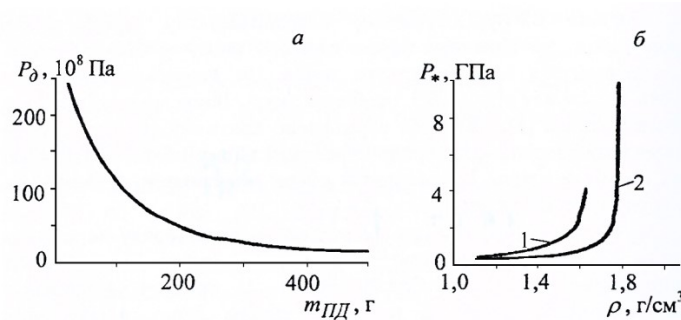


Рис. 2. Залежності $P_d(m_{ПД})$ стехіометричної суміші гранульованої АС з дизельним паливом [6] (а) та $P(\rho)$ для зарядів діаметром 20 мм тротилу (1) і гексогену (2) [4] (б)

Для малочутливих ВР виключно важливим з позицій повноцінного та надійного ініціювання свердловинного заряду є правильне обґрунтування параметрів мінімального проміжного детонатора. Основним його параметром вважають детонаційний тиск ПД $P_d = \frac{\rho D^2}{(n + 1)}$, де n - показник політропи продуктів

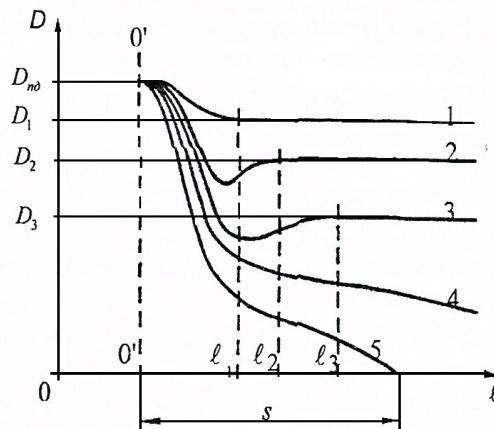
детонування ПД. Як видно, він сильно залежить від швидкості детонації ПД. Для досягнення високих значень P_d використовують, як правило, потужні індивідуальні ВР чи їхні суміші у пресованому чи литому стані. Іншим параметром ініціювального

імпульсу с його тривалість, яка, у свою чергу, зростає при збільшенні маси $m_{\text{ПД}}$ ПД. Між $P_{\text{д}}$ і $m_{\text{ПД}}$ мінімального ПД за незмінності інших його параметрів існує тісний нелінійний зв'язок: зі збільшенням маси тиск зменшується з поступово затухаючою інтенсивністю [3] (рис. 2,а). Кожній конкретній ВР властива своя залежність $P_{\text{д}}$ ($m_{\text{ПД}}$). Характерним є те, що критичний тиск P^* ініціювання ВР сильно зростає при збільшенні її густини (рис. 2, б), тому малоцільні заряди однієї і тієї ж ВР ініціюються легше, ніж високоцільні [1].

Геометрія ПД теж впливає на його ініціувальну здатність. Важливим чинником впливу на ініціювання свердловинного заряду є співвідношення між діаметром ПД і свердловини.

Найкращі умови ініціювання досягаються за умови рівності чи близькості цих діаметрів. Саме у цьому разі найлегше забезпечується перетиснутий режим ініціювання з реалізацією найменшої довжини $O'l_1$ перехідного ініціувального процесу (крива 1 на рис. 3), який виходить на стаціонарний режим детонування заряду з високим значенням D_1 . У разі малих діаметра чи маси ПД на профілі швидкості ініціувального процесу виникає провал певної глибини (криві 2 і 3), після якого D зростає до відповідних стаціонарних рівнів, наприклад D_2 і D_3 , що є нижчими за D_1 . Довжина перехідних ініціувальних процесів $O'l_2$ і $O'l_3$ перевищують $O'l_1$. Якщо ініціувальний процес не виходить із провалу, то вибухове перетворення ВР свердловинного заряду поступово затухає, поширюючись на певну довжину s (криві 4 і 5). Для сучасних малочутливих ВР довжина s може бути значною - перші десятки діаметрів заряду.

Звідси очевидно, що найкращим є перший режим ініціювання-детонування свердловинного заряду, бо він забезпечує високу надійність вибуху. Режими 4 і 5 не слід допускати, оскільки вони спричиняють відмови вибуху зарядів.



**Рис. 3. Схеми перехідних процесів від проміжного детонатора у
циліндричному заряді ($D_{\text{ПД}}$) - швидкість детонації ПД)**

Наведені явища певною мірою стосуються будь-яких типів ВР - сипучих, наливних і конверсійних. Тому методики вирішення цих завдань розглядаються в загальному плані, а можливі специфічні особливості їх стосовно окремих типів ВР буде виокремлено спеціально.

Для вирішення завдання дослідження швидкісних режимів вибуху в свердловинному заряді принципово придатні як дискретні, так і неперервні методи визначення D . Але більш доцільними слід визнати неперервні методи, бо вони дають можливість точніше фіксувати особливості нестационарного швидкісного вибухового перетворення ВР уздовж свердловинного заряду. Характерні схематичні профілі швидкості детонації (графіки зміни D з відстанню l від проміжного детонатора вздовж заряду) наведено на рис. 3. Високошвидкісна детонація (крива 1) свідчить про хорошу

збалансованість характеристик ПД і ВР між собою. Цей режим ініціювання детонації є бажаним.

Крива 3 відповідає затухаючому режиму вибухового перетворення заряду на довжині l_3 . У ньому не збалансовані між собою властивості ВР заряду та ПД. Такий режим не має бути реалізованим на практиці. Якщо ж з якихось причин його все-таки треба застосовувати, то безвідмовності вибуху свердловинного заряду можна досягти, збільшивши кількість n проміжних детонаторів у заряді: $n \approx l/2l_1$, де l_1 - довжина ділянки затухаючого процесу, на якій ще забезпечується необхідна функціональна дія вибуху.

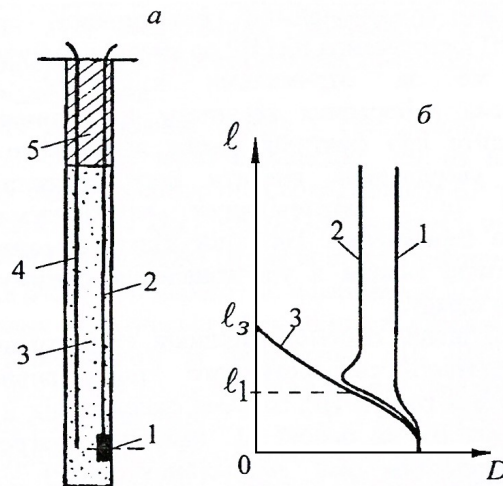


Рис. 4. Вертикальний розріз свердловинного заряду (а) та характерні профілі швидкості детонації вздовж свердловинного заряду (б): а: 1 - проміжний детонатор; 2 - ударна трубка; 3 - заряд ВР; 4 - реостатний датчик; 5 - забивка заряду; б: 1 - високошвидкісна стаціонарна детонація; 2 - низькошвидкісна стаціонарна детонація; 3 - затухаючий процес.

Вона потребує відповідного обґрунтування, виходячи з якихось додаткових умов, наприклад, з властивостей природного масиву та вимог до інтенсивності його дроблення. У реальному свердловинному заряді вигляд кривих $D(l)$ може бути набагато складнішим залежно від свердловинних умов і фізичного стану заряду.

Бібліографічний список:

6. Физика взрыва / С.Г.Андреев, А.В.Бабкин, Ф.А.Баум и др./Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное.– В 2-х т. – Т.1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 832 с.
7. Поплавський В.А. Проблеми безпеки вибухової справи на кар'єрах. – К.: ННДІПБОП, 2009. – 160 с.
8. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах/ Пер. с англ. – М.: Недра, 1980. – 453 с.

УДК 679.85

Сідоров О.М. аспірант

Малий В.В., магістрант

Житомирський державний технологічний університет

Коробійчук В.В. к.т.н., доц.

НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ДЕКОРАТИВНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛАБРАДОРИТУ

В публікації розглянуто вплив температури на декоративні властивості природного каменю. В роботі досліджувалися 5 родовищ лабрадориту. Встановлені залежності зміни блиску та розповсюдження ультразвукової хвилі від температури

The publication considers the effect of temperature on the decorative properties of natural stone. Five fields of labradorite were investigated. Dependences of the brightness variation and the propagation of an ultrasonic wave on the temperature

Природний камінь широко використовується у всіх сферах нашого життя. Відомо, що вогонь та висока температура шкідливо впливає на структуру облицювального каменю та на його фізичні властивості. Багато вчених [1–5] присвятили свої праці з впливу високої температури на фізико-механічні властивості різноманітних будівельних матеріалів. Переважна більшість експериментів були проведені при температурі до 1000 °С. У даній роботі було досліджено вплив термічної обробки на фізико-механічні властивості лабрадориту. Експериментально досліджувались зразки з п'яти різних родовищ лабрадориту, з метою вивчити вплив температури на естетичний вигляд та довговічність каменю. Зразки були нагріті в діапазоні пікових температур від 20 °С до 900 °С при атмосферному тиску. Були зроблені вимірювання блиску (рис. 1) та швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль (рис. 3). Дане дослідження підтвердило значний вплив температури на фізичні властивості і наочно показує різницю фізико-механічних та хімічних властивостей лабрадориту з різних родовищ.

Зразки нагрівалися до 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 °С, а потім охолоджувалися до кімнатної температури для фіксування отриманих ушкоджень. При нагріванні матеріалу до 200 °С змін не спостерігалось, а вже з 300 °С на зразках під № 2 і 3 відбулися перші зміни на полірованій поверхні каменю. При 400 °С зразок під № 1 помутнів, зразок № 3 втратив свою іризацію, а на 5-му видозмінився ільменіт. При відмітці 500 °С спостерігаємо краще виражений блиск та тріщинуватість, зразок № 1 майже не змінився, на зразках № 2, 3, 5 з'явився блиск від ільменіту. Після нагріву до температури 600 °С іризація лабрадориту спостерігається на зразках № 3 та 5. Найменше виділилося рудних темних мінералів на зразку № 1. З рис. 1 видно, що на всіх зразках відбувається зниження блиску.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

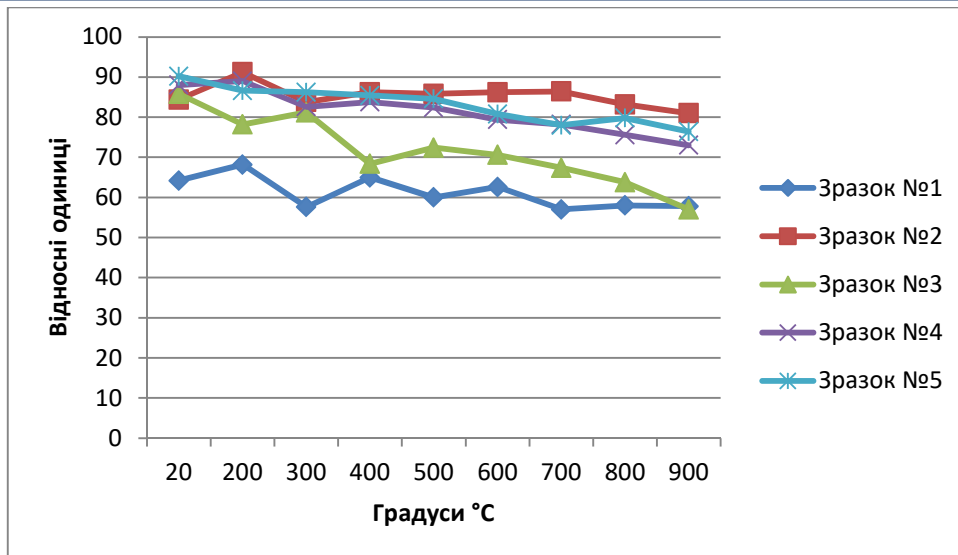


Рис. 1. Зміни блиску в залежності від температури.

зразок № 1 – Очеретянське родовище; зразок; № 2 – Невирівське родовище; зразок № 3 – Осниківське родовище; зразок № 4 – Очеретянське I родовище; зразок № 5 – Катеринівське родовище

За допомогою блискоміра, було зроблено п'ять вимірів, які усереднили і занесли до графіку. Оцінивши наші результати, стало відомо, що зразок № 1 втратив 6,4 в.о., зразок № 2 втратив 3,1 в.о., № 3 втратив 28,8 в.о. № 4 втратив 15 в.о. і № 5 втратив 13,8 в.о. (рис. 2).

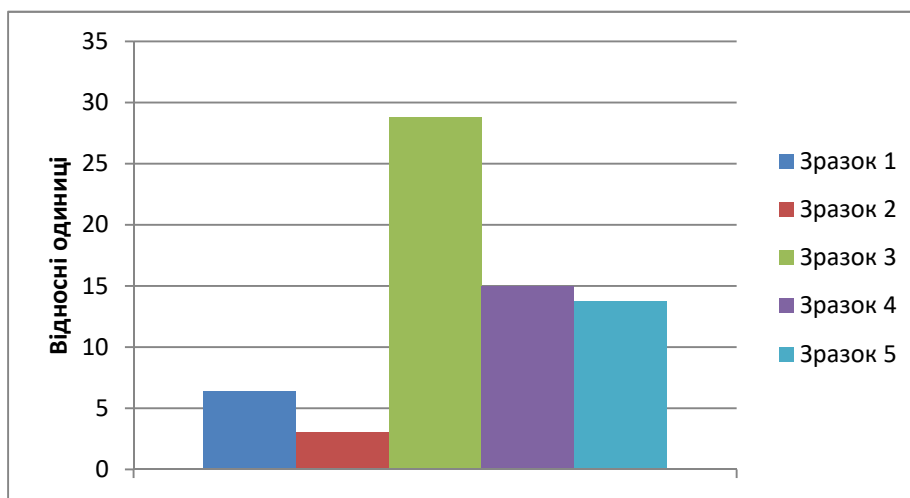


Рис. 2. Результати втрати блиску при нагріванні до 900 °C.

зразок № 1 – Очеретянське родовище; зразок; № 2 – Невирівське родовище; зразок № 3 – Осниківське родовище; зразок № 4 – Очеретянське I родовище; зразок № 5 – Катеринівське родовище

Вимір швидкості розповсюдження, ультразвукових хвиль, дало змогу оцінити ступінь пошкодження зразків. Для цього було використано ультразвуковий прилад УК-14М, котрий мав ручку з базою 12 мм. Було виконано два виміри, які були усереднені та занесені до рис. 3.

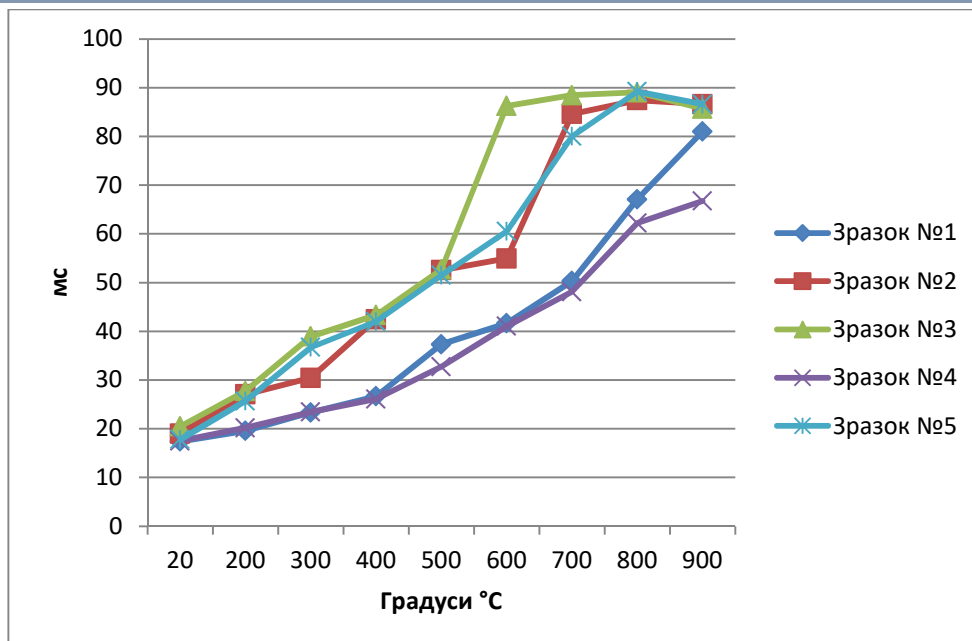


Рис. 3. Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль.
зразок № 1 – Очеретянське родовище; зразок; № 2 – Невирівське родовище; зразок № 3 – Осниківське родовище; зразок № 4 – Очеретянське I родовище; зразок № 5 – Катеринівське родовище

Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль рівна 50 мс є своєрідною межею, яка свідчить про цілісність матеріалу. Це пояснюється між молекулярним зв'язком. Отже, якщо в матеріалі відсутні тріщини, то швидкість розповсюдження звуку буде максимально високою. І навпаки, якщо матеріал був пошкодженим, має безліч тріщин, то швидкість знижується. На (Рис. 3) добре видно, що зразки під № 1 та 4 – Очеретянські родовища є більш стійкими до нагрівання, ніж зразки з № 2, 3, 5.

Висновки. Таким чином, можна зробити наступні висновки: лабрадорит з Невирівського родовища (зразок № 2) продемонстрував найкращий результат впримірі блиску, втративши лише 3,1 в. о.; в той час як лабрадорит Осниківського родовища (зразок № 3) втратив 28,8 в. о. і є найгіршим результатом. При вимірі швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль, зразки № 1 та 4, продемонстрували високу стійкість до терморуїнування.

Бібліографічний список:

1. Chakrabarti B. Effect of fire damage on natural stonework in buildings / B. Chakrabarti, T. Yates, A. Lewry // Construction and Building Materials. – 1996. – Т. 10. – №. 7. – С. 539-544.
2. Ozguven A. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones / A. Ozguven, Y. Ozelik // Engineering Geology. – 2014. – Т. 183. – С. 127-136.
3. Chaki S. Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions / S. Chaki, M. Takarli, W.P. Agbodjan // Construction and Building Materials. – 2008. – Т. 22. – №. 7. – С. 1456-1461.
4. Takarli M. Temperature effects on physical properties and mechanical behavior of granite: experimental investigation of material damage / M. Takarli, W. Prince-Agbodjan // Journal of ASTM International. – 2008. – Т. 5. – №. 3. – С. 1-13.

5. Коробійчук В.В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2012.–№ 1 (60). –С. 123–126

UDK 622.235

TATIANA DETSEL, student,
ILJA NESTERKOV, student,
VIKTOR KRAVETS, DSc, professor,
ANATOLI GHAN, PhD, ass. Professor,
(The National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute named Ihor Sikorski”)
ROMAN ZAKUSYLO, PhD, senior lecturer,
(Shostka Institute of Sumy State University)

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DETONATION PROCESSES IN THE SHOCK-TUBES

Abstract

The paper presents the results of studies of low-speed detonation processes in shock-tubes. The complex methodology of experimental studies of basic performance of the tubular detonating waveguide providing a sufficient degree of accuracy with an error of no more than 5% is applied. The mechanism of initiation by an electric explosive, development and low-speed damping of the shock front in the fiber cladding material deposited without explosives and detonation formation process along the length of the waveguide with a deposited layer of explosives is established. The points of its nucleation and growth to maximum velocity of detonation in the area of 0.5 m length and maintaining it at a constant level over the whole length in the range of values (for test samples) of about 1000 m / s are fixed.

Keywords: Low-speed detonation; shock-tube; electric explosion; strain gauges; waveform

Introduction

Using the example of the USA as the leading consumer of industrial explosives and their means of explosives, one can notice the spread of new types of non-electric initiation systems of well and blast-hole charges, which are based on the movement of shock waves channel [1-2]. They are characterized by high security, ease of use, provide a trouble-free blasting under the most difficult geological conditions and permit the development of the circuit short-delay

Blasting with wide ranges slowdowns intervals. The best known system is “nonel”, which has structure based on a hollow plastic cord – waveguide, which inner surface is coated with a layer of an explosive reaction mixture [3-7]. during the initiation, this mixture decomposing the waveguide channel in the atmosphere forms and supports a shock wave (sw), which moves at a speed of about 2000 m/s, regardless of its length [8-10].

Methodical positions of laboratory researches.

The object of research is a coaxial polyethylene sheath. it is a tube of circular cross-section with an external diameter of 3.2 mm, an inner diameter of 1.3 mm. These values were obtained using the MBS-156 microscope with magnification. The length of the tubes studied varied from 150 to 1000 mm depending on the purpose of experiments. physical and mechanical properties of the tube material: polyethylene with a density $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$; modulus of elasticity $E = 0.76 \cdot 10^9 \text{ Pa}$; poisson's ratio $\nu = 0.4$. Two types of plastic tubes have been investigated. some tubes were without internal coatings and others have explosive - hexogen sprayed uniformly on the inner surface of the tube at a flow rate $25 \cdot 10^{-6} \text{ kg / m}$ of

tube length. It should be noted that the observations of spraying the explosive under a microscope indicates that it contains grains of explosive up to 0.3 mm with a grid of locations around 1.8×2 mm. Subsequently, a polyethylene tube with explosive sprayed onto the inner surface will be called shock-tube. investigations were performed in a pilot plant designed for this purpose. The length of the test tube with plastic was placed on a flat surface of the wooden panel, to which it was attached by clamps. At a distance of 10 - 15 mm from the start of the tube through small holes pierced with a needle, thin (0.07 mm diameter) copper wires of 15 mm long were placed. Their ends outside of the shock-tube were soldered to the central conductor of the coaxial high-voltage cable. The high voltage from pre-charged capacitors of discharge unit was applied to them at a specified moment. In the electric discharge unit as an energy storage device, high-voltage capacitors of type IMK-25-12 with total capacity $4.8 \cdot 10^{-6}$ C are used. The pressure pulse inside a polyethylene tube was created at the moment of electric explosion of the conductor, thus the forming gap was shorted mechanically. The period of oscillation process, generated by an electric explosion of conductor equaled about 10^{-4} sec $\pm 20\%$ The opposite end of the polyethylene tube was closed by piezoceramic pressure sensor leaning against it with a clearance of 0.15 mm.

The sensing element of a piezoceramic sensor PZT-19 with a thickness of 0.3 mm and a size 1×1 mm was soldered to the coaxial high-frequency antivibration cable AvK-3 with silvered flat surface of the piezoelectric element arranged perpendicular to the axis of the cable. After the acoustic protection of the side surfaces of the sensor and filling with a mixture of epoxy, pressure sensor had the shape of a cone, the base of which was an area that takes the action of the pressure wave. So that pressure sensor does not react to pressure waves, which propagate along the shock-tube material, It is installed at the same distance. when calibrating the pressure sensor, the correspondence between sensor value in millivolts and pressure value in a wave propagating through the channel of the diaphragm shock tube was established.

The shock tube used for the calibration of sensors, has a rectangular internal section 210×140 mm. The chamber and the channel filled with air at atmospheric pressure are separated by diaphragm, which is the material selected depending on what intensity of wave is desired to obtain. The air chamber is pumped to a pressurized breaking through the diaphragm. By measuring the propagation velocity of the direct shock W1, the ratio allows us to calculate the value of the pressure jump, which acts on the calibrated sensor and produces an electrical signal of a fixed value. To measure the time of passage of the shock wave of a predetermined distance, the sensor, which allows us to measure the velocity of the wave with an accuracy of $\pm 2\%$, was used. Temperature measurements were needed to determine the speed of sound in the air a_1 at which the wave moves. According to the oscillograms, profile of the pressure wave was fixed, then the signal of calibrated sensor was measured in volts with precision of $\pm 5\%$. Thus, for each sensor sensitivity was defined as a number which indicates which sensor gives a signal in volts when acted upon by a pressure wave with certain amplitude (in experiments about 105 Pa). The relative error of calibration was about 10%. Specificity of fixing pressure wave, which moves by inner bore of small diameter polyethylene tube (1.3 mm), allows a pressure sensor to be placed just with overlapping the end cutting of the tube.

Therefore, sensor calibration was performed with a similar sensor placed at the end of a small (20 - 50 mm) length of the spent tube eT, the other end of which was entered in the channel of the shock tube through the orifice hole in the end steel plate. Varying length of the tube in the range of 20 - 50 mm does not make significant changes in the waveform calibration of pressure waves. in addition to the calibrated pressure sensor relatively small (1×1 mm) plates of piezoceramic sensor pZT 19 of 0.3 mm in thickness, glued to the outer surface of the plastic tube, were used in the experiments. The signals from the sensor were removed with the help of short lengths of thin copper wires 0.1 mm in diameter; they were soldered to the silvered surfaces of the piezoceramic plates at one end and to the coaxial cable

antivibration AVK-3 at the other end. The electrical signals obtained when deformation of the sensor were applied to the electron type s9-8 oscilloscopes with digital readout of the time coordinate. The use of two piezoceramic plates with a known distance between them made it possible to calculate the average speed of the shock wave propagation through the tube between the piezo elements with an error of approximately 5%.

After registration of parameters in the detonation process of shock-tube, polyethylene tube is used again. With each new experiment, the wire with identical size was set; it initiated the trigger pressure pulse at electric explosion. In the first experiments, the nature and speed of propagation of the pressure wave moving through the channel shock-tube were determined. In ten experiments, electric explosion of standard conductor of length 15 mm was performed not in the middle of the tube, but at 3 - 35 mm from its end, gummed beforehand with thin rigid plate approximately 5 mm in diameter. This pulse did not produced detonation before the process in the inner channel shock-tube, but generated a weak longitudinal pressure waves, which speed (D) was also calculated from the known distance between the piezoelements and the time interval between waveform characteristic points. Fixing deformations of polyethylene shock-tube was performed with using strain gauges of type 5P11-200-b-12 (base is 1 mm, gauge factor - $K = 2.12$), included in the potentiometric circuit. Strain gauges are glued to the outer surface of the tube in the circumferential direction so that the propagation of the detonation process sensor data allowed registering a deformation of circumferential outer surface of the tube and hence determining the variation of the radial displacement tube wall in time. The signals from the strain gauges were applied to storage oscilloscopes S8-13 and S8-17.

Regularities of low-speed detonation processes in domestic samples of shock-tubes

Typical waveforms that were recorded by oscilloscopes S9-8 when submitted signals with piezoceramic plates glued on the outer surface of the shocktube are shown in figure 1 a, b. The distance between the piezo elements is (50 ± 1) mm, signal arrival time is counted from the characteristic waveform points with an error of $\pm 10^{-6}$ sec.

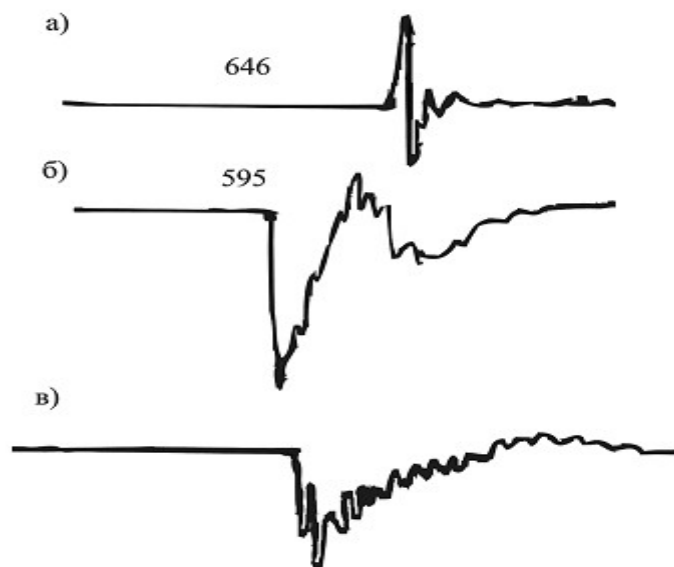


Figure 1. Type of signals: a, б - from piezoceramic side plates; в - from mechanical piezoceramic pressure sensor

Figure 1 shows the waveform recorded by mechanical pressure sensor for initiating the process of detonation in a shock-tube length of 1 m. The first pressure peak with an increase in pressure for 1 microsecond in seven experiments had values $(20 \pm 5) \cdot 10^5$ Pa. In another peak for a few microseconds, the pressure increases to $25 \cdot 10^5$ Pa, followed by decline in about $150 \cdot 10^{-6}$ sec.

Results of measurements of speed detonation inner bore shock-tube at different

distances from the source of the explosion are shown in figure 2. Experiments performed using 0.5 m (1) and 1.0 m (2) length tubes. In the initial zone of origin of the detonation process, it is impossible to perform the measurement because of the large electrical interference, which arises on the channels of the recording apparatus due to electric discharge. Experiments show that after the electric explosion mechanical process of transformation of the explosive sprayed on the inner surface of the shock-tube is happening with increasing speed in the channel shock-tube of half-meter length (acceleration phase). The detonation process occurs further at a constant speed of about 1000 m/sec. Thus, it can be concluded that the pre-detonating process of decomposition of sprayed explosive for this shock tube occurs at an interval of 0.5 m from the initiation point.

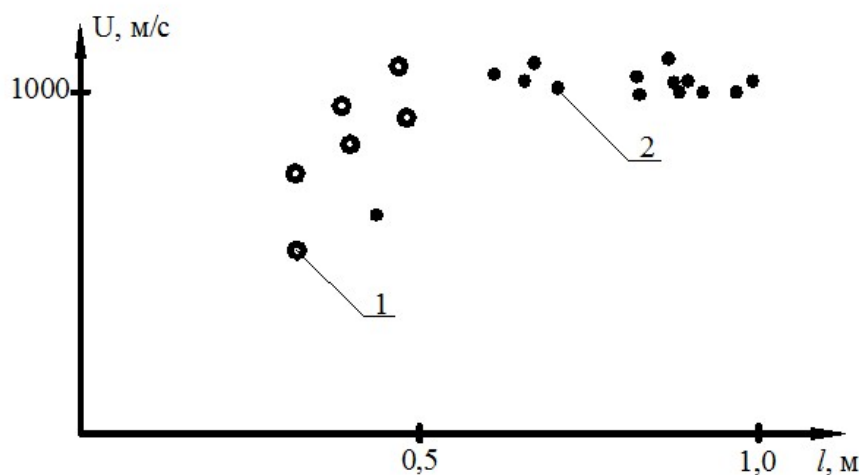


Figure 2. The speed of the detonation wave: 1 - in a tube 0.5 m in length; 2 - in a tube 1.0 m in length

The graphs in figure 3 show the waveforms of the polyethylene tube ST deformation process at a distance of 0.44 m from the point of initiation.

The bottom waveform shows the deformation of the outer surface of the tube sT in the process of propagation of the detonation wave. The upper curve, which represents the dependence of the surface of the tube deformations on the time, was recorded by the same sensor that recorded the pressure wave at the time of ST detonation by electric explosion. signal evaluation with different sensitivity channels showed that their values differ by 20 times. Thus, it can be concluded that the errors in measurement of sT deformations arising due to the action of electric explosion at distances greater than 0.44 m from the initiation point are not higher than 5%.



Figure 3. The oscillograms, fixing process of deformation of the tubular shock-tube: 1 - when

the action of the shock wave; 2 - when the action of the detonation wave for comparison,

In figure 4 the same scale waveforms of sT tube deformation at distances of 0.28 meters (fig. 4 a), 0.4 m (fig.4 b) and 0.9 m (fig. 4) from the initiation point are given. The pre-detonating combustion process and the formation of the detonation wave in the channel of the detonating cord are clearly traceable. Amplitude value of strain gage signal increases, the front becomes steeper; the total duration of the signal is reduced. At a distance of 0.9 m from the electric discharge, where the detonation process is definitely stabilized, the average value of the circumferential deformation reaches $0.5 \cdot 10^{-3}$, and the pulse duration was $4 \cdot 10^{-4}$ s.

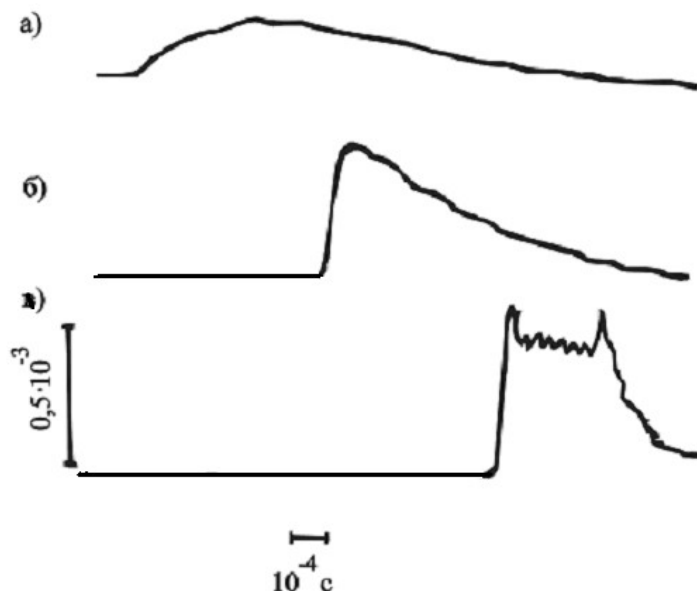


Figure 4. The oscillograms of deformation of the tubular waveguide at a distance from the initiation point: a) – 0.28 m; b) - 0.4 m; в) – 0.9 m

These materials have primarily methodological importance, as they can serve as a basis for further research to establish a reliable means of a non-electric safe initiation blast-hole charges and quality control. As the analysis of the results, the complex technique of laboratory research provides a definition of the basic performance waveguide type “Nonel” a sufficient degree of accuracy - measurement error preferably does not exceed 5%.

Analysis of research results in comparison with known samples, investigated shock tube has a significantly lower detonation velocity. This is due to the size of the sprayed particles of the explosive. with regard to the strength of the waveguide’s sheath and quality of explosive spraying on the inner surface of the polyethylene tube, a sufficiently high level of stability is confirmed and obtained in a series of experiments detonation waveguide parameters. Energy fluctuations of initiating electric explosion almost have no effect on the length of the acceleration of a detonation wave in the waveguide, which amounted to about 0.5 m.

Furthermore, the pressure pulse at the opposite from the site of initiation end of waveguide (2.0 - 2.5 MPa) is entirely sufficient to initiate detonation in a special intermediate primers. The relatively low detonation velocity (1000 m / s) allows using the shock-tube as an element of short slowdowns and forming explosive network with the necessary steps variable decelerations with less consumption shock-tube.

Conclusions. Application of the complex method of experimental studies of basic performance characteristics of the tubular waveguide detonating provides a sufficient degree of error of 5% and can serve as a basis for further research to establish a reliable and secure means of initiation industrial charges.

The mechanism of initiation of electric explosion, development and low-speed

damping of the shock front in the waveguide's sheath material without deposited explosives and formation of detonation process along the length of waveguide with a deposited layer of explosives was established.

The points of nucleation and growth to maximum velocity of detonation in the area of 0.5 m (acceleration zone) are fixed maintaining it at a constant level over the whole length within the range of about 1000 m/s. At the output of the shock wave from the waveguide, peak pressure at the front end is about 2.5 MPa at times of pressure rise and fall - 1-2 microseconds and 150 microseconds respectively. strain gages, used in the experiments with the base 1 mm and glued on the outer surface of waveguide, fixed circumferential deformation the shell in time with a relative error 5%.

Registered gage signals at a fixed distance from the entry end of the tube allows obtaining time and amplitude parameters of deformation process in the shock and detonation mode with a guaranteed opportunity to distinguish between the time and the process for passage of the shock wave tube by electric explosion and of a detonation wave from the explosion of dusty explosive mixture in the channel waveguide.

REFERENCES

1. Baron V.L., Kantor V.Kh. (1989) *Tekhnika i tekhnologiya vzryvnykh rabot v SShA* [Technique and technology of blasting in the USA]. Moscow: Nedra. 376 p.
2. Zakusylo R.V., Kravets V .H., Korobiichuk V .V. (2011) *Zasoby initsiiuvannia promyslovykh zariadiv vybukhovyykh rehovyn* [means of initiation industrial charges of explosives: monograph]. Zhytomyr state Technological university, ational Technical university of ukraine "igor sikorsky Kyiv polytechnic institute". Zhytomyr: Zhytomyr state Technological university. 208 p. Available at: <http://kpi.ua/en/about#sthash.vnAlewnf.dpuf>. –
3. Graevskiy M.M., Kutuzov B.N. (2000) *Tekhniko– ekonomicheskoe sopostavlenie elektricheskikh i neelektricheskikh sistem initsiirovaniya zaryadov vv* [Technical and economic comparison of electrical and non-electric systems for initiating explosive]. *Gornyy zhurnal* [Mining journal]. No5, p.p. 54–59.
4. *Instruktsiya po ekspluatatsii systemy "nonel"* [instruction manual for the "nonel" system]. swedish national Testing and Research institute. 1998. 55 p.
5. Bykov D.H., Frolov O.O. (2000) *Perspektyvy vykorystannia neelektrychnoi systemy initsiiuvannia "nonel - Yunidet" v umovakh vAT "poltavskiy hZK"* [prospects for the use of nonelectric initiation system «nonel - unidet» in terms of «poltava gOK»]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «KPI». Seriiia "Hirnytstvo"* [Journal of the national Technical university of ukraine "Kpi". A series - "mining"]. No 3, p.p. 69-71.
6. Guzya A.N. (1983) *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i elementov konstruktsiy* [mechanics of composite materials and structural elements]. Kyiv: Naukova dumka, Vol. 3. 264 p.
7. Kravets V .H., Frolov O.O., Marharian A.Z. (2003) *eksperymentalni doslidzhennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk khvylevodu systemy initsiiuvannia typu «nonel»* [pilot studies of operational characteristics of a waveguide of initiation system of type "nonel"]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «KPI». Seriiia "Hirnytstvo"* [Journal of the national Technical university of Ukraine "KPI". A series - "Mining"]. No 9, p.p. 59-66.

УДК 622.236.9 + 622.271.2.

В. Г. Кравець, д.т.н., проф., **А. І. Ковтун**, асистент, **М.І.Бельтек**, студент (НТТУ «КПІ»)

ФОРМУВАННЯ ТРІЩИНИ ВІДРИВУ ПРИ ВИДОБУТКУ АНІЗОТРОПНОГО БЛОКОВОГО КАМЕНЮ

V. Kravets, A. Kovtun, M. Beltek (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

THE FORMATION OF SEPARATION CRACKS BY EXTRACTION OF ANISOTROPICAL BLOCK STONE

Проаналізовано особливості керування напрямом тріщиноутворення в шпурах при відділенні кам'яних блоків з використанням невибухових руйнуючих сумішей (НРС) в комплексі з технологічними агрегатами, які включають в себе пластини-вставки. Визначено умови розвитку тріщини розколу відносно осей анізотропії з максимальною чи мінімальною міцністю, а також умови неможливості керування напрямом розколу.

Ключові слова: *невибухова руйнуюча суміш (НРС), шпури, агрегат з пластинами-вставками, анізотропія породи, напрямок тріщиноутворення.*

Проанализированы особенности управления трещинообразованием в шпурах при отделении каменных блоков с использованием невзрывчатых разрушающих составов (НРС) в комплексе с технологическим агрегатом, который включает пластину-вставку. Определены условия развития трещин раскола относительно осей анизотропии с максимальной или минимальной крепостью, а также условия невозможности управления расколом.

Ключевые слова: *Невзрывчатые разрушающие составы (НРС), шпуры, агрегат с пластинами-вставками, анизотропия породы направление трещинообразования.*

It was analyzed management features of cracking in cords of granite blocks using non-explosive and destroying mixtures (NDM) in combination with technological units, which include plate inserts.

Were established conditions of crack split on orthotropic axes with maximal, minimal strength, and also conditions impossibility of controlling the direction of split, when at the same time there are equal probabilities of crack on both orthotropic axes at once.

Keywords: *non-explosive and destroyed mixture (NDM), cords, unit with plate inserts, orthotropy of strain, direction control of cracking*

Вступ. Природний камінь має кристалічну структуру, яка обумовлює в різному ступені вираженні властивості анізотропії. Різниця в фізико-механічних, деформаційних та ін. властивостях декоративного каменя проявляється по осях, розташованих під кутом 90^0 . Це явище має враховуватись при розробці статичних або динамічних методів відриву блокового каменя від масиву. Якщо проєктована площина відриву моноліту співпадає з віссю анізотропії, на якій межа міцності матеріалу на розрив мінімальна, створюються найбільш сприятливі умови для формування тріщини з високою якістю поверхні відриву, тобто мінімальними відхиленнями нерівностей від ідеальної площини.

Останнім часом для підвищення ефективності використання НРС при видобутку гранітних блоків розроблено техніку направленої формування відривної тріщини із застосуванням у комплексі з робочою сумішшю (НРС) шпурового агрегату з

пластинами-вставками [4], який забезпечує при певній орієнтації пластин-вставок розподіл напружень на стінках шпура, що визначає потрібний напрямок тріщиноутворення в площині системи шпурів. Зазначене описано в роботах [7], однак в них не наведено аналізу вибору параметрів пластин-вставок, а також впливу анізотропних властивостей породи на формування напрямку тріщиноутворення.

Мета роботи – вивчити експериментально вплив параметрів розташування і товщини пластин-вставок та їх орієнтації, а також характеристик анізотропії породи на ефективність отримання керованого тріщиноутворення між осями анізотропії. Отримані результати досліджень можуть бути орієнтовані на потреби технологів, що працюють в реальному виробництві.

Результати досліджень. Дослідження виконувались з урахуванням наступних вихідних положень. Природна анізотропія кристалічної породи спричиняє відмінність міцнісних параметрів блокового каменю в залежності від просторової орієнтації досліджуваної ділянки масиву. Якщо представити ізолінії міцності гірської породи на розрив у вигляді еліпса з напрямками його осей, узгодженими з осями анізотропії, найбільш сприятливі умови для зародження тріщини відриву мають співпадати з більшою віссю зовнішнього еліпса Y на рис.1, або з напрямком більшої осі анізотропії, тоді як в напрямку осі X еліпса опір розтягненню породи буде максимальним.

Однак при видобутку кам'яних блоків часто через технологічні обмеження виникає необхідність отримати тріщину відколювання в довільному напрямку в межах сектора між осями X та Y .

Методика керування напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії, розроблена на основі представлених нижче досліджень, базувалась на припущенні, що ізолінії міцності оточуючої шпур породи і розтягуючих напружень, викликаних кристалізацією НРС в шпурі, де встановлений агрегат з пластиною-вставкою, можуть бути представлені замкнутими кривими, за формою близькими до еліпса;

Експериментальні дослідження методу управління напрямком тріщиноутворення в секторі між осями анізотропії базувалися на аналізі взаємодії таких параметрів (рис.1):

- максимальна межа міцності породи на розтягнення $[\sigma_{max}^x]$; вважаємо, що це напруження направлене вздовж осі X шпура і виникає на осі Y ;
- мінімальна межа міцності породи на розтягнення $[\sigma_{min}^y]$. Вважаємо, що це напруження направлене вздовж осі Y шпура і виникає на осі X ;
- товщина пластини-вставки h ;
- співвідношення розтягуючих напружень $\frac{\sigma_y'}{\sigma_x'}$, що виникають вздовж осей Y' та X' ;
- кут α між віссю Y перерізу шпура і заданим напрямком тріщиноутворення;
- кут β між віссю Y перерізу шпура і віссю Y' пластини - вставки, що забезпечує утворення тріщин під кутом α (рис. 2).

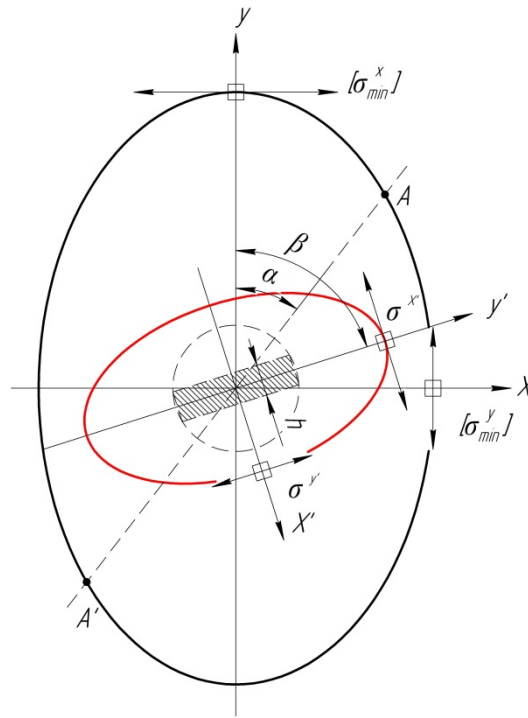


Рис.1. Епюри міцності породи (зовнішній еліпс) та розтягуючих напружень (внутрішній еліпс) в часі реакції кристалізації НРС

Співвідношення осей меншого еліпса на рис. 1 і 2 дорівнює відношенню розтягуючих напружень $\frac{\sigma_y'}{\sigma_x'}$, спрямованих уздовж осей Y' та X' та діючих на осі X' і Y' . Це співвідношення залежить тільки від товщини пластини - вставки і практично не залежить від модуля пружності породи і коефіцієнта Пуассона.

Співвідношення осей більшого еліпса на рис. 2 визначається анізотропними властивостями породи і розраховується, як відношення мінімальної межі міцності породи на розтягування $[\sigma_{max}^y]$, що діє на осі X , до максимальної межі міцності $[\sigma_{max}^x]$, що діє на осі Y .

На першому етапі досліджень менший еліпс потрібно побудувати всередині більшого еліпсу без точок взаємного торкання. Далі менший еліпс необхідно поступово збільшувати в розмірі (зі збереженням заданого співвідношення вісей) і одночасно обертати навколо його центру. Завданням цього дослідження є забезпечення дотику контурів двох еліпсів саме в точках A і A' , положення яких визначається необхідним кутом тріщиноутворення α (рис. 2). Саме в точках A і A' зростаюче за рахунок кристалізації НРС розтягуюче напруження досягне межі міцності породи, яка визначається її анізотропними властивостями, що і забезпечить тріщиноутворення у заданому куті α напрямку. При цьому визначається такий важливий технологічний параметр, як кут β . Саме розміщення осі пластини-вставки під кутом β забезпечить тріщиноутворення в шпурі під кутом α .

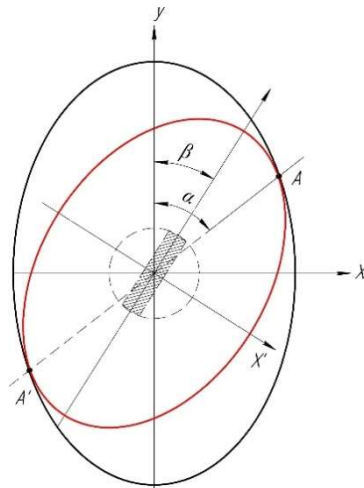


Рис.2. Епюри міцності породи (зовнішній еліпс) та розтягуючих напружень (внутрішній еліпс) в момент тріщиноутворення під заданим кутом.

Графічну частину досліджень виконано за допомогою комп'ютерної програми «Компас».

Для проведення досліджень з метою визначення реальних значень кута β задаємося наступними умовами:

- анізотропія породи складає 0.6; 0.7 і 0.8;
- необхідний кут тріщиноутворення складає 30° , 45° , 60° ;
- товщина пластин – вставок дорівнює 5, 6, 7 і 8 мм.

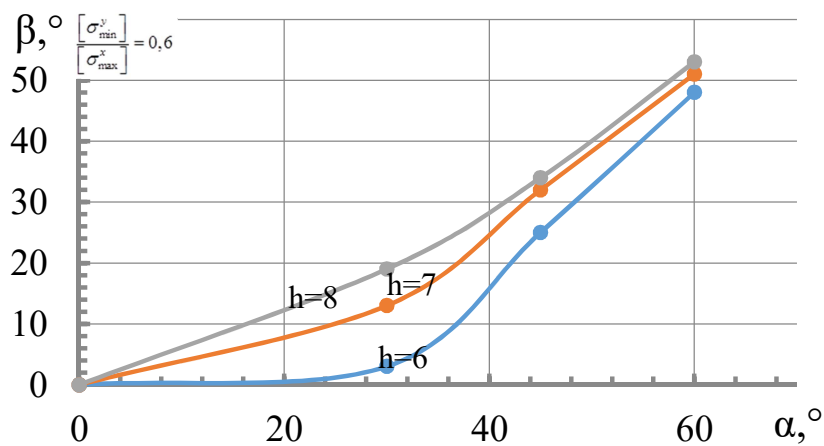


Рис. 3 – Залежність кута β від кута α при анізотропії 0,6

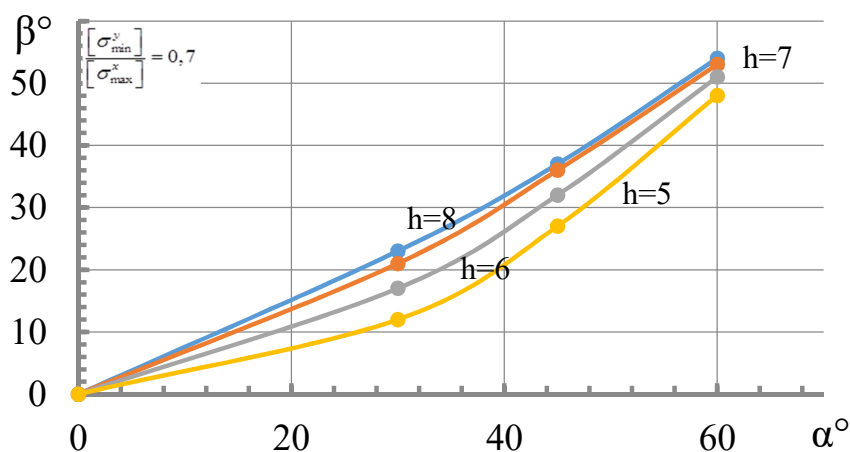


Рис. 4 – Залежність кута β від кута α при анізотропії 0,7

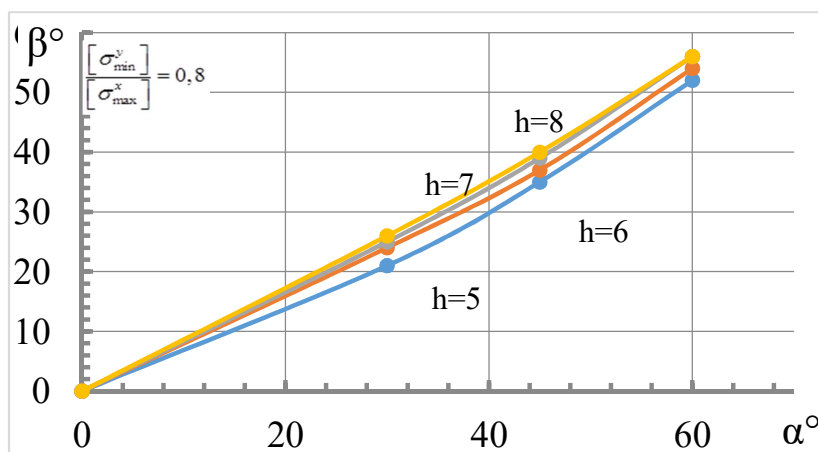


Рис. 5 – Залежність кута β від кута α при анізотропії 0,8

Розроблений спосіб управління напрямком тріщини відриву в секторі між осями анізотропії базується на положеннях, що ізолінії міцності породи, прилеглої до шпура, та розтягуючих напружень, спричинених кристалізацією НРС в шпурі, за присутності пластини-вставки описуються еліптичною залежністю з двома відмінними осями, що спричинено вираженою анізотропією руйнованого середовища.

Спосіб керованого утворення монотріщини застосуванням НРС в присутності орієнтуючої пластини-вставки, співвісної з шпуровою порожниною, апробовано в умовах Катеринівського кар'єру ПП «Кванта-ЛЧ». Світлою смугою на рис.6 позначено положення пластини-вставки в шпурі.

Результати проведених промислових випробувань наведено в табл.1. Їх аналіз дозволяє сформулювати наступні висновки:

Таблиця 1.

Товщина пластины, h, мм	Співвідношення мінімальних напружень до максимальних, $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	Заданий кут тріщиноутворення, α	Отриманий мінімальний кут тріщиноутворення, α_{\min}	Отриманий максимальний кут тріщиноутворення, α_{\max}
5	0,67	30°	22°20'	37°10'
		45°	39°10'	51°20'
		60°	55°10'	65°40'
6	0,60	30°	23°30'	36°50'
		45°	39°40'	50°40'
		60°	56°00'	64°10'
7	0,54	30°	23°50'	35°50'
		45°	40°10'	50°00'
		60°	56°20'	64°00'
8	0,48	30°	24°20'	35°20'
		45°	40°40'	49°40'
		60°	57°00'	63°40'

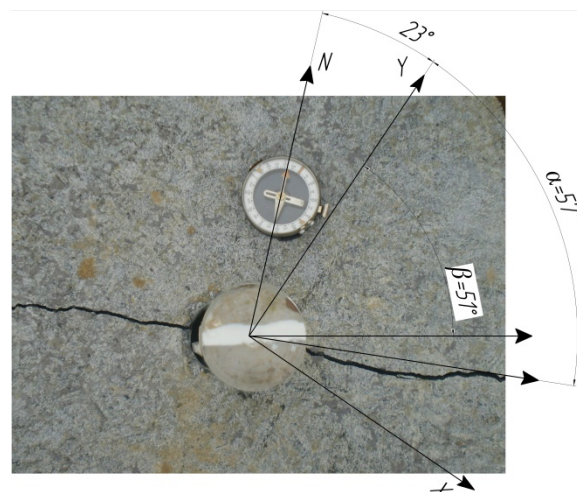


Рис.6. Тріщина відриву в блоці природного каменю під кутом 57° від осі анізотропії Y.

Висновки.

Найбільший вплив товщини пластини на залежність між кутами α і β досягається в умовах максимальної анізотропії рівня 0,6 при товщині пластини 8мм, особливо в діапазоні кута $\alpha = 20...40^{\circ}$.

Для застосування з практичною метою можна рекомендувати пластину товщиною 7 або 8мм при анізотропії 0,7...0,8. При анізотропії 0,6 товщина пластини може складати 7мм.

Збільшення товщини пластини підвищує точність керування напрямом тріщиноутворення.

Підвищення заданого кута тріщиноутворення зменшує похибку дотримання напрямку тріщиноутворення

Експерименти довели ефективність застосування методу управління напрямком тріщини відриву в секторі між осями анізотропії при використанні невибухових руйнуючих сумішей. Результати проведених досліджень можуть бути рекомендовані для вдосконалення технології видобутку блочного каменю за допомогою НРС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карасев Ю.Г. Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня // Учебное пособие для студентов высш. учеб. зав.- Санкт- Петербургский горный институт. - СПб, 1979. - 428 с.

2. Відокремлення монолітів за допомогою шпурів, які мають профільні надрізи в площині передбачуваного відколу/ П.З. Луговий, О.І.Фоменко// 28 міжнародна наукова конференція ім. академіка С.А. Христіановича, 22-28 верес-ня 2008: тези доповідей. - Алушта, 2008. - С. 23-26.

3. Определение оптимальных параметров заряда для контурного взрывания / В.В. Воробьев, В.В. Костин, В.Е. Проценко // Збірник «Сучасні ресурсо- енергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ , 2011. – Вип. 2/2011(8). – С. 39–44.

4. Розробка та дослідження процесу керування напрямом розколу блочного каменю при використанні невибухових руйнуючих сумішей / І.О.Фоменко, О. І.Фоменко,І.М.Ковтун,А. І. Ковтун // Збірник «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ , 2013. – Вип. 2/2013(12). – С. 50–57.

5. Дослідження технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнуючих сумішей /І.О.Фоменко, А.І.Ковтун // Збірник «Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут серія гірництво» – Збірник наукових праць: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 26 – С. 63–69.

6. І. Г. Сахно, М.М. Касєв. Патент на винахід №100062, МПК(2006.01) E21C 37/06. Спосіб руйнування гірських порід невибуховими руйнуючими сумішами й патрон для його реалізації / -а. 201100476,- 2012,- бюл.21 -5с.

7. І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, А. І. Ковтун Патент на корисну модель №90941, МПК E21C 37/00. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами /опубл. 10.06. 2014. Бюл. №11.

8. І. О. Фоменко, О. І. Фоменко, А. І. Ковтун Патент на корисну модель №92446, МПК E21C 27/14. Шпурова вставка для направлено розколу монолітних об'єктів невибуховими розширюючими сумішами / опубл. 11.08. 2014. Бюл. №15.

УДК 622.831.322.244.42

КОБИЛЯНСЬКИЙ Б.Б. к.т.н., доц., кафедра охорони праці та екологічної безпеки
Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії, Бахмут, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ ВИЛУГОВУВАННІ СОЛІ

Наведені результати аналізу стану видобутку солі шляхом підземного вилугування. Запропоновано поєднувати технології видобутку солі і закладки. Проведено математичне моделювання, що підтвердило ефективність закладки для зниження техногенних ризиків при вилугуванні солі.

The results of the analysis of salt extraction by underground leaching. A combination of salt production technology and bookmarks. Mathematical modeling that confirmed the effectiveness of bookmarks to reduce man-made risks in salt leaching.

Солерудники ДП «Артемсіль» є основними постачальниками кам'яної солі на Україні. Відпрацювання запасів солі підземним способом, що застосовується на солерудниках ДП «Артемсіль», призводить до значних втрат (понад 50%) корисної копалини в ціликах. Після відпрацювання та погашення камер значні запаси залишаються і перспективи освоєння їх традиційним способом немає.

У світовій практиці при розробці пластів кам'яної солі широко використовується метод підземного розчинення [1, 2]. З метою видобутку розсолів кам'яної солі розробляються потужні пласти для отримання виробок діаметром 100-120 м, і витягуються насичені розсоли концентрацією 300-310 г/л, необхідні для випаровування. Технологія спорудження камер вилугування і керування їх формою не є новою, і закріплена нормативними документами країн, що ведуть такий видобуток [3, 4].

На наш погляд питання відпрацювання вилугуванням запасів солі, що залишаються в ціликах, з подальшим їх закладенням є досить актуальним для умов ДП «Артемсіль». Видобуток солі ведеться на відносно невеликій глибині, тому однією з найгостріших проблем є деформування поверхні.

Одним із засобів зниження деформацій поверхні є закладка відпрацьованих соляних камер. В якості матеріалу закладки пропонується використовувати тверді відходи содового виробництва. Це призведе до підвищення рівня екологічної безпеки і зниження екологічних ризиків, пов'язаних як із забрудненням навколишнього середовища, так і з ризиком обвалення поверхні землі над відпрацьованими соляними камерами.

На сьогодні не існує чіткої методики оцінки ризиків для даної галузі промисловості, більш того, відсутня вітчизняна нормативна методика розрахунку просідань поверхні над камерами вилугування. Тому для оцінки ризиків було вирішено провести дослідження зсувів поверхні над камерою після її закладки методом кінцевих елементів. На початковому етапі роботи розглядається найпростіший технологічний елемент – одна камера стандартних розмірів.

Постановка завдання. Раніше відпрацьована і закладена соляна камера розташовується на глибині H від поверхні і має форму циліндра з діаметром d і висотою h . Передбачається, що пласт солі відпрацьований на повну потужність. Породи покрівлі і підшви соляного пласта прийняті без деталізації і задані середніми для Артемівського родовища значеннями. Потужність покривних відкладень прийнята

10 м. Рішення задачі проводиться методом кінцевих елементів [62,63], реалізація якого відбувається за допомогою програмного комплексу ANSYS. Завдання сформульоване в об'ємній постановці, масштаб моделювання 1:1. Моделюється ділянка масиву з розмірами 700х700 м, що вміщає вказану камеру. Масив розбивався на об'ємні кінцеві елементи тетрагонів. Через вісесиметричності завдання моделювалася половина перетину. Загальний вид моделі представлений на рис. 1а. Моделювана ділянка масиву, розбита на кінцеві елементи, представлена на рис. 1б. Завдання вирішується в нелінійній постановці, що пов'язане з наявністю в завданні контактних елементів. При рішенні вводяться наступні властивості досліджуваних геоматеріалів – модуль пружності E (МПа), коефіцієнт Пуасона ν , об'ємна вага ρ кг/м³, коефіцієнт тертя між шарами 0,8, контакт між закладним матеріалом і породами прийнятий жорстким і рівним 1.

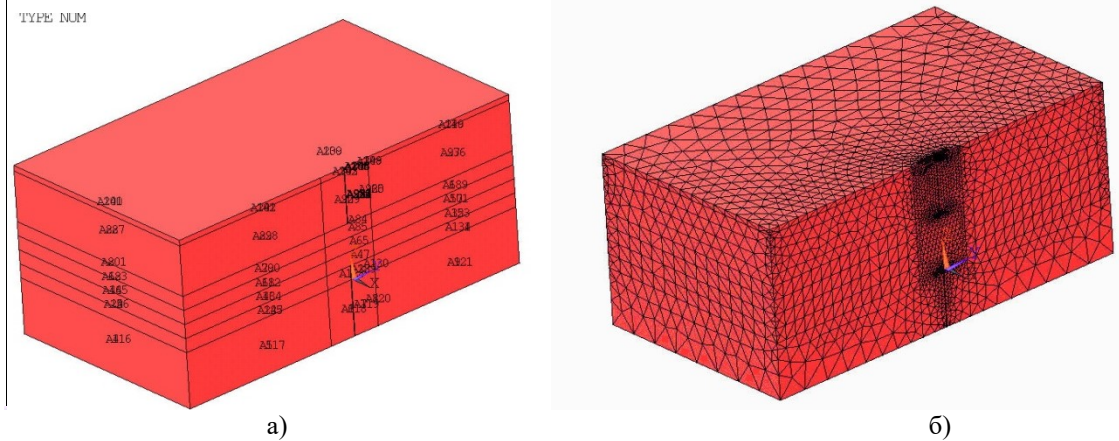


Рисунок 1 – Загальний вигляд модельованої ділянки масиву (а) ділянка масиву, розбита на кінцеві елементи (б)

Дія сил гірського тиску в масиві приводить до деформацій порід покрівлі камери, що викликає зсуви земної поверхні над камерою і руйнування безпосередньої покрівлі в самій камері. Наслідки цих процесів можуть виражатися у появі на земній поверхні провалів і воронок обвалення, а також в додаткових зсувах і деформаціях земної поверхні. Ведення закладних робіт істотним чином підвищує стійкість камери і призводить до зниження зсувів земної поверхні, зокрема виключає виникнення провалів над відпрацьованими камерами. Картини розподілу вертикальних зсувів після проведення закладних робіт приведені на рис. 2.

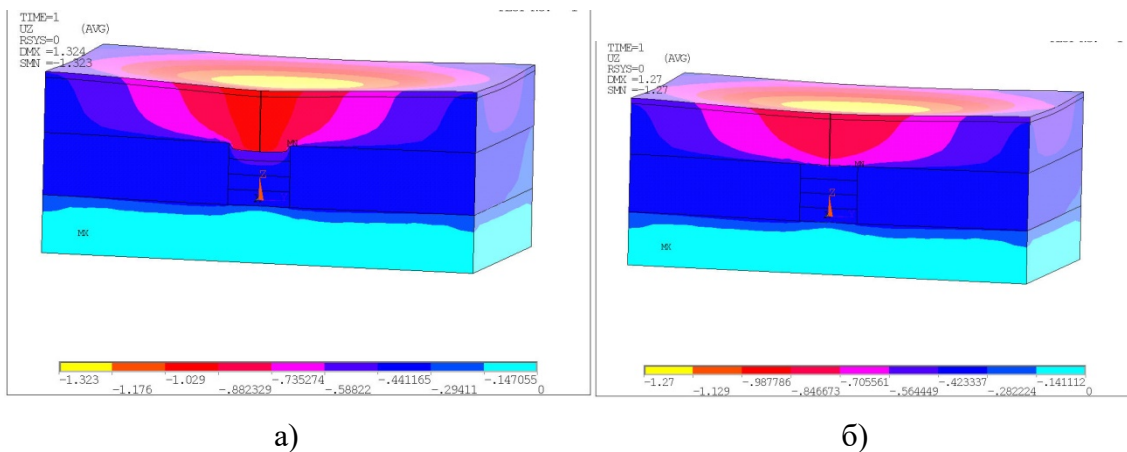


Рисунок 2 – Картини розподілу вертикальних зсувів в моделі до початку закладки (а) і після закладки (б)

Для кількісної оцінки побудуємо графіки розподілу вертикальних зсувів, що реалізуються на рівні умовної осі свердловини, що проходить через центр підстави, на рівні поверхні (рис. 3). Аналіз показує, що область впливу свердловини обмежується зоною в 300 м від її центру, максимальні зсуви при цій базі без проведення закладних робіт складають 0,529 м (це різниця 1019-490 мм – див. графік), а з проведенням закладки 0,335 м.

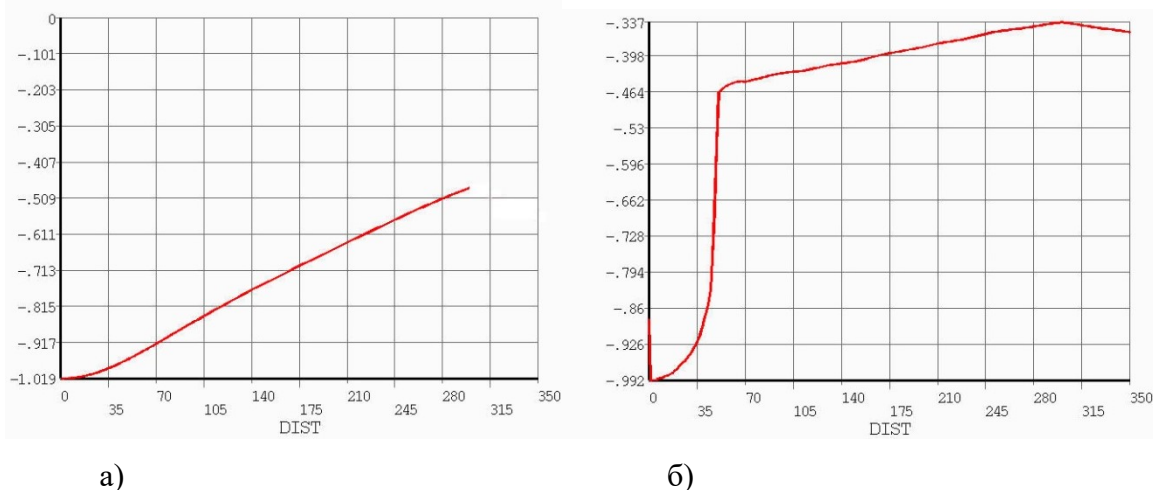


Рисунок 3 – Графіки зсувів земної поверхні без закладки камери (а) і після закладки (б)

Висновки. Наведені результати свідчать про ефективність закладки. Абсолютні максимальні деформації знижуються на 57,9 %, а зона впливу свердловини зменшується більш ніж в три рази. Проте результати є попередніми і проведені лише для одного значення параметрів камери і закладки. Подальші роботи будуть враховувати технологічні особливості і параметри вилюговування, а також будуть присвячені вивченню напружень, що виникають в поточині камери і в її боках, що дозволить прогнозувати стійкість камери в довготривалому періоді.

Библиографический список

1. Смайльс Н.Ю. Перспектива комплексной разработки пластов каменной соли скважинами / Н.Ю. Смайльс // Горный информационно- аналитический бюллетень.-М.: №4, 2007. – С. 346-354.
2. Смайльс Н.Ю. Комплексная разработка пластов каменной соли скважинами / Н.Ю. Смайльс // Горный журнал. 2007. № 1. С. 64-65.
3. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17. 04-32-2011(02120) Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы бяспечнага вядзення работ, рацыянальнага выкарыстання і аховы нетраў пры здабычы соляў метадам падземнага растварэння праз шчыліны, прабураныя з павэрхні. – Минск.: 2011. – 60с.
4. Временные указания по проектированию и строительству подземных хранилищ в отложениях каменной соли (для нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов) СМ 320-65. – М.: Сройиздат, 1965.

УДК 622.254 (477.62)

В.І. Каменець (канд. техн. наук, доцент, ДонНТУ), А.В. Петренко (асистент, ДонНТУ),
В.В. Воронков, А.О. Зайцев, В.І. Кріпаченко (студенти, ДонНТУ)

**ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМ
СПОРУДЖЕННЯ ВИРОБОК ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

Проаналізовано гірничо-геологічні умови та технологічні схеми спорудження гірничих виробок шахт Західного Донбасу - в Красноармійському та Павлоградському геолого-промислових районах. Наведено результати аналізу технічного рівня комбайнової технології з урахуванням можливості механізації процесу кріплення. Намічено шляхи удосконалення технологічних схем з метою підвищення темпів гірничо-підготовчих робіт.

Analysis of mining and geological conditions and technological schemes of construction of mining workings in Western Donbas - Pavlograd and in Krasnoarmeysk geological and industrial areas. The results of the analysis of the technical level head-road technology with the possibility of lining process mechanizing. The ways of improvement of technological schemes in order to increase the rate of mining-preparatory work were outlined.

Західний Донбас, а саме Красноармійський та Павлоградський геолого-промислові райони, в сучасних умовах є найбільшим і найперспективнішим в Україні постачальником енергетичного та коксівного вугілля з балансними запасами у мільярди тон і промисловими у десятки мільйонів. Тут видобувається більше половини українського вугілля. Райони схожі за декількома характеристиками: початковий та середній катагенез вугільних пластів та бічних порід, регіональні моноклінальні блоки, численні диз'юнктивні порушення, складні гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови [1]. Видобуток вугілля ведеться механізованими комплексами в лавах зворотного ходу.

Спорудження підготовчих виробок здійснюється переважно прохідницькими комбайнами вибіркої дії середнього класу КСП-32, КСП-33, EBZ-160, КПД. На шахтах недержавної форми власності за останні роки питомий обсяг проведення виробок на 1000 т видобутку знижено з 16 до 8-10 м. Але відтворення підготовлених до відпрацювання запасів в районах досі відстає через недостатні темпи гірничо-прохідницьких робіт навіть на підприємствах ДТЕК (рис. 1). Парк прохідницьких комбайнів оновлюється повільно.



Рейтинг среднесуточной скорости проведения вскрывающего и подготовительного забоя за февраль 2017г.

Шахта	Участок	Бригада	Забой	Рейтинг	Скорость вскрытия, (м/сут)	Объем выработки, (м³/сут)	Минимальная для разуплотнения масса	Коренность выделенной породы, %	Доля угля в среднем забое, %	Тип крепи	Средняя скорость в метр, м³	Шаг крепи (м)	Количество ячеек в шаге	Транспортная масса по участку	Размер шага, мм	Факт, п.м.	ОП, п.м.	Дни работы	Дни некачественной	Промысловый запас, млн. тонн	Выход при выработке				
Способ проведения - комбайновый																									
					4,23	67,4																			
ИГРОВОЙ КОМОСА	ПР-4	Верунов С.В.	1080 об/сут	1	12,68	4 700	ПТС	2,3	0%	КШТН-11,7	13,24	0,8	4	1400	Дж	355	300	28		9,4	27				
Самарская	ПР-2	Мельник	180 об/срн шаг (ок.)	2	8,39	3 079	EBZ-160	1-6	0%	КШТН-11,7	13,10	0,8	4	1000	Дж	235	215	28		8,9	19				
БЛАГОДАТНАЯ	ПР-2	Шендеров А.А.	110 об/сут	3	8,07	3 616	КСП-32	2,3	0%	КШТН-11,7	16,00	0,8	4	1000	Дж	225	220	28		6,1	20				
СТЕПНАЯ	УПР-3	Степанченко С.В.	170 об/срн шаг / 300м	4	8,04	4 410	КСП-32	2-3	0%	КШТН-11,7	19,85	0,8-0,9	7	1000	Дж	225	250	28		7,7	21				
СТЕПНАЯ	УПР-4	Грибов В.Е.	170 об/срн шаг / 300м	4	8,04	3 848	КСП-33	2-4	0%	КШТН-11,0	17,10	0,8-0,9	7	1000	Дж	225	170	28		8,6	19				
ИГРОВОЙ КОМОСА	ПР-2	Нелья А.В.	1100 об/сут	6	7,82	2 913	ПТС	2,3	0%	КШТН-11,7	13,30	0,8	4	1000	Дж	219	210	28		7,8	22				
Самарская	ПР-2	Тимошев	180 об/срн шаг (ок.)	7	7,68	2 817	EBZ-160	1-6	0%	КШТН-11,7	13,10	0,8	4	1000	Дж	215	210	28		7,4	21				
ПАВЛОГРАДСКАЯ	ПР-1	Лавров П.М.	400 об/срн шаг (ок.)	8	7,40	455	КСП-32	0,2-0,8	0%	КШТН-11,0	12,80	0,4-1	11	1000	Дж	197	20	28		6,5	23				
ИГРОВОЙ КОМОСА	ПР-1	Руб В.В.	1100 об/срн шаг	9	7,21	2 646	КСП-32	2,3	0%	КШТН-11,7	13,10	0,8	7	1000	Дж	202	160	28		6,3	23				
ТЕРНОВСКАЯ	ПР-3	Дядь М.В.	338 об/срн шаг	10	6,48	2 223	КСП-33	1,5-3,7	0%	КШТН-11,0	12,70	1	7	1000	Дж	175	170	27		6,9	19				
СТЕПНАЯ	УПР-3	Морозин Д.В.	Вост. шаг откат. шаг / 300	11	6,47	1 881	КСП-33	2-4	0%	КШТН-11,0	17,10	0,8	6	1000	Дж	110	110	17		4,3	30				
КУБИТЕЛЬНАЯ	УПР-1	Моисеенко Н.В.	558 об/срн шаг (гор.290)	12	6,43	2 376	КСП-33	2-4	0%	КШТН-11,7	13,20	0,7	6	1000	Дж	180	160	28		7,9	16				
ПАВЛОГРАДСКАЯ	ПР-2	Григорьев А.И.	111 об/срн шаг	12	6,43	2 736	КПД	1,2-3,6	0%	КШТН-11,7	16,20	1	10	1000	Дж	180	180	28		6,1	21				
ПАВЛОГРАДСКАЯ	ПР-2	Кривошук Ю.В.	304 об/срн шаг	12	6,43	2 180	КСП-32	1,2-3,6	0%	КШТН-11,0	12,50	1	6	1000	Дж	190	180	28		6,1	21				
ТЕРНОВСКАЯ	ПР-3	Кочетков Г.С.	400 об/срн шаг	16	6,26	2 203	КСП-32	1,5-3,6	0%	КШТН-11,1	12,70	1	7	1000	Дж	175	150	28		6,4	20				
Беловодская	ПР-1	Полочков Ю.А.	Конь. шаг (ок. кон. кор. лава окт 142 об/срн шаг)	16	6,15	2 832	КСП-32	1,6-6	0%	КШТН-11,0	17,70	1,0-0,8	6 (11м)	1000	Дж	160	200	28		5,2	24				
БЛАГОДАТНАЯ	ПР-5	Шульченко А.В.	118 об/срн шаг	16	6,15	2 219	ПТС	2,3	0%	КШТН-11,7(11,0)	13,87	0,8-0,8	7	1000	Дж	160	0	28		5,8	21				
ИГРОВОЙ КОМОСА	ПР-3	Петров С.И.	240 об/срн шаг (гор.290)	18	6,00	2 235	КСП-32	2,3	0%	КШТН-11,7	16,60	0,8-0,8	13	1000	Дж	12	0	2		10,0	10				
Павлоградская	ПР-1	Григорьев А.И.	400 об/срн шаг (комб.)	19	5,96	2 672	EBZ-160	1-6	0%	КШТН-11,7	16,20	0,8-0,8	7	1000	Дж	167	150	28		5,1	23				
ИГРОВОЙ КОМОСА	ПР-4	Войда Р.Г.	1100 об/срн шаг	20	5,79	1 362	ПТС	2,3	0%	КШТН-11,7	13,10	0,8	4	1000	Дж	104	150	18		7,3	18				
СТЕПНАЯ	ПР-2	Кочетков А.М.	338 об/срн шаг (ок.)	21	5,56	1 905	КСП-32	1,6-3,7	0%	КШТН-11,0	12,70	1	7	1000	Дж	150	150	27		6,8	19				
Самарская	ПР-2	Борков	400 об/срн шаг (ок.)	23	5,54	2 074	КСП-32	1-6	0%	КШТН-11,7	12,90	0,8	4	1000	Дж	135	132	28		5,9	15				
Добродольская	УПР-2	Израильский О.В.	9 ступенчатый конвейерный шаг лава. ступенчатый в. лава. гор. 400 м	23	5,50	2 631	КСП-32	4	0%	КШТН-11,0	16,40	0,8	4	1000	Дж	143	120	28	2	24,4	4				
БЛАГОДАТНАЯ	ПР-2	Григорьев В.А.	304 об/срн шаг	24	5,40	482	КСП-32	2,3	0%	КШТН-11,0	17,10	0,8	7	1000	Дж	27	0	3		6,3	17				
ПАВЛОГРАДСКАЯ	ПР-1	Лавров П.М.	300 об/срн шаг	26	5,36	2 063	КСП-32	1,8-2,0	0%	КШТН-11,0	16,60	0,4-1	11	1000	Дж	123	140	23		4,7	23				
СТЕПНАЯ	УПР-4	Кочетков С.Е.	170 об/срн шаг / 400м	28	5,18	2 480	КСП-33	3	0%	КШТН-11,0	17,10	0,7-0,8	6	1000	Дж	145	100	28		6,3	17				

Рисунок 1 – Обладнання та рейтинг підготовчих вибоїв

Нами проведено аналіз паспортів проведення шахт ДТЕК «Добропіллявугілля» та «Павлоградвугілля». Через низький рівень механізації процесів кріплення [2] коефіцієнт машинного часу для комбайнів не перевищує 0,3-0,4 протягом робочої зміни. Ситуація не змінюється на краще протягом досить тривалого періоду. Досвід роботи провідних вуглевидобувних країн світу - США, Австралії, Німеччини Польщі, КНР - говорить про можливість вирішити задачу сполучення операції з руйнування вибою і зведення кріплення,

при цьому коефіцієнт машинного часу може дорівнювати 0,8-0,9. Цього можна досягти, тільки застосовуючи технологію анкерного кріплення виробок за допомогою агрегованих анкеростановників [3]. Рамне кріплення має зводитися з використанням штатних підйомників кріплення (рис. 2). Така технологія кріплення поступово має набувати поширення на шахтах Західного Донбасу.



Рисунок 2 – Агрегований анкеростановник (а) та підйомник кріплення (б)

Аналіз сучасних досліджень і розробок в області проведення і підтримання виробок також свідчить, що однією з основних тенденцій розвитку прохідницької техніки стало стійке зростання кількості агрегованих варіантів гірничо-прохідницьких машин. Так, практично всі пропоновані прохідницькі комбайни оснащуються додатковим обладнанням – підйомниками кріплення з майданчиками обслуговування, анкеростановниками, бурильними машинами для розвантажувальних свердловин та ін. [4,5]. Таким чином, сучасний комбайн вибіркової дії повинен забезпечувати не тільки високу продуктивність руйнування вибою, але й механізацію кріплення, і початок підтримання виробки в момент її проведення.

Проте слід зазначити, що сьогодні більшість потужних підприємств – виробників гірничо-прохідницької техніки (Ясинуватський машзавод, «Горлівський машинобудівельник» та інші) знаходяться на неконтрольованій території. А сучасні комбайни сімейства П110 виробництва Новокраматорського машинобудівельного заводу згідно офіційному референц-листу востаннє поставлялися на українські шахти 10 років тому – у 2007 році (рис. 3).

Перечень проходческих комбайнов П110-01, П110-01М и П110-04, изготовленных НКМЗ

Страна	Получатель	Кол-во	Год поставки
Россия	ш. им. Кирова	1	2000
	ш. "Ряспадская"	15	2000-2011
	ш. "Северная"	5	2000-2005
	МУК-96	1	2001
	ш. им. 7 Ноября	1	2001
	ш. "Заполяная"	2	2001,2004
	ш. "Комсомольская"	5	2001-2014
	ш. "Воркутинская"	3	2002-2005
	ш. "Осиниковская"	2	2003-2004
	ш. "Денисовская"	2	2003
	ш. "Томусинская"	2	2003-2004
	ш. "Абашевская"	5	2003-2005
	ш. "Заречная"	3	2004-2005
	ш. "Юбилейная"	3	2004
	УК "Воркутауголь"	13	2005-2015
	ш. "Анжерская-Южная"	3	2006-2009
Украина	"Сатурн Майнинг"	1	2007
	ш. "Березовская"	3	2007-2008
	ш. "Яковлевский рудник"	10	2010-2013
	ОАО "СУЭК"	2	2012
	"Приорскоуголь"	1	2013
Казахстан	ОАО "СУЭК", "Кузбасс"	1	2013
	ш. им. Засядько	17	1999-2007
	ш. "Красноармейская-Зап."	16	1999-2010
	ш. им. Вахрушева	1	2003
	ш. им. Фрунзе	2	2005-2007
Украина	ш. "Степная"	1	2007
	ш. "Днепровская"	1	2007
	ш. "Саранская"	1	2000
Казахстан	ш. "Казахстанская"	1	2000
	"АрселорМиттал Темиртау"	23	2010-2015

З урахуванням збільшення глибини розробки, потужності пластів більше 1,5-2,0 м, слабких бічних порід слід рекомендувати застосування комбінованого рамно-анкерного кріплення. Анкери, практично без значного зниження темпів проведення, встановлюються безпосередньо в вибої після виїмки черговий заходки комбайном.

Отже, для підвищення рівня гірничо-прохідницьких робіт та покращення стану гірничих виробок найперспективніших Красноармійського та Павлоградського геолого-промислових районів є реальні резерви. Це означає, що у сприятливих умовах, на які ми сподіваємося, внесок Західного Донбасу у забезпечення енергетичної

незалежності та розвиток промисловості Рисунок 3 – Поставки комбайнів держави зростатиме.

П110 з НКМЗ

Бібліографічний список

1. Кессарийская И.Ю. Сравнительная оценка полей действующих шахт и резервных участков Донецкого бассейна на основе нестоимостных критериев // Науковий вісник НГАУ. Дніпропетровськ: НГАУ, 2000. №3. С.21-25.
2. Бабиюк Г.В. Процессы горнопроходческих работ: Учебн. пособ. – Алчевск: ДГМИ, 2003 – 360 с.
3. СОУ-П 10.1.00185790.014:2009 Технологічні схеми відпрацювання газоносних пластів з великими навантаженнями на очисні вибої.
4. Тенденции развития конструкций и эксплуатации современного горнопроходческого оборудования / В.Г. Черных, Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова и др. // Горная техника, 2012. № 2(10). С.8-11.
5. Техника и технология горно-подготовительных работ в угольной промышленности / Под ред. Э.Э. Нильвы. – М.: Недра, 1991. – 315 с.

УДК 625.42:624.13

В.І. КАМЕНЕЦЬ (канд. техн. наук, доцент, ДонНТУ)

А.О. ПАСТУХ (студентка, ДонНТУ)

ПОТОЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Проаналізовано поточні перспективи відновлення проектування та будівництва Київського метро після чотирирічної перерви. Оцінено гірничо-геологічні умови та розглянуто варіанти сучасних технологій будівництва підземних об'єктів метрополітену мілкового та глибокого закладення під час подовження діючих ліній та спорудження нових.

Analysis of the current recovery prospects for the design and construction of the Kiev Metro after four-year break. Reviewed by mining and geological conditions and considered the options of modern technology of construction of underground facilities shallow underground and deep foundation in the extension of existing lines and construction of new ones.

Підземна транспортна інфраструктура Києва давно потребує розширення і вдосконалення. Метрополітен столичного мегаполісу перевозить близько півмільярда пасажирів на рік, він один з найбільш перевантажених в світі. Однак уже чотири роки проектування і будівництво метро в Києві через відсутність фінансування припинено. Не знайшлося коштів навіть на добудову і реконструкцію існуючих станцій, що на порядок дешевше будівництва нових станцій і ліній, але дозволило б частково поліпшити ситуацію. Проектні та підрядні організації втратили свій потенціал.

Планів і програм за цей час у міській адміністрації було багато, вони змінюються все швидше. Передбачалося в 2016 році на відновлення проектування і будівництва 4-ї Подільсько-Вигурівської лінії метрополітену на Троєщину витратити 635 млн грн, в 2017 - 540 млн грн, а в 2018 - 2,7 млрд грн за рахунок бюджету міста, власних коштів метрополітену та інших джерел. Давали попередню згоду на участь в будівництві та фінансуванні японські, німецькі та польські компанії. Однак пізніше "Інститут Генерального плану Києва" прийшов до висновку, що це будівництво є не підйомним для міського бюджету.

У жовтні 2016 року між Київським метрополітеном і недавно створеним інститутом Київметропроект за результатами тендеру було укладено договір на розробку ТЕО і проектування продовження 3-й Сирецько-Печерської лінії метро до району Виноградар

вартістю 150 млн. грн. Проектування відновлено, будівництво має розпочатися з осені поточного року, проте вибір з трьох варіантів траси ще не зроблений. У 2019 р планують завершити будівництво першої черги проекту - ділянки з двома станціями "Мостицька" і "Прспект Правди". Це дозволить завантажити "зелену" лінію, яка сьогодні працює на 60% можливостей і розвантажити "червону". Також Київська міська державна адміністрація має намір добудувати і відкрити станцію метрополітену «Львівська брама» в 2018 році.

Будівництво ж метро на Троєцину можливо тільки після добудови Подільсько-Воскресенського мостового переходу (розпочато в 1993 г.). Німецький уряд виділив 200 тис. Євро для здійснення експертизи довгобуду. Результати обстеження в 2017 р показали, що об'єкт знаходиться в хорошому стані, а приблизна вартість завершення робіт становить 350 млн євро.

Останнє оновлення планів щодо цього проекту відбулося в травні поточного року в результаті участі української урядової делегації у форумі «Один пояс - один шлях» в Китаї [5,6].

КМДА підписала меморандум про співпрацю за проектом будівництва четвертої лінії метро з китайським консорціумом у складі China Railway International Group і China Pacific Construction Group. Консорціум виступить в якості керуючого партнера, який має великий досвід в галузі будівництва об'єктів інфраструктури. Його фахівці досліджують стану реалізації проекту «Будівництво 4-й лінії метро в Києві». Консорціум буде надавати допомогу в залученні коштів від китайських фінансових установ, що дозволить налагодити співпрацю з урядом Китаю і реалізувати великі інфраструктурні проекти. Консорціум може виступати в якості підрядника, що працює за схемою EPC (проектування, закупівля і будівництво) і виконувати проекти по моделі EPC + F (проектування, придбання, спорудження та фінансування).

Поточні середньострокові плани будівництва нами систематизовані і представлені в таблиці.

Велика частина нових станцій і тунелів буде мілкового закладення, вони значно дешевше, але будуть будуватися та реконструюватися також глибокі станції. Належить побудувати не менше 8-ми ескалаторних тунелів, частина з них двомаршові з проміжними вестибюлями через велику глибину.

Серед факторів, які ускладнять будівництво підземних об'єктів метрополітену:

- глибоке закладення станцій;
- зони розмиву в спондилових (мергелистих) глинах;
- нестійкі обводнені ґрунти четвертинних відкладень в наносах;
- щільна історична забудова центральних районів Києва.

Нами пропонуються наступні рішення.

Станції та перегінні тунелі Київського метрополітену на правому березі Дніпра закладаються в щільних, переважно сухих спондилових палеогенових глинах міцністю на стиск 10 МПа. Потужність шару глин досягає 18-25 м і більше. Однак на ділянках резюмував глини мають підвищену вологість, пористість, тріщинуватість і знижену міцність.

У діючих нормативах запропоновані способи будівництва ескалаторних тунелів значно застаріли [1,2,3]. Основним способом проведення до останнього часу була безщитова еректорна проходка в заморожених породах з кріпленням чавунними тубінгами. Після розморожування відбувалася значна просадка поверхні.

1. Вважаємо оптимальною технологію спорудження похилих ходів з використанням ТПМК з ґрунтопривантаженням і струминну цементацию з КДСЦ (комплексною добавкою для струминної цементации) для забезпечення стійкості ґрунтів і усунення припливу води.

Така технологія виключає заморозку, зрушення денної поверхні незначні. Швидкість проходки може становити до 10-12 м / добу. Крім того, комплекс може виходити на горизонтальні виробки з радіусом 100 м переходу від нахилу в 30 ° на горизонт

Таблиця – Середньострокові перспективи будівництва Київського метрополітену станом на травень 2017 року

№	Об'єкт будівництва	Протяжність ліній, км	Станції глибокого закладання, од.	Станції мілкового закладання, од.	Ескалаторні тунелі	Етап проектування	Термін будівництва	Попередня оцінка вартості, млрд. грн	Джерело фінансування
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4-та Подільсько-Вигурівська лінія:	7,50	-	-	-	Виконано ТЕО та проект. Розробка проекту будови мосту.	2020	11,25	Кредитні кошти Китайського консорціуму під гарантії Київради
	а- Подільсько-Воскресенський мостовий перехід;								
	б - перша черга лінії								
	в - друга черга лінії	13,57	-	7	-	Визначається ТЕО	Не визн.	24,85	
2	Подовження 3-ї Сирецько-Печерської лінії:	3,50	-	2	-	Виконано ТЕО в 3-х варіантах траси. Ведеться проектування «Київметропроект»	2020	8,00	Бюджет м. Києва, власні кошти метрополітену та інвесторів
	а - перша черга подовження (Мкр. «Виноградар») з депо;								
	б - друга черга подовження	6,75	-	5	-	Розробка ТЕО	2025	17,0	
3	Добудова та реконструкція існуючих станцій:	-	1	-	2	Виконано проект «Укрметротунельпроект»	2018	1,00	Бюджет м. Києва, власні кошти метрополітену та інвесторів
	- «Львівська брама»;								
	- «Університет», «Вокзальна» другі виходи								
	- «Театральна» - «Золоті ворота» - додатковий перехід;								
	- «Дарниця» - другий вихід (міст-конкорс)	-	-	1	-	Виконано проект «Укрметротунельпроект»	Не визн.	Не визн.	
	Разом:	38,35	6	19	8				

2. Нами запропонована оригінальна технологічна схема має перевагу перед схемою, застосованою на станції «Адміралтейська» [4]. Після спорудження першого маршу похилого ходу щитової комплекс вийде на горизонтальну ділянку довжиною 40-50 м з радіусом 100 м переходу від нахилу в 30° на позначці проміжного вестибюля, тобто підлоги першого поверху торгово-розважального центру (ТРЦ), а після цього знову увійде на похилу ділянку ескалаторного тунелю другого маршу (рис).

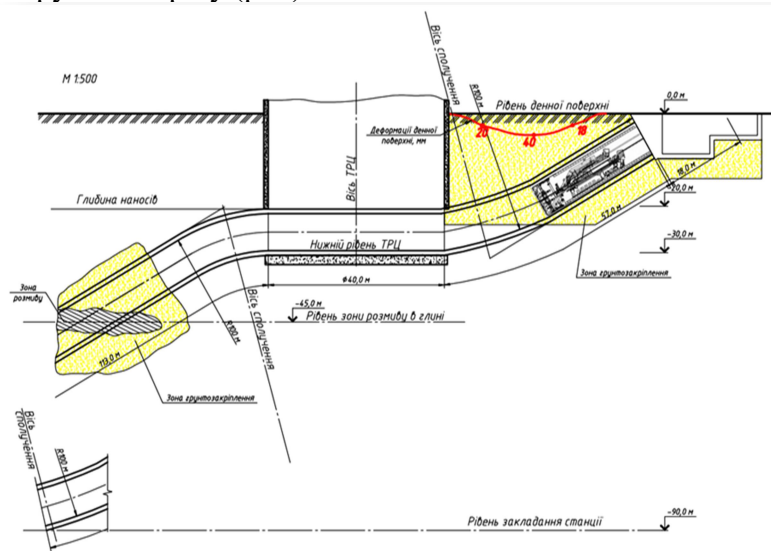


Рисунок – Запропонована технологічна схема спорудження ескалаторних тунелів «Львівської брами»

Це уможливить спорудження двомаршовий похилого ходу без перемонтажу ТПМК. Аналогічно комплекс здійснить вихід на горизонт існуючої станції. Нижній ескалатор буде здійснювати підйом по вертикалі на 60 м, верхній - на 30 м. На рівні проміжного вестибюля розміститься нижній поверх заглибленого будівлі ТРЦ, що дозволить залучити в проект добудови станцій кошти інвесторів.

Перегінні тунелі київського метро побудовані одноколійними, діаметром 5,6 м. З. Для оптимізації фінансових і тимчасових витрат, нами пропонується на нових лініях використовувати більш сучасний метод - будівництво одного тунелю великого діаметра для розміщення в ньому відразу двох шляхів - так званий двоколіїний тунель. Найбільший досвід за цією технологією накопичений в Іспанії (метрополітени Мадрида і Барселони)

Німецькою фірмою Herrenknecht може бути виготовлений тунелепрохідницький механізований комплекс великого діаметра (10, 4 м). З його допомогою прокладається тунель, в якому розмістяться відразу дві колії для одночасного руху двох складів метрополітену. Великий діаметр комплексу дозволить будувати також автодорожні тунелі.

Станційні комплекси на Подільсько-Вигурівської лінії при цьому варіанті будуть виконані нетрадиційним способом: платформи розташуються не між шляхами, а з боків. Варіант поєднання глибокого і дрібного метро дозволяє виключити необхідність перекладки великої кількості комунікацій. Крім цього, за рахунок розміщення шляхів в одному тунелі істотно скорочується кількість дорогого кабелю. Значно скорочується термін будівництва. Завдяки спорудженню одного тунелю замість двох, відпадає необхідність в будівництві перехресних з'їздів, евакуаційних збірок, переходів та інших виробок.

Двоколіїний тунель виграє і з точки зору безпеки пасажирів, т. К. Евакуаційні виходи будуть розташовуватися в стволах. Все це разом дозволить зробити цю ділянку метрополітену найбільш безпечним, знизить вартість будівництва не менше, ніж на 20-25%, а завдяки високоточної оправі, виготовленій на конвеєрній автоматизованій лінії виробництва блоків, дозволить домогтися найвищої якості конструкції тунелю і значного

збільшення терміну служби об'єкта.

І хоча ціна комплексу висока - 23 млн євро, а разом з додатковим обладнанням - 32 млн євро - перспектива розвитку столиці того вартує.

4. У разі будівництва одноколієних перегінних тунелів мілкового закладення вони можуть бути розташовані вертикально один над одним, а не паралельно в горизонтальній площині, для зменшення ширини котловану в районах щільної забудови. Рішення не є новим в світі, але в Києві досі не застосовувалося.

Використання ТПК з ґрунтопривантаженням для будівництва двоколієних тунелів і похилих ходів дозволить вирішити кілька проблем:

- Швидко добудувати і здати в експлуатацію станцію «Львівська брама» в центрі з пропускнуою спроможністю 10 000 тис. Пасажирів на годину;

- Використовувати в подальшому ТПК для реконструкції (зокрема, другий вихід зі станцій «Вокзальна», «Університет») і будівництва нових станцій глибокого закладення, таких як «Інтернаціональна площа», «Глибочицька» та інших;

- Перейти до спорудження перегінних тунелів нових ліній метро двоколієними для зниження вартості будівництва, діаметри ескалаторних і перегінних тунелів будуть збігатися.

- Зберегти і відновити робочі місця на підприємствах «Київметробуду» і суміжників, в т. ч. у проектних інститутах.

Бібліографічний список

1. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. МЕТРОПОЛІТЕНИ, Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 201 с.
2. Дорман, Я.А.. Специальные способы работ при строительстве метрополитенов / Я.А. Дорман. М.: Транспорт, 1981. 303 с.
3. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНиР). Сборник Е36. Горнопроходческие работы. Выпуск 2. Строительство метрополитенов, тоннелей и подземных сооружений специального назначения.
4. Безродный, К.П. Строительство эскалаторных тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена / К.П. Безродный, М.О. Лебедев, Г.Д. Егоров // Метро и тоннели. №1, 2015. www.tar-rus.ru.
5. <https://economics.unian.net/transport/1931851>
6. <https://hmarochos.kiev.ua/2017/02/17>

УДК 622.363.1: 658.012.32

В. И. КАМЕНЕЦ (доцент, канд. техн. наук, доцент, ДонНТУ, Украина)

А. А. КОБЫЛЯНСКИЙ (студент, ДонНТУ, Украина)

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «АРТЁМСОЛЬ»

Проаналізовано стан справ, технологічні аспекти та напрямки подальшого розвитку найбільшого в Україні та СНД виробника кам'яної солі – державного підприємства «Артемсіль» в складних сучасних умовах з огляду на вірогідну приватизацію.

Analyzed the state of affairs, technological aspects and directions of further development of the largest in Ukraine and CIS producer of rock salt - the state enterprise "Artyomsol" in the difficult current conditions in view of the probable privatization.

«Артемсоль» - крупнейшее предприятие по добыче и переработке каменной соли в Украине и СНГ. Включает пять шахт с подземной добычей и солефабрики. Добыча в 80-е годы превышала 7 млн. тонн (17 видов продукции). В 2016 году объем добычи составил 1,6 млн тонн, в 2015 – 2,0 млн тонн, в 2014 - 2,4 млн, в 2013 – 3,4 млн. Тенденция очевидна. До 2014 года имелось более 50 тыс. оптовых покупателей. Различные виды соли и сейчас пользуются спросом в 19 странах Европы, Африки, Азии и Америки. За 135 лет работы рудников было добыто свыше 280,9 млн. тонн, это лишь около 1% запасов месторождения.

На рудниках сейчас применяется камерная система разработки с разделением пласта по мощности на три яруса. Между очистными камерами предусмотрены целики. Ширина очистных камер - 15 м, высота камер - 8 м [1,2]. Способ добычи соли комбайновый (Урал-20РУ с бункером-перегрузателем БП-30 и самоходным вагоном ВС-30), используется конвейерный транспорт [3,5], (рис. 1).



Рисунок 1 – Технология добычи соли на ГП «Артемсоль»

В апреле 2017 года ГП «Артемсоль» успешно прошло аудит на соответствие международным стандартам управления качеством и безопасностью ISO 9001:2015 и ISO 22000:2005 (НАССР). Внедрена на предприятии и международная система управления качеством ISO 9001:2008.

За 2016 год произведено 1,6 млн тонн соли. Фасованной соли - 209 тыс. тонн (115,6% к 2015 году). При этом в 2016 году произведено на 266 тыс. тонн меньше технической соли. На объемы добычи этого вида продукции повлияла аномально теплая зима 2015/16 г.г. в странах Евросоюза и снижение объемов поставок в РФ. Также стала регулярной нехватка подвижного состава для отгрузки. Предприятию удалось удержать показатель себестоимости от резкого роста (несмотря на подорожание энергоносителей). Себестоимость 1 т реализованной продукции в начале 2016 г. составляла 418 грн., и за год, при падении добычи и росте заработной платы, она выросла всего на 9% (до 455,6 грн.).

За 2016 г. чистая прибыль составила 195 млн грн., что вдвое превышает показатель 2015 г. удвоения чистой прибыли удалось достичь за счет улучшения менеджмента, несмотря на резкое падение производства соляной продукции. Так, по итогам 2013 г. объем добычи соли на предприятии составлял 3,5 млн т, а в 2016 г. - вдвое меньше, 1,6 млн т. С 9 ноября 2016 г. рудник №3 временно приостановил свою работу для проведения реконструкции и установки нового оборудования – трех фотосепараторов фирмы ТАИНО для выпуска очищенной соли - продукции, ориентированной на европейского потребителя. За 2016 г. «Артемсоль» освоила около 30 млн грн. инвестиций, хотя был запланирован объем на уровне 115 млн грн. Освоение инвестиционных средств затягивается из-за длительности процедур согласования и разработки проектов

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

модернизации. В 2016 г. финансовый план был подписан МинАПК только в апреле. Основные показатели работы ГП «Артёмсоль» приведены на рис.2. В целом на данный момент изношенность основных фондов предприятия составляет около 60 %.

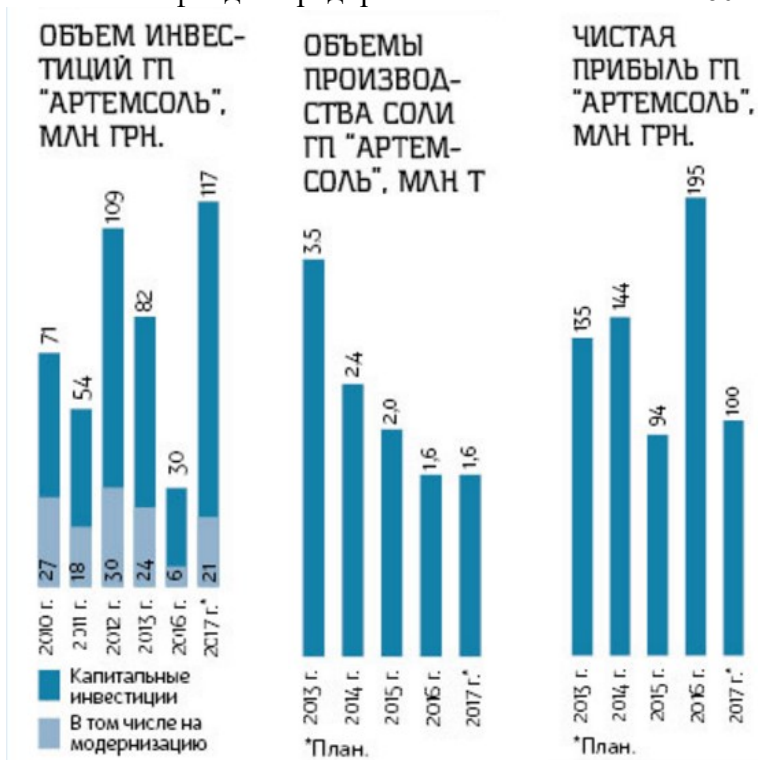


Рисунок 2 – Основные показатели работы ГП «Артёмсоль»

1 ноября 2016 г. вступило в силу постановление правительства РФ о запрете ввоза соли (столовой и денатурированной) из Украины. Доля России в общей структуре продаж «Артемсоли» сократилась с 52% в 2014 г. до 37% в 2016 г. Весь 2017 г. российский рынок будет закрыт для украинской соли: постановление правительства РФ действует до конца 2017 г.

Для оценки вариантов стратегического развития «Артемсоли» нами проведен SWOT- анализ, сформирована матрица, результаты сведены в таблицу.

Таблица – Результаты SWOT-анализа для ГП «Артёмсоль»

Внешние факторы	Возможности	Угрозы
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Движение к приватизации (решение КМУ, на 2017 г.) 2. Завоевание новых сегментов и рынков 3. Расширение ассортимента продукции 4. Использование опыта ВЭД 5. Огромные запасы соли 6. Использование сложившихся баз данных потребителей 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Частая сменяемость руководства 2. Госсобственность, госдивиденды 75% 3. Ослабление внутреннего рынка 4. Ужесточение условий кредитования 5. Тенденция к снижению объемов добычи 6. Риски инвестиций из-за близости зоны АТО 7. Регулярная нехватка подвижного состава 8. Потеря рынка РФ и сложности его замены 9. Снижение спроса в Евросоюзе

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

Внутренние факторы	Преимущества	Недостатки
	<ol style="list-style-type: none">1. Монопольное положение на Украине2. Наличие системы международной системы управления качеством ISO 9001:2015, ISO 9001:2008 и безопасностью ISO 22000:20053. Известная торговая марка4. Квалифицированный производственный персонал, династии5. Модернизация производства (фотосепарация, еврофасовка, добыча)	<ol style="list-style-type: none">1. Слабая маркетинговая деятельность2. Архаичная система продаж через дилеров3. Износ основных фондов около 70%4. Производственные мощности используются лишь на 33%5. Ручной труд при переработке соли6. Отсутствие гибкости в техническом перевооружении добычи

Рекомендуемая при подготовке к приватизации и после неё стратегия развития предприятия – оборона и укрепление на рынках.

На 2017 г. запланированы расходы на проектирование, приобретение и монтаж оборудования первого этапа по производству выварочной соли. Только на приобретение соответствующего оборудования мощностью до 40 тыс. т в год будет потрачено около 40 млн грн. А соль марки “экстра” появится на рынке в 2018 г.

В целом можно сделать вывод, что наращивая прибыль и целенаправленно модернизируясь, “Артёмсоль” превращается в довольно интересный и перспективный актив для приватизации.

Бібліографічний список

1. Проект розкриття і підготовки західної ділянки шахтного поля і реконструкції конвеєрного транспорту руднику №7 ДПО "Артемсіль". ТОВ "Надра". Артемівськ, 2001
2. Методичні вказівки по розрахунку параметрів системи розробки світи пластів кам'яної солі Артемівського родовища. УкрНДІсіль. Артемівськ, 1997.
3. Доповнення і зміни до методичних вказівок по розрахунку параметрів системи розробки світи пластів кам'яної солі Артемівського родовища. УкрНДІсіль, Артемівськ, 2001.
4. <http://www.kopemash.ru/products>
5. <http://www.artyomsalt.com/index>

УДК 622.831

ІСАЄНКОВ О.О. ст. викл., КП ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ

ШУЛЯК Я.О. магістр

САХНО І.Г. д.т.н., доц., проф. кафедри РРКК, ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ

НОВА НЕВИБУХОВА СУМІШ, ЩО САМОРОЗШИРЮЄТЬСЯ

Метою досліджень є удосконалення складу невибухової суміші, що саморозширюється, яка забезпечує синхронне протікання процесів твердіння і росту кристалів гідроксиду кальцію в процесі гідратаційного твердіння, що дозволить підвищити міцність затверділого розчину в післягідратаційний період.

The purpose of research is to improve the structure of non-explosive mixture of self extension that provides simultaneous processes of solidification and crystal growth of calcium hydroxide hidratatsiy curing process, which will increase the strength of hardened material in post hidratatsion period.

Одним з напрямків розвитку невибухових руйнуючих сумішей є використання їх в технологічних схемах зміцнення гірських порід за рахунок примусового стиснення структурно неоднорідних масивів. Існуючі суміші в постгідратаційний період за умов наявності вільного простору перетворюються на порошок, що суттєво стримує їх використання в цьому напрямку. Тому метою досліджень була розробка нової суміші з підвищеною міцністю в пост гідратаційний період.

Досвід попередніх досліджень з модифікації невибухових руйнуючих сумішей [1-2] дозволив зробити висновок, що гідратаційне твердіння сумішей на основі оксиду кальцію відбувається з одночасним протіканням двох важливіших процесів: утворення нових структурних елементів в процесі перекристалізації оксиду кальцію в гідроксид і їх твердіння з формуванням кристалізаційного каркасу. Тому підвищення швидкості гідратації призводить до більш швидкого росту кристалів і відповідно тиску, проте одночасно суміш не встигає твердіти, і неконтрольований ріст кристалів призводить до мимовільного її викидання зі шпурів, оскільки процес є екзотермічним. З іншого боку додавання домішок, що підвищують міцність суміші призводить до різкого зниження тиску розширення, відповідно до наведеного механізму розвитку процесу. Цим зумовлено складність проведених досліджень.

Задача - удосконалення складу невибухової суміші, що саморозширюється, яка забезпечує синхронне протікання процесів твердіння і росту кристалів гідроксиду кальцію в процесі гідратаційного твердіння, що дозволить підвищити міцність затверділого розчину в післягідратаційний період.

В якості базової суміші було прийнято невибухову руйнуючу речовину на основі оксиду кальцію [1]. Проведені дослідження були спрямовані на пошук хімічних добавок, що не є каталізаторами і дозволяють підвищити міцність невибухових руйнуючих сумішей в постгідратаційний період.

Як добавки застосовували гідрокарбонат натрію (NaHCO_3), спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), аміак (NH_3), перекис водню (H_2O_2), 5% розчин йоду ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}+\text{I}_2$) і два пластифікатора ЛСТМ9 і Sika BV3М.

В результаті досліджень швидкості гідратації на стенді було встановлено, що при заміщенні води пластифікатором ЛСТМ на 20% відбувається підвищення швидкості гідратації на 14%, а при заміщенні води більше 40% відбувається підвищення швидкості гідратації складу НРС у вільному стані на 25-27%. Введення в розчин замість води пластифікатора Sika BV 3М, в кількості до 20%, призводить до незначного зниження швидкості гідратації, а подальше підвищення його змісту призводить до зростання швидкості гідратації. Так при 40% пластифікатора Sika BV 3М замість води в умовах експерименту час початку активної гідратації скорочується на 25% відносно початкової суміші, подальше підвищення вмісту Sika BV 3М призводить до більш різкого підвищення швидкості гідратації.

Після цього були проведені експерименти по визначенню тисків, що розвиває розширення НРС в режимі заданої жорсткості за методикою [3]. Було встановлено, що найперспективнішою домішкою є Sika BV 3М. Заміщення масової частки води Sika BV 3М до 40 мас.% Призводить до підвищення зусилля розширення (рис. 1а). Найбільший ефект досягається при вмісті пластифікатора 8 мас.%. Так, при заміщенні Sika BV 3М 40 мас.% води зусилля, що розвивається НРС у віці 24 години підвищується на 37%. Подальше підвищення вмісту пластифікатора призводить до зниження зусилля розширення. Характерно, що у віці 6 годин зусилля розширення, що розвивається складом НРС

практично не залежить від додавання пластифікатора.

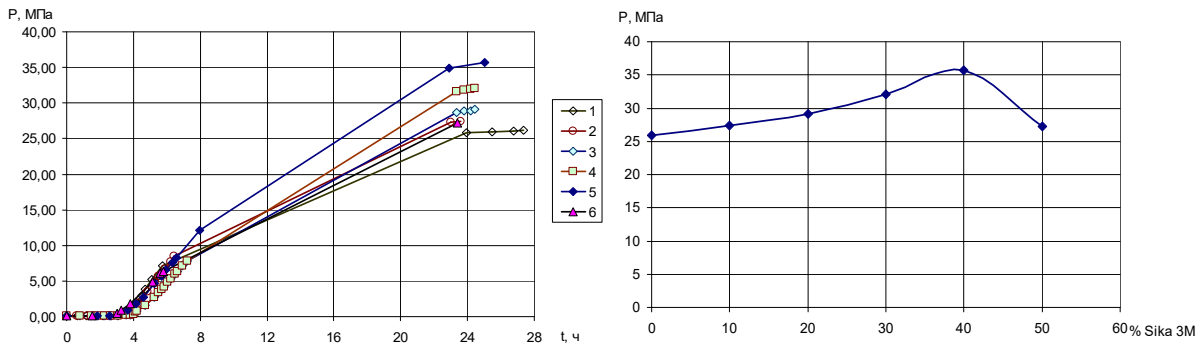


Рисунок 1 – Графіки зростання тиску саморозширення НРС в часі при заміщенні пластифікатором Sika BV 3M масової частки води в розчині (а), залежності тиску саморозширення НРС в робочій камері через 24 години від частки заміщення води в суміші пластифікатором Sika BV 3M (б):

1 – 0; 2 – 10%, 3 – 20%, 4 – 30%, 5 – 40%, 6 – 50%

Випробування зразків на міцність в пост гідратаційний період провели на установці УНТС. Для цих досліджень були обрані суміші з чистого НРС і з додаванням пластифікатора Sika BV 3M, при заміщенні ним води на 40%. Залежність тиску саморозширення сумішей з додаванням Sika BV 3M в віці 24 години від вмісту пластифікатора приведено на рис. 1б. Зразки для випробувань на УНТС представляли собою пластифікований НРС (рис. 2).



а)

б)

Рисунок 2 – Зразок НРС в установці УНТС після заливки (а) і через 24 години (б)

Зразок поміщали в випробувальну камеру з фіксованими горизонтальними плитами, і за допомогою верхньої плити преса підганяли зразок до закриття камери, після чого протягом 24 годин зразок знаходився в камері з обмеженням зсувів натискних плит. Після цього проводили випробування зразків на одновісний стиск. Для чого розвантажували горизонтальні плити і починали підвищувати тиск в вертикальній площині. Зразок руйнувався, після чого будували діаграми деформування. Зведені діаграми деформування при одноосьовому стиску зразків чистого НРС і з додаванням пластифікатора Sika BV 3M наведені на рис. 3.

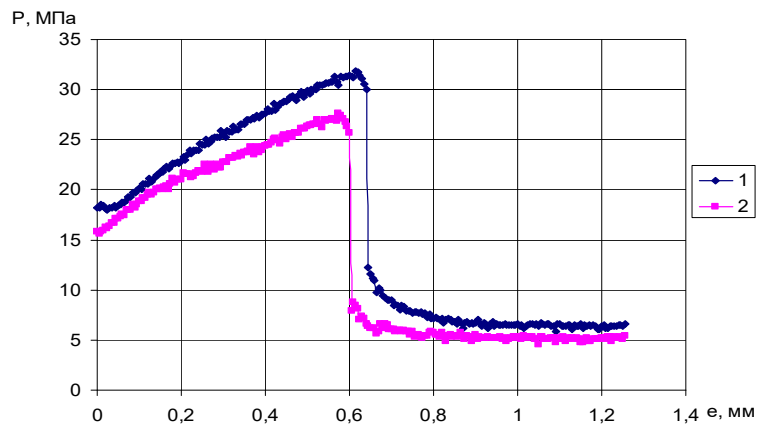


Рисунок 3 – Діаграми деформування зразків НРС у віці 24 години при заміщенні масової частки води в суміші пластифікатором Sika BV 3M на 40% (1) і чистого НРС (2)

Аналіз результатів дозволяє зробити **висновок**, що введення пластифікатора Sika BV 3M призводить до підвищення міцності НРС в постгідратаційний період. Так при заміщенні в суміші пластифікатором води на 40% міцність зразка на одноосьовий стиск підвищується на 15,6%. Зазначений ефект досягається, ймовірно, за рахунок більш компактної укладки суміші при введенні пластифікатора, що підтверджується усадкою розчину, що характеризує підвищення її щільності.

Проведені комплексні лабораторні дослідження показали, що для вирішення поставленого завдання в якості добавки найбільш підходить пластифікатор на базі лігносульфонатів, який редукує воду Sika BV 3M. На основі проведених досліджень було розроблено невибухову суміш, що само розширюється, яка містить негашене вапно, кальциновану соду, пластифікатор й гумат натрію, при цьому в якості пластифікатора використовують водний розчин модифікованих магнієвих лігносульфонатів Sika BV-3M при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: кальцинована сода – 2,3 – 7,0; гумат натрію – 0,8 – 4,6; 20-40% водний розчин Sika BV 3M – 30; негашене вапно – інше.

Бібліографічний список

1. Пат. вин. № 102305, МПК (2013.01) *C04B 37/00*, Невибухова руйнуюча суміш / І.Г. Сахно, М.М. Касьян, Я.О. Шуляк, О.О. Кирилова (Україна). – а2011 14102; заявл. 29.11.2011, опубл. 25.06.2013, бюл. № 12. – 5с.:ил..
2. Пат. вин. № 102158, МПК (2013.01) *C04B 7/34* (2006.01) *B02C 23/06* (2006.01) *C09K 3/00*, Невибухова руйнуюча суміш / І.Г. Сахно, М.М. Касьян (Україна). – а201114387; заявл. 05.12.2011, опубл. 10.06.2013, бюл. № 11. – 4с.:ил.
3. Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению// И.Г. Сахно / Проблемы гірського тиску . 2010. - №18. С. 135-149.

УДК 622.235

Детцель Т.Є., студент, Кравець В.Г., д.т.н., проф. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ОБГРУНТУВАННЯ СЕЙСМОБЕЗПЕЧНИХ МЕТОДІВ ВЕДЕННЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ

***Анотація.** Визначені основні технологічні параметри для видобування прибортових запасів корисних копалин з застосуванням Highwall mining system. Проведений аналіз існуючих методик розрахунку технологічних параметрів розробки прибортових запасів корисних копалин, що потенційно можуть бути відроблені Highwall mining system. Врегульовано основні недоліки в методиках розрахунку технологічних параметрів, що впливають на безпеку ведення гірничих робіт та коефіцієнт вилучення корисної копалини з надр.*

***Ключові слова:** прибортові запаси; Highwall mining system; пружне середовище, деформація, міжкамерний цілик, шаруватість.*

***Abstract.** The basic process parameters for extraction of mineral resources prybortovyh using Highwall mining system. The analysis of existing methods of calculating technical parameters prybortovyh development of mineral resources, which can be vidrobleni Highwall mining system. Adjusted basic flaws in the method of calculation of process parameters that affect the safety of mining operations and the rate of extraction of minerals from the subsoil.*

***Keywords:** prybortovi stocks; Highwall mining system; elastic medium, deformation, mizhkamernyyu pillar, stratification.*

Вступ. Враховуючи зі скороченням обсягів видобутку руди відкритим способом одним з основних напрямків подальшої розробки є підземний спосіб. Зростання об'ємів видобутку підземним способом вимагає інтенсифікації відпрацювання глибоких горизонтів, що зумовлює застосування декількох систем розробки. В даний час найбільшого поширення набули системи поверхового примусового обвалення з масовою відбійкою руди віялами глибоких свердловин і підповерхового відбою з торцевих випуском руди, на частку яких припадає відповідно 60 і 40% видобутку руди. Основний, обсяг буропідривних робіт (БПР) доводиться на масові вибухи, а витрати на їх виробництво в собівартості видобутку досягають до 30-50%.

Мета роботи. Застосування високоефективних способів вибухової відбійки і оптимальних параметрів БПР дозволило досягти прийнятної якості дроблення масиву гірських порід. Але застосування великомасштабних масових вибухів з загальною вагою вибухових речовин (ВР) від 100 до 350 т призводить до ряду негативних ефектів, викликаних сейсмічною дією вибухів, що не дозволяє повною мірою реалізувати можливості системи поверхового примусового обвалення з відбійкою руди віялами глибоких свердловин. При цьому в найбільшій мірі до сейсмічної дії схильні виробки днища блоку і масив гірських порід в суміжних секціях. При переході гірничих робіт на більш глибокі горизонти проблема забезпечення збереження гірничих виробок стала ще більш актуальною, оскільки при спільній дії статичних і динамічних напружень значно знизилася їх стійкість, що вимагало застосування різних видів кріплень. Відомі методики визначення маси сейсмічнобезпечних зарядів при відбійці не враховують особливостей геометричного розташування плоских систем зарядів і гірничих виробок, що вимагає більш детальної оцінки сейсмічної дії вибухів і розробки нових методик розрахунку [1-4].

Постійне наближення фронту гірничих робіт до будівель промислового і цивільного призначення в умовах складного рельєфу місцевості, а також

відпрацювання блоків-ціликів і відбійка в них стикувальних секцій, в яких одночасно підривається ВР вагою 300-400 т, вимагає забезпечення схоронності не тільки гірничих виробок, але й житлових будинків і промислових споруд в районі проммайданчиків рудників.

Тому оцінка сейсмічної дії масових вибухів, розробка сейсмобезпечної технології відбійки і методик розрахунку сейсмонезбезпечних зон для різних ситуацій при підземній відробці родовищ є актуальними.

Матеріали і результати досліджень. На першому етапі досліджень з метою встановлення зони впливу масових вибухів, де можливі незворотні локальні деформації масиву були використані дані про сейсмічні дії масових вибухів на різних відстанях від меж відбійки. Оконтурювання зони, де можливі незворотні локальні деформації в масиві, виконували по критичній швидкості зсуву в хвилі стиснення, яка для розглянутих умов становить величину 0,15-0,20 м/с. Радіус цієї зони описується емпіричною залежністю, отриманою за результатами експериментальних спостережень:

$$R = 3,125 \left(\frac{K_a}{[V]} \right)^{0,767} \sqrt[3]{\frac{SQW}{T}}, \quad (1)$$

де R - відстань від центру секції до границі зони струсного впливу вибуху, м; K_a - коефіцієнт, що враховує вплив кута приходу сейсмічних хвиль в точку спостереження; Q - загальна вага ВР, кг; $[V]$ - критична швидкість зсуву в хвилі стиснення, см/с; S - фронтальна площа перетину відбиваної секції, м; T - товщина секції, що підривають, м; W - величина лінії найменшого опору, м.

Отримані дані свідчать про те, що радіус цієї зони залежить як від загальної ваги ВР, так і від геометричних розмірів секції, параметрів буропідривних робіт і кута між фронтом відбійки і точкою спостереження. При цьому, швидкість зсуву в тил масиву по фронту відбійки отримується в середньому в 133 рази більше, ніж з флангів секції, а максимальний розмір зони непружних деформацій при загальній вазі масових вибухів від 50 до 300 т ВР змінюється від 80 до 250 м. Тобто в межах цих зон можливе порушення суцільності масиву, розкриття існуючих тріщин, зрушення блоків відносно один одного і, як наслідок, втрати свердловин в суміжних секціях. Отримані дані дозволяють вибирати таку вагу ВР масових вибухів, які забезпечують мінімальний вплив на законтурний масив.

Дослідження показали, що при послідовному наближенні фронту гірничих робіт до меж відкритих розробок при однаковому співвідношенні ширини бар'єрного цілика до кореню кубічного з максимального ваги ВР в ступені уповільнення відбувається посилення інтенсивності коливань поблизу споруд проммайданчику, що охороняються. При цьому виявлено, що найбільш помітне посилення коливань починається при ширині бар'єрного цілика менше 500 м, а при досягнутих на сьогоднішній день розмірах бар'єрного цілика (100-150 м) посилення досягло двох і більше разів.

В даному випадку коефіцієнт посилення коливань за рахунок наявності бар'єрного цілика, різниці висотних відміток вибуху і охоронюваних об'єктів і від орієнтування секції щодо кар'єра описується наступною емпіричною залежністю

$$K_a^5 = 8,8 K_a^5 R_0^{-0,35}, \quad (2)$$

де $R_0 < 500$ - ширина бар'єрного цілика на рівні центру секції, м; K_a^5 - коефіцієнт, що враховує орієнтування секцій по відношенню до кар'єрного простору. Коефіцієнт

посилення коливань за рахунок наявності бар'єрного цілика враховується тоді, коли ширина бар'єрного цілика на рівні центру секції становить менше 500 м.

З урахуванням виявлених особливостей сейсмічної дії вибухів уточнена методика розрахунку, в якій швидкість зсуву в основі будівель і споруд, радіус сейсмічної зони і сейсмобезпечна вага зарядів ВР знаходяться за такими залежностями, виведених на основі сейсмометричних спостережень.

У разі розташування об'єктів, що охороняються на зовнішньому кордоні півсфери з радіусом $B < 1000$ м, не відділених від секції, що підривається, виробленим простором:

$$V = 145 K_{y\phi} K_a K_z K_\epsilon \left(\frac{R_\phi}{\sqrt[3]{1,5q_{cm}}} \right)^{-1,304}; \quad (3)$$

$$R_{co} = 45,47 \left(\frac{[V]}{K_{y\phi} K_a K_z K_\epsilon} \right)^{-0,767} \sqrt[3]{1,5q_{cm}}; \quad (4)$$

$$q_{cm} = \frac{R_\phi^3}{141 \cdot 10^3} \left(\frac{[V]}{K_{y\phi} K_a K_z K_\epsilon} \right)^{2,3}, \quad (5)$$

де V - розрахункова швидкість змішування в основі будівель і споруд, см/с; $[V]$ - допустима швидкість зсуву фунта в основі охоронюваних споруд, см / с; R_ϕ - фактична відстань від центру вибуху до об'єкту, що охороняється споруди, м; R_{co} - радіус сейсмічно небезпечної зони при виробництві масового вибуху, м; q_{cm} максимальна вага ВР в ступені уповільнення, кг; $K_{y\phi}$ - коефіцієнт, що враховує умови підривання (для вирізних секцій з однієї вертикальної площини оголення $K_{y\phi} = 1,15$; для секцій з двома вертикальними площинами оголення і піднятими воронками випуску $K_{y\phi} = 0,9$; для секцій з двома вертикальними площинами оголення, обробити компенсаційному просторі не менше 15% від обсягу секції і підпусканні руди в попередньому розділі не менше 70% - $K_{y\phi} = 0,85$). K_a - коефіцієнт, що враховує орієнтування секцій по відношенню до об'єктів; $K_z = 0,6/H$ - коефіцієнт, що враховує посилення коливань ґрунту в залежності від потужності наносів (враховується при $H > 25$ м) для необхідних умов; H - потужність наносів, м; $K_\epsilon = 0,74H^{0,22}$ - коефіцієнт збільшення сейсмічності для водонасичених ґрунтів (враховується при рівні ґрунтових вод менше 4,5 м від поверхні).

В даний час в якості критерію сейсмічної безпеки загальноприйнято вважається максимальна швидкість зсуву ґрунту в основі будівель.

Висновки. Проведені дослідження по виявленню ступеня впливу масових вибухів на спорудження показали, що важливе значення має взаємодія коливань ґрунту і фундаменту, оскільки фундамент не повністю повторює рухи ґрунту, особливо при зіставленні амплітуд швидкостей зсуву.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Запорожец В.Ю. Сейсмическое действие подземных массовых взрывов на поверхностные сооружения /В.Ю.Запорожец, С.А.Козырев, С.Г.Зерещеков // Горный журнал. -1999 -№9. – С.63-66.
2. Пуго А.М. Сейсмическое воздействие массовых взрывов на горные выработки / А.М. Пуго // Горн. журн. 1956. - № 11. - С. 46-51.

3. Козырев С.А. Сейсмическое действие подземных массовых взрывов на поверхностные сооружения в условиях переменной мощности наносов / С.А Козырев // сб. Труды Мурманского университета МГТУ, г. Мурманск. 1998, Т.1., №3, с. 123-126.

4. Боровиков В.А. Определение безопасных расстояний при действии сейсмозрывных волн / В.А.Боровиков, И.Ф.Ванигин, В.А.Артемов, В.К.Хурцидзе // Взрывное дело, № 89/46. -М., Недра, 1986. -С. 155-163.

УДК 622.235:553.98

Шукюров А.М.¹, Кравець В.Г.¹, Войтенко Ю.І.²

¹НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, 03056 Київ

²Український державний геологорозвідувальний інститут, 04114 Київ

КУМУЛЯТИВНІ ЗАРЯДИ ДЛЯ ПЕРФОРАЦІЇ ПРОДУКТИВНИХ ПЛАСТІВ ТА ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОМІЖНИХ ДЕТОНАТОРІВ ДЛЯ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ

В доповіді викладено результати розробки двох нових модифікацій кумулятивних зарядів для перфорації продуктивних пластів, в тому числі зарядів для перфорації перед гідророзривом пласта та результати їх випробувань в газових свердловинах. Сформульовано принципи проектування та критерії вибору конструкцій проміжних детонаторів для свердловинних зарядів.

Ключові слова: гідророзрив пластів, перфорація; кумулятивний заряд; кумулятивне облицювання; проміжний детонатор

The report presents the results of the development of two new versions of shaped charges for perforation of productive strata, including charges for perforation before hydraulic fracturing and the results of their tests in gas wells. The principles of design selecting criteria for intermediate detonator for hole charges. Keywords: hydraulic fracturing; perforation; shaped charge; liner; intermediate detonator

Сучасні кумулятивні заряди. Видобуток газу із щільних пісковиків, газу та нафти із глинистих сланців, а часто із традиційних колекторів, забезпечується застосуванням гідророзриву пласта (ГРП), як складової технологічного процесу завершення свердловин. Успішність ГРП в свою чергу забезпечується сучасними технологічними засобами, зокрема кумулятивними зарядами типу «big hole», які створюють отвори великого діаметру в обсадній колоні та пласті. Інколи їх застосовують в будівельній та гірничовидобувній галузях промисловості.

При перфорації перед гідророзривом пласта потрібні отвори діаметром ≥ 20 мм і достатньо глибокі для запобігання так званих «стопів», коли тріщина ГРП через отвори малого діаметру не може приймати суспензію із рідини розриву та розклинюючого матеріалу.

В процесі науково-дослідної роботи були визначені основні характеристики порошкових композитів та гомогенних порошоків для зарядів різних калібрів.

Одним із незвичних, невідомих раніше в експериментах явищ, було посилення ударних властивостей композитних кумулятивних струменів (КС) при додаванні Al [1-3]. Взагалі в цій галузі науки і техніки спостерігається безперервний прогрес у створенні нових технічних рішень [4-6]. Особливої уваги заслуговують деякі результати досліджень, які дозволяють значно підвищити кінетичну енергію КС або компактного елемента (КЕ), або енергію ударної взаємодії КС і КЕ з перепонами [2, 5, 7-9, 10, 11]. Враховуючи, що кумулятивні заряди і технології, пов'язані з їх виготовленням та застосуванням, це подвійні технології, результатами цих технологічних розробок є також ефективні засоби боротьби з важко броньованою та іншою броньованою технікою, наземними та підземними фортифікаційними спорудами.

Мета роботи – висвітлити результати досліджень кумулятивних зарядів з композитними пористими облицюваннями та сформулювати принципи вибору конструкції проміжного детонатора для

свердловинних зарядів.

В 2016 р. в зв'язку з появою на світовому ринку, в тому числі в Україні, зарядів серії «DPEX» (глибоке проникнення з розширеним каналом) ми повернулися до ідеї зарядів з кумулятивним облицюванням (КО), які вміщують Al. Експерименти, проведені з композитними КО Cu-Al, W-Cu-Pb-Al, W-Cu-Pb-Ni-Al, Ni-Al на зарядах ЗКМ-38Д (маса вибухової речовини (ВР) – 10г, калібр заряду – 26 мм) показали стале зростання об'єму каналу з ростом вмісту Al для всіх записаних вище композитів (рис. 1).

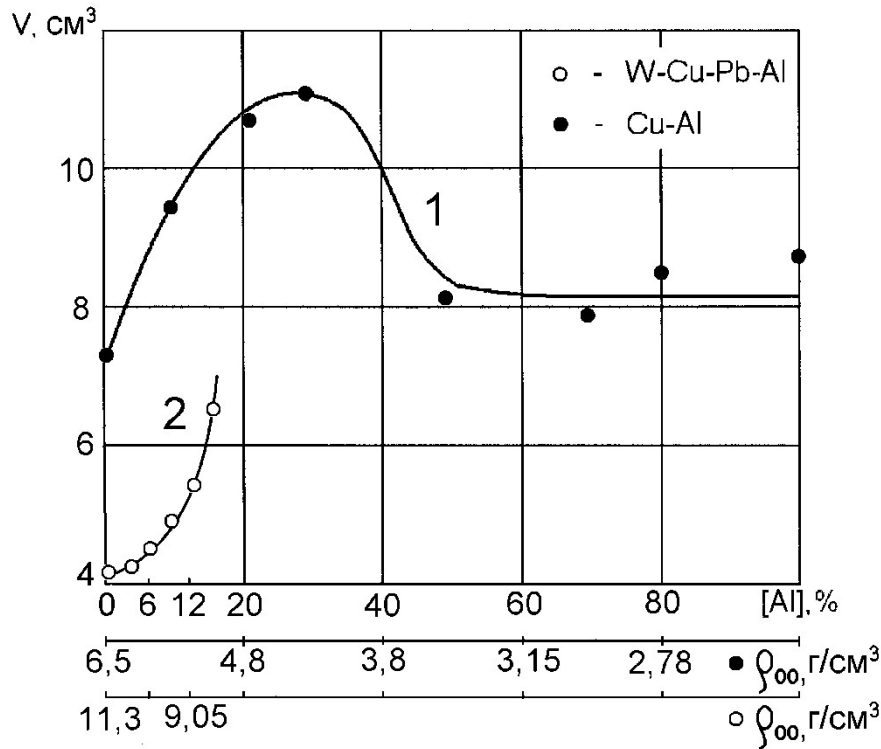


Рис. 1 Залежність об'єму кратера в перепоні Ст.3 –АМЦ-н від вмісту Al в композитах Cu-Al (крива1 1) і W-Cu-Pb-Al (крива2)

Основний механізм збільшення об'єму каналу перфорації при взаємодії порошкового Al з металами: Cu, Ni, можливо Fe, Zn та ін., які мають температуру плавлення $\leq 2500^{\circ}\text{C}$, пов'язаний з утворення інтерметалідів Cu_xAl_y , Ni_xAl_y з виділенням додаткової енергії (рис. 2).

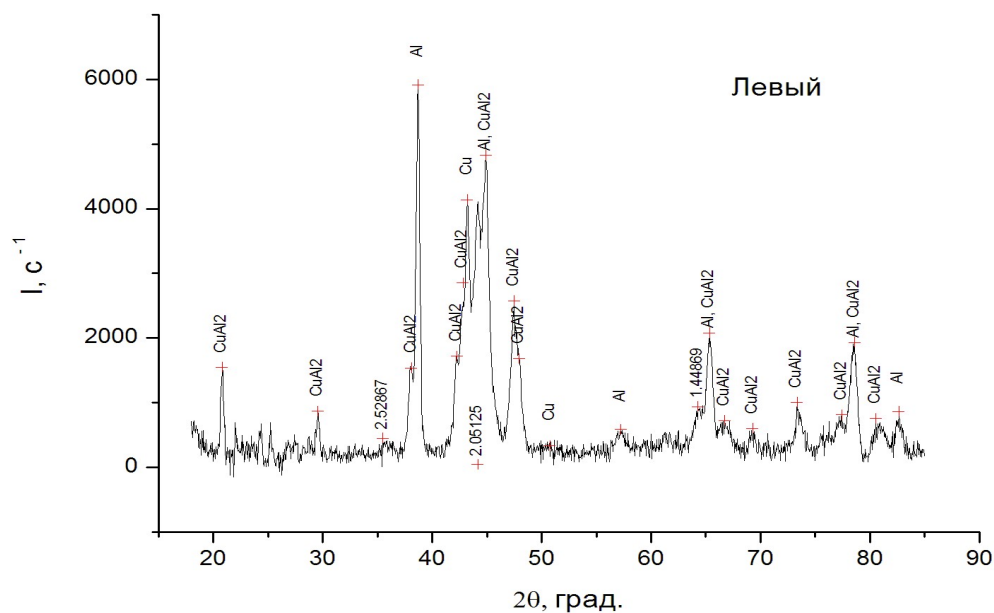


Рис. 2. Дифрактограма матеріалу, утвореного при взаємодії струменя із Cu-Al з перепоною АМЦ-н

Наприклад, при утворенні інтерметаліду CuAl_2 , виділяється додаткове тепло в кількості ≈ 330 Дж/моль. Оскільки збільшення вмісту Al в композитах супроводжується збільшенням входного діаметру і зменшенням глибини, то цей результат дозволяє отримати три технологічних застосування:

- у разі великого вмісту Al заряд створює широкий канал невеликої глибини, так званий тип зарядів «big hole» (BH) для перфорації пласта перед гідророзривом;
- у разі оптимального вмісту Al заряд створює глибокий канал збільшеного об'єму (тип заряду «DPEX» - глибокого проникнення розширений в об'ємі);
- у разі відсутності Al в складі матеріалу заряд працює як кумулятивний заряд глибокого проникнення («DP»).

Враховуючи те, що для кумулятивних зарядів критерії подібності як правило не виконуються, в окремій серії експериментів був відпрацьований варіант заряду для ГРП з калібром 40 мм – ЗП2 62 ВН. На замовлення ДК «Укргазвидобування» в жовтні-листопаді 2016р. була виготовлена дослідна партія зарядів (1000 шт.) ЗП2-62 ВН (маса ВР - 23г). Ці заряди були використані для перфорації пластів перед проведенням гідророзривів в кількох свердловинах Західно-Старовірівського та Східно-Полтавського родовищ. Гідророзриви пластів проведені успішно, що свідчить про відповідність зарядів необхідним технічним вимогам. В 2017р. ДК «Укргазвидобування» замовила промислову партію зарядів ЗП2-62 ВН. Варіанти заряду «DPEX» було відпрацьовано також на заряді ЗКМ-38Д. Порівняння технічних характеристик проводилися з одним із аналогів іноземного виробництва відомої компанії шляхом порівняльних випробувань на мішені сталь Ст.3-АМЦ-н. В результаті випробувань особливих відмінностей по розміру та об'єму каналу не відмічено. Це говорить про правильність вибраного напрямку досліджень і позитивний технологічний результат. В усіх проведених експериментах з композитами, які містили Al, стабільно спостерігалось збільшення об'єму каналів на 10 – 90 % в порівнянні з чистими металами (Cu і Ni) та композитами без Al. Необхідно зазначити, що всі типи зарядів (BH, DPEX, DP – глибокого проникнення) одного калібру виготовляються за допомогою єдиного комплексу інструментів, при цьому деталі пари «пуансон-

матриця») не змінюють своїх форми і розмірів для всіх типів зарядів, що позитивно впливає на вартість виробів. Наступним етапом має бути вдосконалення зарядів шляхом зміни конфігурації КО

Принципи проектування проміжних детонаторів. Для забезпечення повноти детонації свердловинних зарядів використовують проміжні детонатори (ПД), або шашки-детонатори. Ці пристрої за принципом дії на ВР основного заряду можна розділити на дві групи:

- ПД, які збуджують режим перестисненої детонації у ВР основного заряду;
- ПД, які збуджують режим недостисненої детонації.

Прикладом ПД, який збуджує режим перестисненої детонації в основному заряді є універсальний канальний бойовик, в якому реалізована ідея газокумулятивного заряду [8,12]. Швидкість ударної хвилі в каналі такого заряду перевищує швидкість детонації ВР. Іншим прикладом може бути двошаровий заряд, який дозволяє реалізувати принцип суперпозиції хвиль детонації у внутрішньому шарі з утворенням хвилі Маха на осі симетрії з підвищеними параметрами детонації [13].

Прикладом ПД, який збуджує режим недостисненої детонації, описано в роботі [14]. ПД має форму зрізаного конуса і наповнений сумішшю аміачної селітри і нітрометану (85/15). Кумулятивний заряд також може бути використаний як ПД [15]. Запатентовано багато конструкцій ПД, в яких використано переважно ударно хвильові механізми передачі енергії. Їх аналіз і шляхи вдосконалення виходить за межі даної доповіді. Для того, щоб віддати перевагу тій чи іншій конструкції необхідно визначитися з критеріями вибору. Очевидно, що такими критеріями є простота конструкції, невисока вартість, надійність збудження детонації, довжина ділянки нестационарної детонації в основному заряді та безпека робіт.

Висновки. 1. Розроблено рецептури матеріалів КО для кумулятивних зарядів типу «big hole» для ГРП, зарядів типу DPEX глибокого проникнення зі збільшеним об'ємом перфораційного каналу та почалися їх дослідно-промислові випробування. Розроблені рецептури матеріалів можуть бути використані в зарядах усіх калібрів.

2. Сформульовано фізичні принципи та критерії, які використовуються при виборі конструкцій проміжних детонаторів з метою повноти детонації свердловинних зарядів.

Список використаних джерел

1. Механическое действие кумулятивных зарядов с пористыми облицовками [Текст] / Ю.И.Войтенко, С.В. Гошовский, А.Г. Драчук, В.П Бугаец // Физика горения и взрыва. – 2013. - № 1. - С. 125 – 131

2. Войтенко Ю.И. Влияние алюминия на ударные свойства композитных кумулятивных струй [Текст] / Ю.И.Войтенко, В.П Бугаец // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2016. – Вип. 30. – С. 36 – 48.

3. Войтенко Ю.І. Розробка новітніх модифікацій кумулятивних зарядів для перфорації продуктивних пластів в нафтогазових та геологорозвідувальних свердловинах [Текст]] / Ю.І.Войтенко, В.П Бугаец, А.М. Шукюров // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2017. - № 1-2. – С. 173-177.

4. SHEKHARH.Theoretical Modelling of Shaped Charges in the Last Two Decades (1990-2010): A Review [Текст] /H. SHEKHAR //Central European Journal of Energetic Materials. –2012. –V.9(2). - P. 155-185.

5. Федоров С.В., Численный анализ влияния геометрических параметров комбинированной кумулятивной облицовки на массу и скорость формируемых компактных элементов [Текст]/ С.В. Федоров, Я.М Баянова., С.В. Ладов // Физика горения и взрыва. – 2015. - № 1. – С. 150 – 164.

6. Тимошенко А.Б. Моделирование функционирования боевых частей, содержащих снарядоформирующиеся элементы [Текст]/ А.Б. Тимошенко, И.Б. Чепков // Военно-технический сборник. – 2011. – Вып. 2. - № 5. – С. 73 – 81.
7. Гонтарь П. А. Удосконалення технології механічного руйнування гірських порід використанням кумулятивного вибухового ядра [Текст]: дис. кандидата техн. наук: 05.15.03: захищена 28.02.17: затверджена 15.06.17/ Гонтарь Павло Анатолійович. – К.: 2017. – 182 с. – Бібліогр. с. 132 – 148.
8. Михалюк А.В. Эффективность зарядов разных конструкций при разрушении горных пород контактным взрывом [Текст]/ А.В.Михалюк, П.А.Паршуков//Физика горения и взрыва. – 1998. – т.34. - № 5. – С. 130 – 135.
9. Glenn L. A. Pressure-Enhanced Penetration with Shaped-Charge Perforators [Текст] / L. A. Glenn // *Society of Petroleum Engineers. Paper No. SPE-51052*, SPE Eastern Regional Meeting. - Pittsburgh, 1998. – Р. 9-11.
10. Баланкин А.С., Любомудров А. А., Севрюков И. Т. [Кинетическая теория кумулятивного бронепробитания](#). — М.: Изд-во Министерства обороны СССР, 1989. — 271 с.
11. Held M. Liners for shaped charges [Текст]/ М. Held // Journal of battlefield technology. – 2001. – vol. 4.-# 3. – Р. 1 – 6.
12. Комащенко В.И. Повышение эффективности взрывной отбойки на основе новых способов инициирования скважинных зарядов на карьерах [Текст]/ В.И. Комащенко, В.И. Голик, В.А. Белин, А.Л. Гапоненко // Вісник Криворізького технічного університету. – 2014. – №25. – С. 291–303.
13. Чжан С. Формирование и внедрение струи, генерируемой двухслойным кумулятивным зарядом [Текст]/ С.Чжан, Л.Цяо // Физика горения и взрыва. – 2011. – Т. 47. - №. 2 – С.128 – 136.
14. Закусило Р.В. Влияние конической формы промежуточных детонаторов на их инициирующую способность [Текст]/ Р.В. Закусило, В.Р.Закусило // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. «Гірництво».- 2017.- №.32. – С.27-33
15. Ли Я.-Д. Численное исследование влияния осевой асимметрии на способность стержнеподобной струи к ударному инициированию [Текст]/ Я.-Д. Ли, Ю.-С. Дун, Ш.-Ш. Фэн // Физика горения и взрыва. – 2012. – Т. 48. - №. 2 – С.64 – 69.

УДК 622.235

В.З. Вашук, аспірант, В.Г. Кравець, д.т.н., проф. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКУЧОСТІ НА РУЙНУВАННЯ В'ЯЗКИХ СКЕЛЬНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Визначено проблематику руйнування в'язких скельних порід вибухом, вплив в'язкості на протікання процесу вибуху та подрібнення гірської породи. Проведений аналіз існуючих методик руйнування скельних порід з властивістю текучості. Встановлено основні недоліки в методиках розрахунку параметрів вибуху у в'язких скельних гірських породах

Ключові слова: Текучість, скельні гірські породи, напруження, залишкова деформація, в'язкість

Identified the basic problems of crushing viscous rocks by blast, impact viscosity to process crushing the rocks. . The analysis of existing methods of crushing rocks with viscosity parameter. Determined faults in the method of calculation parameters of blast in viscous rocks.

Keywords: fluidity, rocks, tension, residual deformation, viscosity

Вступ. Завдання вивчення руйнування гірських порід в природних умовах є досить специфічною. Неможливість штучного відтворення цього процесу змушує шукати непрямі методи його вирішення. Слід звернути увагу на такі характеристики породи як:

1. Текучість скельної породи
2. Межа міцності скельної породи
3. Розвиток залишкових деформацій

Мета роботи. Визначення оптимальних характеристик вибухової речовини та стану масиву, що піддається підриванню, що впливають на ефективність проведення вибухових робіт у в'язких скельних гірських породах.

Матеріали та результати досліджень. Якщо механіка суцільних середовищ оперує з квазіоднородним тілом, оскільки розглядає ефекти, на які наявність внутрішніх неоднорідностей явним чином не впливає, то проблема міцності стосується локального явища - розриву тіла. При цьому неоднорідність середовища стає найважливішою її характеристикою.

Класичні теорії міцності засновані на тому факті, що тіло руйнується в момент, коли додається до нього напруга досягає певної величини іменоване межею міцності. Для вирішення більшості технічних питань, пов'язаних з короткочасними сильними навантаженнями, це уявлення є цілком достатнім, проте для ряду інших воно не може бути застосовано, тому що в цих випадках настання розриву вже не визначається однозначно величиною діючої напруги, і яке би не було прикладено до тіла постійне навантаження, воно через певний час руйнується.

Дуже істотно, що зіставлення характеристик тривалої міцності і залишкової деформації веде до встановлення тісного зв'язку природи обох явищ.

Теоретично тимчасова залежність міцності розглядалася в багатьох роботах. У ряді робіт це робилося на основі подання основних дифузійних процесів. З точки зору уявлень про дифузійний механізм - розвиток залишкових деформацій пов'язано з переміщенням вакансій, а розвиток руйнувань - з їх стоком в існуючі порожнини, які таким чином і розростаються, що врешті-решт веде до розриву зразка. Зростання тріщин трактується і як результат переміщення дислокацій. Він зв'язується зі стоком їх в тріщину, після чого джерела знову можуть генерувати дислокації.

Подібність функцій, що описують залежність швидкості повзучості і довговічності від напруги спостерігалось тільки для чистих металів і однорідних твердих розчинів, де мабуть близькі механізми обох процесів. Для певних порід зв'язок течії і тривалого руйнування в рівність макроскопічних кількісних характеристик, як правило, не проявляється, але її існування підтверджується різноманітними прямими спостереженнями.

Разом з тим сам процес незворотної зміни макроформи тіл особливо складних за структурою пов'язаний з внутрішнім порушенням суцільності. Макроскопічний процес розвитку пластичної деформації і пов'язаної з нею релаксації напружень може трактуватися, як ряд локальних мікророзривів, в результаті яких відбувається макроскопічна зміна форми квазісплошного тіла.

З іншого боку, явища суцільного і несплошного зміщення точок реальної середовища можуть при певних умовах виступити як перешкоджаючі один одному. Ще А.П. Александровим і С.Н. Журковим (1933) було сформульовано уявлення про взаємовідносини між процесами текучості і руйнування неоднорідного матеріалу: «Якщо швидкість наростання напруги в зразку більше, ніж швидкість, з якою можуть розсмоктуватися перенапруги (що визначаються текучістю), то завжди розрив відбувається, починаючись з неоднорідностей, хоча матеріал в більшій чи меншій мірі може текти ». Очевидно, і навпаки: якщо швидкість розсмоктування перенапруг

більше, ніж швидкість їх наростання, то руйнування буде утруднено або пройде тільки по найбільш сильним неоднородностям.

Дослідженню конкретних механізмів такого «суперечливого» процесу присвячений ряд робіт більш пізніх років (Розенберг, Епштейн, 1960; Регель, 1956; Регель, Лексовській, 1962; Струнін, 1960). У перших чотирьох роботах встановлено, що в результаті дифузійного процесу в зернах відбувається релаксація напруг, а поблизу їх кордонів знімаються піки напружень біля місць концентрації. Відповідно сповільнюється або зупиняється ріст тріщин в прошарках між зернами, а в цілому ускладнюється руйнування і відбувається пластична деформація матеріалу.

Обидва процеси зазвичай протікають одночасно і ступінь просторової неоднорідності руйнування та деформації, як зазначається в роботі Б.М. Струніна (1960), визначається їх конкуренцією. Наприклад, дислокації в залежності від місцевих умов можуть сприяти і руйнування, і пластичної деформації. В роботі Гарбера і Гіндінга (1963) вказується, що «концентрація напружень, в залежності від властивостей матеріалу і умов деформування може привести або до утворення і розвитку тріщин і, в кінцевому етоге до руйнування, або до подолання скупченням дислокацій перешкоди і пластичного течією. Поява та поширення крихкої тріщини можливо лише за умови утрудненої пластичної деформації. Наявність пластичної деформації буде зменшувати концентрацію напружень і виключати можливість утворення і розвитку крихкої тріщини». В останньому випадку напруги біля місць концентрації не піднімаються і відбувається розвиток пластичної деформації.

ВИСНОВОК. Ефективна неоднорідність середовища заключається не тільки в різниці речового складу його структурних елементів, скільки в концентрації напружень поблизу останніх.

Процеси розвитку пластичної деформації і руйнування протікають в матеріалі одночасно і приурочені до областей концентрації напружень; при цьому в залежності від місцевих умов вони можуть сприяти або перешкоджати один одному; незважаючи на генетичну їх близькість в цілому вони конкурують між собою.

Таким чином, якщо тріщини розвиваються в середовищі з постійним часом релаксації або змінним, але залежні від напруги слабкіше, ніж швидкість росту тріщин, то збільшення швидкості деформування веде до посилення відносної нерівномірності зростання тріщин. При повільному впливі проявляється текучість породи і повільний розвиток тріщин з приблизно рівними швидкостями. Так, що аж до дуже великих деформацій за своєю зовнішньою поведінкою тіло подібно квазісплошному. При швидкому ж впливі матеріал стає як би дуже чутливим до неоднорідностей - на найбільш сильних з них швидко розвиваються обрані тріщини, і тіло макроскопічно розділяється на окремі частини перш, ніж його загальна деформація встигає досягти помітних розмірів. Така тенденція в характері руйнування відповідає тому, що зазвичай називається крихким поведінкою матеріалу.

Протилежним чином поводить матеріал, у якого час релаксації залежить від напруги сильніше, ніж швидкість росту тріщин. У міру збільшення швидкості впливу напруга в матеріалі зростає все повільніше і перш, ніж тріщини встигають в ньому розвинути, виявляються досягнутими великі величини квазісплошної деформації. Матеріал деформується тим більше, чим швидше на нього впливають.

Бібліографічний список

1. Ващук В.З. Дослідження впливу показника в'язкості скельних порід на ефективність руйнування гірського масиву вибухом / В. З. Ващук, В. Г. Кравець, О. О. Фролов // Збірник «Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва» – Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла

Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2/2015 (16). – С. 57–64.

2. Кузнецова К.И. Закономерности разрушения упруго-вязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. М.: Наука, 1969

3. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 1977.

УДК 622.271

І.К. Бабичев, аспірант, О.О. Фролов, д.т.н, проф. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБКИ ПРИБОРТОВИХ ЗАПАСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН З ЗАСТОСУВАННЯМ HIGHWALL MINING SYSTEM

Визначені основні технологічні параметри для видобування прибортових запасів корисних копалин з застосуванням Highwall mining system. Проведений аналіз існуючих методик розрахунку технологічних параметрів розробки прибортових запасів корисних копалин, що потенційно можуть бути відроблені Highwall mining system. Встановлено основні недоліки в методиках розрахунку технологічних параметрів, що впливають на безпеку ведення гірничих робіт та коефіцієнт вилучення корисної копалини з надр.

***Ключові слова:** прибортові запаси; Highwall mining system; пружне середовище, деформація, міжкамерний цілик, шаруватість.*

Identified the basic process parameters for extraction of mineral resources in benches using Highwall mining system. The analysis of existing methods of calculating technical parameters for the mineral resources development from the benches which can be developed by the Highwall mining system. Determined faults in the method of calculation of technological parameters that effects on the safety of mining operations and the rate of extraction of minerals from the subsoil.

Keywords: mineral resources in benches, Highwall mining system, elastic surrounding, deformation, tube pillar, lamination

Вступ. До основних технологічних параметрів доробки родовищ, що відроблялися відкритим способом, із застосуванням Highwall mining system належать:

1. Погашений кут укосу бортів розкривних порід;
2. Розмір заходки (ширина, висота, глибина) Highwall mining system;
3. Розмір міжблокових і міжкамерних ціликів та розміри прольотів між ними;
4. Розміри робочого майданчика та інші параметри.

Науковці, які досліджують питання ефективної розробки прибортових запасів корисних копалин із застосуванням Highwall mining system, рекомендують різні методики розрахунку міжблокових та міжкамерних ціликів для забезпечення як безпечного ведення гірничих робіт, так і з метою досягнення високого коефіцієнту видобутку корисної копалини з надр. При цьому питання подальшої поведінки бортів кар'єру після виймання з них корисних копалин майже не розглядається.

Мета роботи. Визначення оптимальної методики розрахунку технологічних параметрів розробки прибортових запасів корисних копалин із застосуванням Highwall mining system, яка враховує максимально можливу кількість факторів, що впливають на ефективність розробки родовища.

Матеріали та результати досліджень. В основі будь-якої методики розрахунку міжкамерних ціликів закладено, зазвичай, декілька гіпотез, а саме: зведення, плит та балок, тріщинуватого середовища та методи механіки пружного середовища. Найбільш відомі методики та їх основні відмінності наводяться нижче [1, 2].

Гіпотеза пружного середовища. Однорідні міцні породи типу пісковиків, що володіють високими пружними властивостями, при достатній їх потужності, практично допустимо розглядати як пружне середовище. Підставою такої аналогії є квазіізотропність таких порід, невелике поширення дефектів їх структури. Як припущення приймається, що товщу порід у вертикальному перерізі можна уподібнити нескінченній пружній півплощини, а гірничу виробку, як виріз в ній.

Гіпотеза плит. Гіпотеза плит є подальшим розвитком гіпотези балок, яку розвивав проф. В. Д. Слесарьов. В ній вперше чітко сформовано уявлення про покрівлю як про плиту і дав наближений метод заміни плити еквівалентної їй балкою. Довів, що покрівля, що складена твердими шаруватими породами як нетріщинуватими, так і тріщинуватими, працює подібно пачкам плит. Це так само підтверджується численними шахтними дослідженнями.

Гіпотеза тріщинуватого середовища. Механізм руйнування тріщинуватих порід в покрівлі представляється в такий спосіб. Проведення виробки призводить до переміщень несучільних плит, що складають покрівлю. Плити розглядаються як балки, у яких розкриваються тріщини поблизу опор і середини. Переміщення частин зруйнованої балки відбувається у вигляді їх повороту щодо опор. Так утворюються трьохшарні арки, які групами або послідовно руйнуються до тих пір, поки проліт не зменшиться настільки, що остання з них не буде володіти деяким запасом несучої здатності.

Гіпотеза склепіння. Уявлення про те, що в покрівлі виробки в ряді випадків може утворитися склепіння відомо дуже давно. Сутність гіпотези полягає в наступному. Над виробкою, що проведена в товщі будь-яких порід (за винятком пливунів), на будь-якій глибині, утворюється звід тиску, який сприймає на себе вагу верхніх порід, розвантажуючи кріплення виробки. Максимальне навантаження на кріплення визначається вагою порід всередині склепіння, яке називається ядром склепіння або склепінням тиску. Дія всієї ваги товщі порід до поверхні передається по низу склепіння на масиви гірських порід з боків виробки.

Гіпотеза склепіння з позицій геомеханіки. Ця гіпотеза підтверджується наступними міркуваннями. Цілісний масив знаходиться в стані рівноваги яке порушується з появою очисного простору. Воно має відновлюватися відповідним перерозподілом напружень в масиві гірських порід і навантажень між ціликами. Перерозподіл напружень супроводжується зрушенням порід по лініях ковзання згідно з паспортом міцності гірських порід. Дуга межі кругів Мора породи в загальному вигляді представляє собою напівсклепіння [2], яке в натуральних умовах замикається аналогічним напівсклепінням з іншої сторони виробленого простору. Результатом є утворенням над очисним простором склепіння природної рівноваги. При цьому відбувається утворення зони розвантаження, яка має за результатами досліджень форму склепіння. Основна задача полягає у визначенні форми кривої, що обмежує склепіння.

Гіпотеза арок систем. Породний масив представляється у вигляді системи взаємодіючих між собою раціональних арок елементів параболічної або еліптичної форми [3]. Напружено-деформований стан масиву визначається з рівняння спільності деформацій раціональних елементів і фізичних рівнянь пружності або пластичності. Результати цих досліджень перенесені на розрахунок ціликів і визначення стійких прольотів камер. При розрахунку ціликів розглядаються відповідні системи раціональних елементів, що сприймають навантаження від власної ваги і ваги верхніх порід. Тиск на цілики визначається у вигляді реакцій опор від систем несучих арок елементів. Ширина ціликів дорівнює подвоєній найменшій товщині системи склепіння, що сприймає навантаження від ваги верхніх порід. При цьому бар'єрні цілики розраховуються на реакції опор системи зведення над відпрацьованим простором, а міжкамерні цілики на реакції опор системи склепіння над камерами.

Основні методи розрахунку параметрів ціликів. На сьогодні існує декілька методик для розрахунку параметрів ціликів, основними з яких є:

1) Метод Турнера. Ґрунтується на гіпотезі, згідно з якою гірничий тиск в ціликах при камерно-стовповій системі розробки визначається вагою стовпа порід (від рівня покладу до поверхні), обмеженого в плані осями симетрії прилеглих до цілика камер або просіків [1];

2) Метод Гупієра. Запропоновано формули для перевірки і розрахунку ціликів, виходячи із того, що навантаження складається із ваги вищезалежачої товщі порід і власної ваги цілику. Система розробки передбачає залишення ціликів у вигляді стін;

3) Метод Грюнера. Даний метод розрахунку приурочений до припущення, що на цілик окрім власної ваги впливає вага вищерозташованих товщ. Даний метод в основному використовується для перевірки;

4) Метод Шевякова. Запропонував формули для ціликів різної форми, які засновані на таких передумовах:

а) найбільше можливе навантаження на опорні стовпи (цілики) створює вага певного обсягу товщі гірських порід до земної поверхні;

б) вертикальні напруження в горизонтальних перерізах цілика вважаються розподіленими рівномірно;

в) величина опору порід ціликів на стиснення, яка отримана лабораторними випробуваннями, вводиться з урахуванням форми ціликів;

г) зростання міцності порід при стисненні ціликів, висота яких менше розмірів їхньої основи, а також підвищення міцності при двухосному стисканні в порівнянні з одноосним не береться до уваги, але це дає підставу вважати, що в подальших розрахунках для відповідних величин вноситься певний запас міцності.

5) Метод Протод'яконова. В основі метода прийнято наступне положення – в породах над підземними виробками утворюються зони знижених напружень. При цьому підземна конструкція сприймає вагу порід, розташованих нижче цієї зони (в межах зони), а інша порода над виробкою передає вагу на цілик.

6) Метод Слесарьова. Даний метод заснований на гіпотезі, що напруження в цілику між двома виробками розповсюджене по закону рівнобічної гіперболи. Таким чином, приймається, що відстань від стінки виробки, на яку чиниться тиск вищезалежачої товщі порід, залежить від їх фізико-механічних властивостей.

7) Метод Стаматина. Цей метод оснований на 3-х припущеннях:

– напруження в масиві розподілені відповідно до гіпотези Рітгера-фон Вільмана і Кулона-Рєбханна;

– частина стовпа шириною a_0 піддається тиску $P = H\gamma$ т/м² (γ - об'ємна вага вищерозміщених порід, включаючи покрівлю, т/м; H - глибина від покрівлі камер до денної поверхні, м);

– частини стовпа шириною $hctg\mu$, що примикають до камер, сприймають вагу, що утворюється в покрівлі камер склепіння;

8) Метод Цимбаревича. Даний метод розрахунку базується на положенні, що епюра стискуючих напружень в цілику між двома гірничими виробками має параболічний вигляд;

9) Метод Руппенейта. В основі цього методу перевірки ціликів на міцність та стійкість є теорія граничної рівноваги. Метод полягає в незалежності рішень двох задач: визначення роздавлюючого навантаження для цілика заданих параметрів і визначення фактичного навантаження на цілик. Відношення цих показників дає коефіцієнт запасу;

10) Метод Ветрова. Сутність методу полягає в комплексному підході до вирішення питання по визначенню параметрів систем камер-міжкамерні цілики та міжблокові цілики. Параметри міжкамерних та блокових ціликів визначається після

визначення стійкого горизонтального прольоту камери. Потім визначаються кількість камер в блоці;

11) Метод Модестова. При визначенні розмірів цілику при шаруватій будові порід покрівлі рекомендується скористатись розрахунковими схемами Модестова в залежності від однорідної або неоднорідної будови покрівлі. При неоднорідній будові шаруватої покрівлі та наявності породи «мосту» міжкамерні цілики знаходяться під навантаженням тільки ваги порід, що знаходяться в призмі з трапецієподібною основою.

Висновки. Провівши детальний аналіз існуючих найбільш відомих способів розрахунку параметрів ціликів можна зробити висновок, що в кожному з відомих методів є певні недоліки. Зокрема, метод Турнера є простим у використанні, проте далекий від фактичних даних. Найбільш точними є методи Модестова та Ветрова, але їхнім основним недоліком можна вважати складність розрахунку. Хоча коли мова йде про безпеку ведення гірничих робіт та економіку гірничовидобувного підприємства то методика розрахунку параметрів системи розробки відіграє важливу роль і саме цим обумовлена складність проведення розрахунку.

Проаналізувавши вищезазначені методи розрахунку параметрів ціликів до загального недоліку можна віднести відсутність методики розрахунку терміну експлуатації охоронного цілику, що достатньо актуально для великих пластових родовищ, що розробляються більше 100 років. Відсутні методики розрахунку параметрів ціликів в небезпечних умовах, такими можуть бути геологічні порушення (диз'юнктивні, геологічні розломи, карсти та тріщини), не враховуються гідрогеологічні умови родовища.

На гірничовидобувних підприємствах за основу розрахунку параметрів ціликів приймаються експериментальні дані конкретного родовища, а у випадку великих розмірів родовища дані по ділянках. Методики розрахунку використовуються для перевірки або за відсутності експериментальних даних в робочій документації.

Бібліографічний список

1. Зубов В.П. Направления совершенствования технологии разработки угольных пластов с использованием комплексов глубокой разработки пластов / В.П. Зубов, Д.В. Осминин // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ №5, 2008, с.25-29.
2. Зубов В.П. Выемка угля в бортах разрезов с использованием комплексов глубокой разработки пластов / В.П. Зубов, Д.В. Осминин // Горный Журнал №5, 2008, с.37-40.
3. Нецветаев А. Г. Алгоритм расчета геомеханических параметров, обеспечивающих безопасность технологии безлюдной добычи угля с применением КГРП / А. Г. Нецветаев, А. А. Григорян, Д. И. Пружина // Уголь. – 2015. – № 1. – С. 25-29.

УДК 622.235

Медяник В. І., студент, Мальцева Ю.С., студент, Кравець В.Г., д.т.н, проф. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ПОДОВЖЕНОГО ЗАРЯДУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Дослідження явищ, що відбуваються в донній частині, дозволяє розробити нові конструкції зарядів. Утворення тріщини в горизонтальній площині на рівні торця шпуру можливе різними методами – через застосування донних конічних вставок з оптимальним кутом розкриття конуса, нарізанням зародкової тріщини в площині дна шпуру спеціальними різцями або застосуванням донного заряду спеціальної форми для спрямування енергії вибуху в потрібному напрямку, в нашому випадку в площині дна. Таким чином, експериментально доведено, що завдяки застосуванню прокладки на бічній поверхні утворюється деформована зона.

The study phenomena occurring in the bottom part, allows to develop new designs charges. The formation of cracks in the horizontal plane at the end of the hole may be different ways - through the use of bottom conical inserts with optimal-angle cone, cutting embryonic cracks in the plane of the bottom hole special cutter or the use of bottom battery specially shaped to direct the explosive energy in the right direction, in our case in the plane of the bottom. Thus, the experiment proved that through the use of pads on the side surface a deformed zone.

Ключові слова: ембріональні тріщини; горизонтальна площина; рphenomena occurring; embryonic cracks, деформація.

Вступ. Ефективне подрібнення гірничої маси досягається в основному за рахунок підвищення питомих витрат вибухових речовин (ВР), використання оптимальних схем підривання та раціональних конструкцій зарядів. Для забезпечення проектною відмітки підосви уступу застосовується перебур шпурів або свердловин. Однак частка корисно використовуваної енергії вибуху частини заряду, що розташовується в перебурі, незначна і витрачається на деформування породи, яка перебуває в умовах всебічного стиснення [1-2].

Для якісної проробки підосви уступу використовують декілька способів: застосування в нижній частині подовженого циліндричного заряду ВР підвищеної потужності, застосування котлових зарядів, конусоподібна форма заряду, створення в перебурі повітряного проміжку або заповнення його водою, послаблення донної частини шпуру шляхом створення початкової горизонтальної тріщини за допомогою попереднього підривання [3,4]. На даний час дослідники все більше приділяють увагу впливові форми донної частини шпуру (свердловини) на подрібнення підосви.

Мета роботи. Дослідження явищ, що відбуваються в донній частині, дозволяє розробити нові конструкції зарядів, застосування яких сприятиме більш повному використанню енергії вибуху в нижній частині уступу для управління величиною перебору або відмови від нього. Зокрема це стосується шпурового методу підривання при відділенні монолітів декоративного каменю, коли потрібне створення умов для максимально обережного впливу на масив, особливо в донній частині шпуру. В ідеалі потрібно створити умови для відриву певного об'єму в заданій площині без пошкодження масиву нижче торцевої частини шпуру.

Матеріали і результати досліджень. Утворення тріщини в горизонтальній площині (рис. 1) на рівні торця шпуру можливе різними методами – через застосування

донних конічних вставок (рис. 2) з оптимальним кутом розкриття конуса, нарізанням зародкової тріщини в площині дна шпуру спеціальними різцями або застосуванням донного заряду спеціальної форми для спрямування енергії вибуху в потрібному напрямку, в нашому випадку в площині дна. Підсилення механічного ефекту при реалізації останнього методу можливе через застосування дископодібних вкладок - металевих або з іншого жорсткого матеріалу, який здатний запобігти пошкодженню породи нижче дна шпуру і скерувати дію вибуху на бічну циліндричну поверхню.

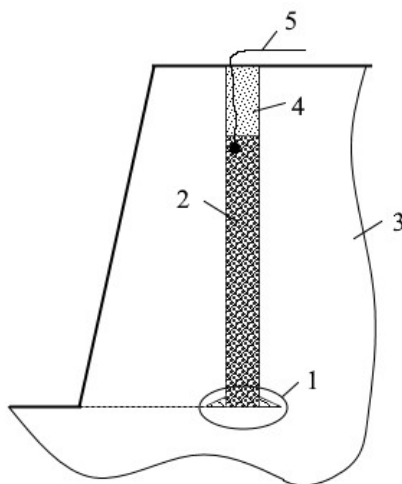


Рис.1. Формування тріщини в горизонтальній площині: 1– зародкова мікротріщина; 2 – вибухова речовина; 3 – масив; 4– забійка; 5 – ініціатор

Для керування механічним ефектом вибуху циліндричного заряду в донній частині шпура, в модельному досліді, використано металеві підкладки. Для встановлення ефективності дії таких підкладок в експериментах використано пластини різної товщини – 1, 2 та 3 мм, які розташовані на горизонтальній площині зразка (рис.3). Очікуваний ефект від дії таких вставок (прокладок) має полягати у переорієнтації поля напружень в моделі та відповідно – поля деформацій.

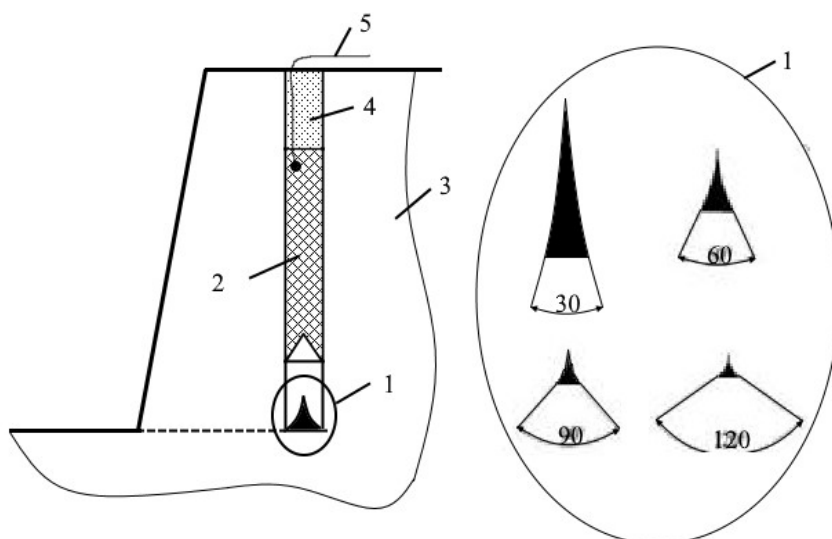


Рис. 2. Конструкція заряду та форми вставок: 1 – форми вставок; 2 – вибухова речовина; 3 – модель масиву; 4 – забійка; 5 – ініціатор

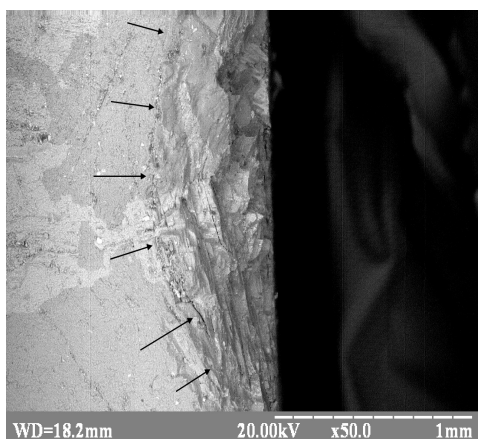
Після проведення дослідів із моделі вирізалась пластина, придатна для подальших досліджень, та вивчалась на електронному мікроскопі з метою виявлення

глибини форми зон мікротріщин.

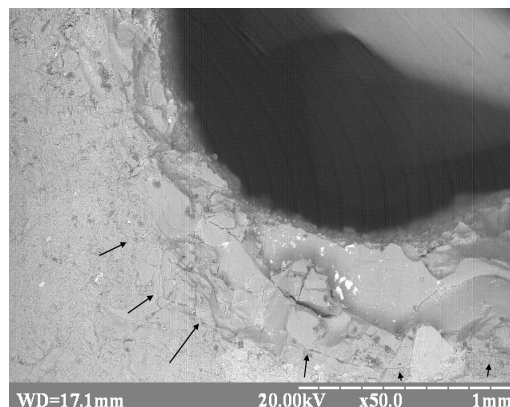


Рис. 3. Модель з металевою пластиною

За опрацьованим даними з електронних знімків отриманих зразків (рис.4) встановлено, що при використанні пластини товщиною 1 мм глибина утворення зони мікротріщин складає 400 мкм, при використанні пластини 2 мм – 610 мкм, а при використанні пластини 3 мм – 700 мкм.



a



б

Рис. 4. Деформація в моделі з пластиною товщиною: *a* – 2 мм; *б* – 3 мм

Аналіз електронних знімків показує, що деформаційні явища спостерігаються лише на бічній поверхні моделі та практично відсутні під металевою прокладкою. Однак глибина утвореної зони деформацій на бічній поверхні моделі зростає із збільшенням товщини прокладки до певної межі, а саме до 3 мм.

На графіку рис. 5 наведена залежність глибини зони мікротріщин від товщини металевої вставки. З нього можна зробити висновок, що потужність зони мікротріщин при постійній величині заряду 2 грами поступово зростає, сягаючи максимуму при товщині пластини близько 3 мм.

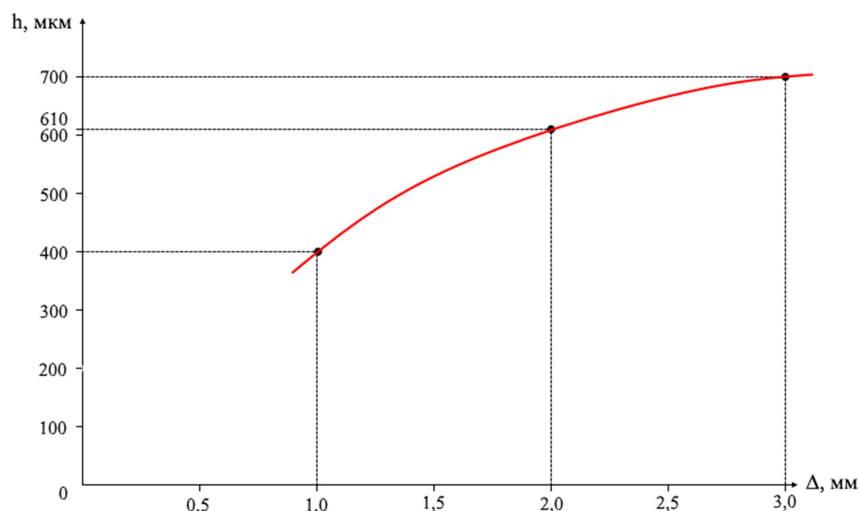


Рис. 5. Залежність глибини зони мікротріщин від товщини металевієї пластини

Висновки. Таким чином, експериментально доведено, що завдяки застосуванню прокладки на бічній поверхні утворюється деформована зона. Вона являє собою зародок тріщини в горизонтальній площині, яка може сприяти зменшенню перебуру в шпурах (свердловинах) або більш точно відділяти в нижній площині певну частину моноліту при використанні шпурових зарядів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ефремов Э.И. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / Э.И. Ефремов, В.М. Комир, И.А. Краснопольский, В.П. Мартыненко. – К.: Техніка, 1990. – 149 с.
2. Берсенев Г.П. Управление качеством взрывного дробления горных пород на нерудных карьерах / Г.П. Берсенев // Изв. вузов, Горн. журн. – 1999. – № 7-8. – С. 61-68.
3. Ефремов Э.И. Действие газообразных продуктов взрыва при дроблении твердой среды / Э.И. Ефремов, Н.И. Мячина, С.Н. Родак // Управление процессами разрушения горных пород. – К. : Наук. думка, 1989. – С. 26-31.
4. Кочанов А.Н. Некоторые современные аспекты проблемы взрывного разрушения горных пород / А.Н. Кочанов // Физические проблемы разрушения горных пород. – М.: ИПКОН, 2004. – С. 214-216.

УДК 622.235

Долошицький В.В., студент, Моденко В.Т., студент, Фролов О.О., д.т.н., проф. (КПІ ім. Ігоря Сікорського)

ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ СПОВІЛЬНЕННЯ ПРИ ПІДРИВАННІ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРОМИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначені найкращі умови для руйнування скельного масиву та проаналізовані інтервали підривання циліндричних зарядів в групі. Проведений аналіз параметрів воронки при різних методах проведення вибухів. Встановлено вплив методу підривання на ефективність вибуху.

Ключові слова: короткосповільнене підривання; воронка; циліндричний заряд, суміжні заряди.

Вступ. При проведенні вибухових робіт існують значні втрати енергії, які значно перевищують частку його потенційної корисної дії. Не повне врахування послідовності та інтенсивності руйнування масиву існуючими засобами теоретичного моделювання дії вибуху є однією із причин таких втрат [1]. Аналізуючи дослідження руйнування масивів при короткосповільненому підриванні (КСП) циліндричних зарядів можна дійти висновку, що інтервали сповільнень, які рекомендують дослідники, мають значне розкидання значень – від декількох до сотень мілісекунд.

Мета роботи. Метою даної роботи є проведення дослідження по встановленню оптимальних інтервалів сповільнення між підриванням циліндричних зарядів в групі для забезпечення найкращих умов для руйнування скельного масиву гірських порід [2].

Матеріали і результати досліджень. На експериментальному блоці було вибурено в два ряди 11 свердловин: у першому ряду розміщено 6 свердловин, у другому ряду – 5 свердловин. Відстань між зарядами в ряду становить 8 м, між рядами свердловин – 5 м, глибина свердловин – 3 м, діаметр заряду – 200 мм, тип вибухової речовини (ВР) – грамоніт 79/21. Схема з'єднання вибухової мережі зарядів ВР показана на рис. 1. Результати експериментальних вибухів представлені в табл. 1.

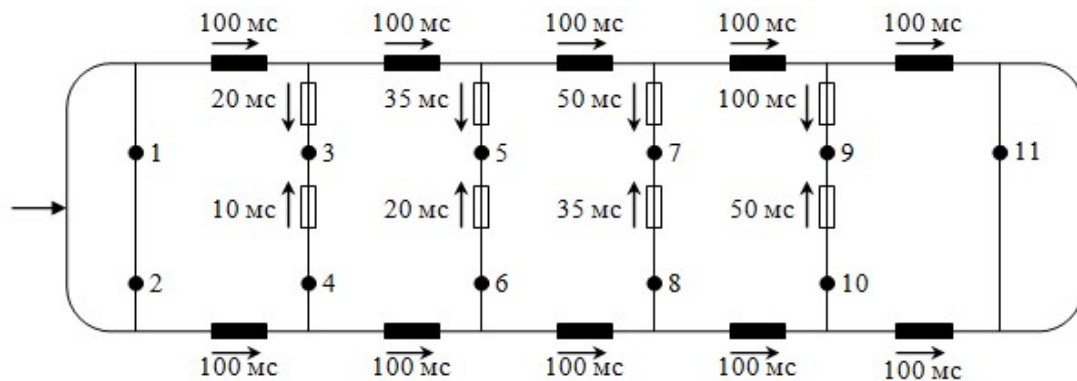


Рис. 1. Схема з'єднання вибухової мережі при короткосповільненому підриванні на експериментальному блоці

Таблиця 1

Параметри воронки руйнування при мілісекундному сповільненому підриванні

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

Номер свердловини	Діаметр воронки на поверхні, м	Глибина воронки, м	Загальний об'єм воронок руйнування, м ³	Діаметр середнього шматка породи, мм	Час сповільнення між вибухами, мс
1	6,1	1,6	30,69	106	0
2	6,2	1,5			
3	6,0	1,5	27,81	113	10
4	6,0	1,45			
5	5,9	1,5	27,80	124	20
6	6,0	1,5			
7	6,0	1,45	27,81	139	35
8	6,0	1,5			
9	6,1	1,4	27,78	143	50
10	6,0	1,50			
11	6,8	1,8	20,58	143	

Аналізуючи дані із таблиці 1, можна дійти висновку, що об'єм та розміри воронки руйнування при вибуху одиночного заряду (свердловина №11) значно більші ніж у воронок руйнування від зарядів, які підриваються зі сповільненням або одночасно. Порівнюючи результати вибухів одночасного підривання зарядів з вибухами при КСП, ми бачимо, що розміри та об'єм воронок руйнування при одночасному підриванні більші (об'єм воронок в середньому більший на 9,5 %), ніж воронки при сповільненому підриванні з будь-якими інтервалами сповільнення (рис. 2). Об'єми воронок руйнування при короткочасному сповільненому підриванні приблизно однакові, тобто інтервал сповільнення між вибухами в межах від 10 до 50 мс не впливає на об'єм при наявності однієї вільної поверхні.

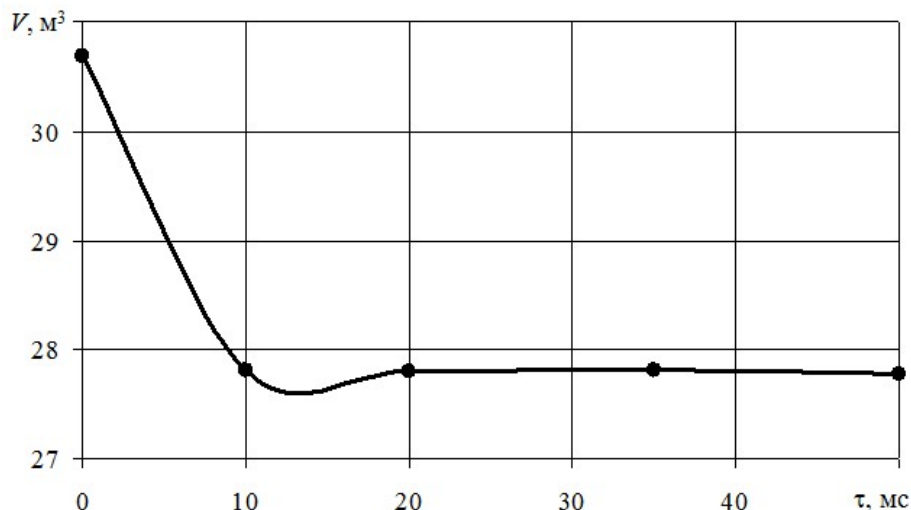


Рис. 2. Залежність об'єму руйнування гірської породи V від інтервалу сповільнення між вибухами свердловинних зарядів τ

Проведено також промислові дослідження, в яких було встановлено вплив мікросекундних сповільнень підривання на ефективність вибуху. Досліджувалися інтервали сповільнення від 800 до 1400 мкс. Параметри буропідривних робіт були такі ж як і в попередньому випадку. Схема розміщення зарядів представлена на рис. 3. Перші дві свердловини підривалися одночасно, а наступні – з інтервалами 800, 950,

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІРНИЧОЇ СПРАВИ ТА ПІДЗЕМНОГО БУДІВНИЦТВА

1100, 1250 та 1400 мкс. Результати підривання представлені в табл. 2.

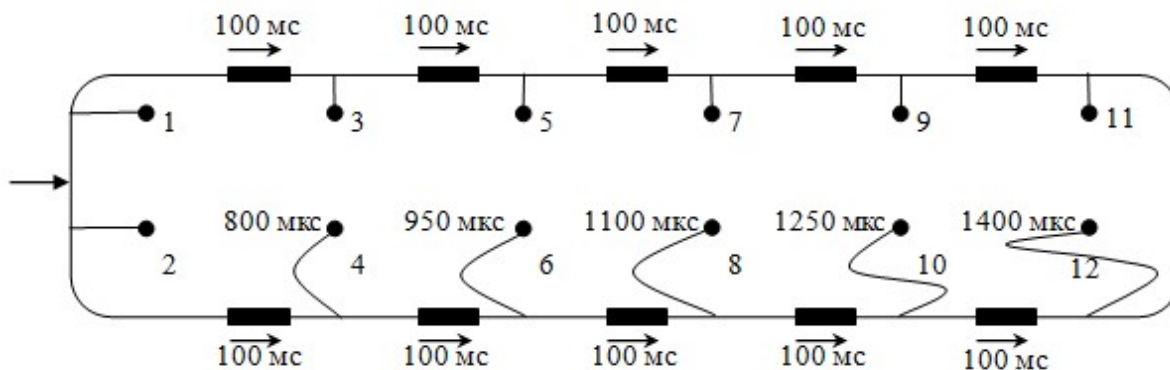


Рис. 3. Схема з'єднання мережі при мікросекундному сповільненому підриванні

Таблиця 2

Параметри воронок руйнування при мікросекундному сповільненому підриванні

Номер свердловини	Діаметр воронки на поверхні, м	Глибина воронки, м	Загальний об'єм воронок руйнування, м ³	Діаметр середнього шматка породи, мм	Час сповільнення між вибухами, мс
1	6,1	1,55	31,17	107	0
2	6,1	1,65			
3	6,0	1,55	28,28	110	800
4	5,9	1,50			
5	6,2	1,65	33,75	109	950
6	6,3	1,65			
7	6,15	1,5	29,95	112	1100
8	6,1	1,55			
9	6,1	1,40	27,78	112	1250
10	6,0	1,50			
11	6,0	1,45	27,57	113	1400
12	5,95	1,5			

Аналіз даних демонструє, що загальний об'єм воронок, які підриваються одночасно або з іншими інтервалами сповільнення, менший ніж у воронок руйнування від зарядів при інтервалі сповільнення 950 мкс. При одночасному підриванні суміжних зарядів діаметр середнього шматка породи має найменші значення. Утворюючи сповільнення між вибухами зарядів розмір середнього шматка збільшується не більше ніж на 5 %.

Графічна залежність об'єму воронок руйнування гірської породи від мікросекундного інтервалу сповільнення представлена на рис. 4. Аналіз результатів показує, що об'єм руйнувань в межах воронок дроблення із інтервалом 950 мкс більший на 8 % ніж при одночасному підриванні. Зі збільшенням інтервалу сповільнення об'єм руйнування зменшується і для 1250 та 1400 мкс він майже однаковий.

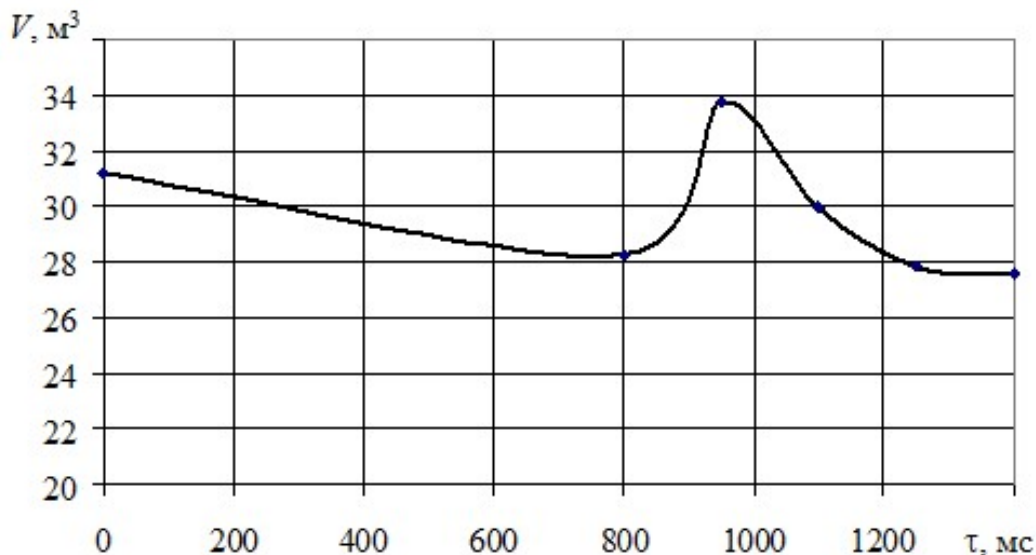


Рис. 4. Залежність об'єму воронок руйнування V від інтервалу сповільнення між підриванням суміжних зарядів τ

Висновки. Проведені промислові дослідження показали, що при наявності однієї площини оголення об'єм воронок руйнування із одночасним підриванням ($\tau = 0$ мс) в середньому більший на 9,5 % ніж об'єм руйнування із КСП із будь-яким інтервалом сповільнення, а на середній діаметр шматка породи впливає час сповільнення між підриванням зарядів. Зокрема, зменшення інтервалу сповільнення між підриванням груп зарядів приводить до зменшення середнього розміру шматка в межах воронок руйнування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Фролов О.О. Встановлення закономірностей руйнування гірських порід вибухом свердловинних зарядів зі сповільненням / О. О. Фролов, В.З. Ващук, В.Т. Моденко, А.В. Куляпіна // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 32. – С. 44-51.
2. Фролов О. О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різноміцнісних масивів гірських порід на кар'єрах / Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03. – К., 2014. – 369 с.

УДК

Бондарь Є.П. студентка 3 курсу ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

Шевчук Н.А. к.т.н., доцент ФММ, НТУУ «КПІ»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАЛУЧЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙ В УКРАЇНУ

Питання створення умов для розвитку інвестиційного ринку та залучення інвестицій в Україну на сьогоднішній час є одним з найактуальніших питань. Україна потенційно може бути однією з провідних країн по залученню іноземного капіталу. Цьому сприяє її величезний природно-ресурсний потенціал, вигідне економіко-географічне положення на межі Європи та Азії, наявність кваліфікованої робочої сили а також значний об'єм внутрішнього ринку.

Економіка України в очах іноземців - об'єкт світового господарства, в який варто вкладати капітал. Добре відомим є той факт, що наша держава багата на корисні копалини, мінеральні та енергетичні ресурси. Іноземці проявляють значний інтерес до

інвестування в народне господарство України, зокрема, в сільське господарство, відновлювану енергетику, легку промисловість, аерокосмічну галузь, яка є одним із пріоритетних напрямків розвитку сучасної економіки. Тож важливо створити умови, які були б прийнятними для іноземних інвесторів. Важливим є врегулювання політичної ситуації, стабілізація курсу національної валюти, знищення корупційних схем.

В Україні і досі відсутня цілісна політика залучення іноземних інвестицій. Функції державного регулювання і контролю за зовнішніми надходженнями в Україну виконують Кабінет Міністрів України, Валютно-кредитна рада при Кабінеті Міністрів України, Міністерство економіки, Міністерство фінансів, Міністерство закордонних справ України, а також різноманітні структурні органи при цих міністерствах. Такий розподіл між різними органами влади не сприяє побудові єдиної стратегії по залученню інвестицій в Україну.

До негативних аспектів, які стримують надходження інвестицій в нашу країну можна віднести: невизначеність навколо військового конфлікту з Росією, судова реформа, нестабільний валютний курс, а також постійні кадрові зміни у владних структурах.

Отже, незважаючи на те, що економіка України досить тривалий час перебуває у складній економічній ситуації та попри відсутність необхідних реформ, держава залишається потенційно привабливою для іноземних інвесторів. Для покращення інвестиційної привабливості необхідно провести деякі реформи, серед яких судова, банківська, податкова. Необхідно також розпочати серйозну боротьбу з корупцією, яка є широко поширеною проблемою в Україні.

Список використаних джерел:

1. Дорошенко Т. В. Сутність інвестицій як економічної категорії / Т. В. Дорошенко // Фінанси України. — 2000. — № 11. — С. 114—118.
2. Про інвестиційну діяльність: Закон України від 18.09.1991 р. №1560-ХІІ зі змінами від № 3370-IV (3370-15) від 19.01.2006 // Відомості Верховної Ради України. — 2006. — № 22. — С. 184.

УДК

Гриценко М. студент гр. ОА-42, ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

Шевчук Н.А. к.т.н., доцент ФММ, НТУУ «КПІ»

ЕКОНОМІЯ КОШТІВ І ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ВСТАНОВЛЕННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

За допомогою частотного перетворювача, який можна встановлювати на підприємства з водопостачання, зокрема на електродвигуни насосних агрегатів, можна збільшити ефективність роботи цих підприємств, що призведе до економії, як матеріальних ресурсів, так і електроенергії в цілому.

Розглянемо економію електроенергії на прикладі електродвигуна насосного агрегату з перетворювачем частоти.

Регулювати рівень подачі води в системі водоспоживання можна кількома способами, розглянемо два з них:

1. За допомогою дроселювання, змінюючи гідравлічний опір тракту, при цьому двигун може працювати на повній швидкості, але в цьому випадку необхідно

додаткове обладнання яке часто виявляється ненадійним, складно регульованим і споживає багато електроенергії.

2. За допомогою зниження частоти обертання електродвигуна насоса при постійній і незмінній характеристиці навантаження. При використанні частотного перетворювача стало можливим динамічно змінювати кількість обертів двигуна.

Заміривши значення електроспоживання при використанні ПЧ і з використанням дросельної заслінки отримаємо економію електроенергії в 42% при застосуванні перетворювача в порівнянні з заслінкою, взявши дані вартості електроенергії за 1 кВт /год. = 90 коп.

Таким чином, при вартості ПЧ в 12500 грн. він окупається приблизно за 3 місяці, а система на основі перетворювача вартістю 48000 грн. окупається приблизно за рік, надалі працює тільки на економію енергії та як наслідок грошових коштів підприємства.

Крім економії коштів отримаємо:

- економію електроенергії до 50%
- підвищення строку служби технічного обладнання
- зниження витрат на ремонт

Список використаних джерел:

1. Прес-служба Компанії ТОВ "Елком"
2. [Посилання на інтернет ресурс]: <http://www.kipia.info/publication/variant/>

УДК

Майстренко Л.Ю. студентка гр. ОА-42, ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

Шевчук Н.А. к.т.н., доцент ФММ, НТУУ «КПІ»

ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

У всьому світі, на даний час, питання енергозбереження постає дедалі актуальнішим. Це не лише економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на електричні мережі, а також, що надзвичайно важливо, збереження довкілля для наших нащадків.

Однією з характерних рис сучасного етапу науково-технічного прогресу є зростаючий попит на всі види енергії.

Промислові компанії практично завжди споживають більше електрики, ніж необхідно, так як використовують дуже потужне обладнання, що живиться від мережі електричного струму.

Сучасні потужні виробничі компанії, які щомісяця споживають 5-10 мільйонів кВт/год зацікавлені в тому, щоб економія електроенергії здійснювалася на найвищому рівні. Це необхідно з багатьох причин, але найголовніша полягає в економії коштів на оплату електрики, що дуже актуально в наш час, коли ціна на неї регулярно зростає.

Варто зауважити, що енергозбереження на підприємстві може бути досягнуто шляхом:

- застосування нових технологій для енергозбереження;
- впровадження нових технологій виробництва продукції;
- впровадження у виробництво більш досконалого обладнання;
- підвищення можливостей експлуатації і технічного обслуговування виробничого обладнання;
- зменшення втрат в системі постачання заводу електрикою;
- раціонального використання енергосистеми в години максимальних навантажень.

Було визначено декілька дієвих способів економії електроенергії на підприємстві :

- більше світла обробка стель і стін допоможе зекономити від 1 до 3% електроенергії, яка зазвичай витрачається на освітлення;
- не закривайте вікна шторами або іншими предметами — тоді Ви зможете заощадити від 1 до 3% електроенергії, яка звичайно витрачається на освітлення;
- тримайте Ваші вікна в чистоті: чисті вікна дозволяють заощадити від 3% електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- утримуйте в чистоті світильники та плафони, це дозволить заощадити від 5 до 20% електроенергії, що витрачається на освітлення;
- використовувати місцеве освітлення (настільні лампи, торшери, бра тощо). У разі вимкненого або зниженого рівня загального освітлення можна заощадити від 30 до 50 % електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- підключіть загальне освітлення групами, які будуть ділити приміщення на різні світлові зони. Цей захід забезпечить економію електроенергії від 20 до 50 % від кількості електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- використовуйте лампи з високим коефіцієнтом корисної дії від споживаної енергії (КЛЛ, світлодіодних, Дюгових Натрієвих Трубчастих в циліндричній колбі, металогалогенних та ін). Таким чином можна добитися економії електроенергії на підприємствах від 20 до 80% електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- застосовуйте пускорегулюючі апарати, які регулюють режим запалювання і стабілізацію струму розряду люмінесцентних ламп (ЕПРА) — це дозволить заощадити до 30% електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- застосування світлотехнічної арматури (ефективні відбивачі) дозволить заощадити до 15% електроенергії, яка витрачається на освітлення;
- виберіть датчики руху і освітленості, а також реле часу, які є системами автоматичного управління освітленням — це забезпечить економію від 30 до 80% споживаної електроенергії енергії на освітлення;
- при проектуванні будівель організуйте застосування рішень, які будуть передбачати максимальне використання природного світла — це дуже значно впливає на величину економії електроенергії.
- використовуйте енергозберігаюче електроопалення (в приміщеннях, де відсутня можливість використовувати централізоване водяне опалення):

Як бачимо існує цілий ряд напрямків збереження електроенергії. і який з них доцільно вибрати залежить від специфіки та можливостей підприємств. Оптимальним варіантом є поєднання усіх напрямків роботи в питаннях енергозбереження на підприємствах.

Список літератури:

1. <https://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/13>
2. <http://www.nerc.gov.ua/?id=19531>
3. <http://ukrenerho.com/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpriyemstvi-energozberezhennya/>
4. <http://ekopalyvo.com/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpriyemstvi-i-virobnitstvi-metod-znizhennya/>

УДК

П'ятигорець Є. студентка 3 курсу ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

Шевчук Н.А. к.т.н., доцент ФММ, НТУУ «КПІ»

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

Завдяки енергії Сонця, Землі, води та вітру можна забезпечити все населення

планети електроенергією, тим самим не забруднюючи атмосферу.

Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) встановила такий тариф на 01.03.2017 р. для населення, що мешкають у жилих будинках (у тому числі домах з кухонними електроплитами), у тому числі й у сільській місцевості:

- за об'єм, використаний до 100 кВт*год електроенергії в місяць – 90коп. за 1 кВт*год с НДС;
- за об'єм, використаний більше 100 кВт*год електроенергії в місяць – 168 коп. за 1 кВт*год с НДС [1].

Для прикладу візьмемо квартиру площею 50 м² з газовим опаленням. У зимовий період мешканці цієї квартири споживають 300 кВт*год, у літній 200 кВт*год. Різниця у 100 кВт*год пов'язана зі зменшенням тривалості світлового дня, переходом з літнього часу на зимовий та більшою втратою електроенергії на підігрів води у бойлері.

Розрахуємо скільки мешканцям необхідно заплатити за 1 рік споживання електроенергії. Для розрахунку зимового періоду візьмемо 5 місяців по 300 кВт*год у кожному – $5 \cdot 300 \cdot 1,68 = 2500$ грн. Для літнього періоду 7 місяців по 200 кВт*год – $7 \cdot 200 = 1260$ грн. Отже у зимовий період приблизно у 2 рази більше треба сплатити коштів ($2500/1260=1,98$), за рік сума становить 3760 грн.

На вирішення цієї проблеми приходять альтернативна енергетика, а саме геліоенергетика. Раніше сонячні панелі були розкішною, їх встановлювали лише у багатих країнах світу. З роками вартість на них почала знижуватися і нині не тільки підприємці можуть собі дозволити, а й звичайні мешканці власних будинків. Для людей, що живуть в багатоповерхівці, встановлення сонячних колекторів є проблемою, тому вони можуть встановлювати жалюзі на вікна, які використовують енергію сонця як джерело електроенергії. Собівартість з монтажем становить \$300 (7800 грн.). Один такий пристрій, встановлений всередині кімнати спрямованої на південну орієнтацію може виробити 100 кВт, ззовні – 150 кВт протягом місяця. Таким чином на приведену вище квартиру необхідно встановити 3 пристрої, затративши 23400 грн. Тоді при даному тарифі окупність становитиме 6 років. Але тариф постійно змінюється, тому кількість часу може зменшитися й до 5 років. Термін експлуатації 10 років.

Сонячну батарею використовують для підзарядки калькуляторів, ліхтариків, електромобілів, в авіації (проект зі створення літака – Solar Impulse), у медицині (мініатюрне джерело енергії для безперервної роботи приладів, таких як кардіостимулятор), а також для енергозабезпечення будівель.

За прогнозами у 2017 році відновлювана енергетика залучить \$243 млрд інвестицій - і рекордсменом стане саме сонячна енергетика, яка приверне більше інвестицій, ніж вугільна, газова і ядерна разом узяті [2].

Висновок: сонячні колектори економічно-ефективні для бюджету кожної сім'ї та країни в цілому, тому будемо сподіватися, що мешканці багатоповерхівок на рівні з власниками приватних сонячних електростанцій зможуть використовувати енергію сонця, економлячи сімейні кошти.

Список використаних джерел:

1. Тарифы на электроэнергию [Електронний ресурс]- <http://index.minfin.com.ua/tarif/electric/>
2. <http://moesonce.com/povidomlennya/sonyachna-energetika-dozvolit-zabezpechiti-energiyu-vsyyu-planetu.html>
3. Альтернативная энергия [Електронний ресурс]- <http://ru.alternative-energy.com.ua>