

УДК 621.311

О. В. Коцар, С. В. Полевик

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Кафедра електропостачання,
м. Київ, Україна**

**Підвищення ефективності енерговикористання
на промислових підприємствах за результатами контролю поточних параметрів
режимів електроспоживання**

У статті показано використання функціональних можливостей автоматизованих систем обліку електроенергії та застосування єдиної системи для вирішення всього комплексу завдань контролю, обліку і управління енерговикористанням промислового підприємства та підвищення ефективності споживання електроенергії

В статье показано использование функциональных возможностей автоматизированных систем учета электроэнергии и применение единой системы для решения всего комплекса задач контроля, учета и управления энергопотреблением промышленного предприятия и повышения эффективности потребления электроэнергии

The article shows the use of the functionality of the automated meter reading systems and use a single system to address all the complex tasks of monitoring, recording and management of industrial enterprise energy use and increase energy efficiency

Сучасним напрямом наукової діяльності вчених Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (ІЕЕ) Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»), зокрема кафедри електропостачання, є вирішення проблем підвищення енергозбереження та раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, а також сталий розвиток енергетики України.

З кінця 60-х років 20-го століття вчені кафедри електропостачання НТУУ «КПІ» займаються проблемою управління енерговикористанням. В результаті досліджень була започаткована концепція комплексного управління енерговикористанням, яка передбачала вимірювання електричної енергії та потужності, оперативне керування електроспоживання за результатами короткострокового та довгострокового планування з метою виконання споживачами заданих режимів електроспоживання та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів [1].

В Україні на основі праць вчених кафедри електропостачання НТУУ «КПІ» розроблені та створені локальні та регіональні системи управління електроспоживанням, автоматизовані системи обліку електроенергії (АСОЕ) та автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Запропоновано новий підхід до нормалізації електроспоживання, який відрізняється від традиційного нормування питомих витрат електричної енергії.

Контроль енергоефективності впровадження енергозберігаючих заходів є необхідним для доказу та демонстрування здійснення енергоефективності. В науковому світі не

проводились дослідження у напрямку використання можливостей автоматизованих систем комерційного та технічного обліку електроенергії, систем управління електроспоживанням для визначення та контролю ефективності електроспоживання промислових підприємств.

Поставленою задачею є розробка методології використання інформаційних даних систем контролю, обліку та управління режимами електроспоживання промислових підприємств у визначенні та підвищенні ефективності енерговикористання, у побудові систем контролю та планування енергоспоживання промислових підприємств.

Необхідно розглянути методологію інтеграції методик та завдань систем нормування питомих витрат енергоресурсів і контролю ефективності енерговикористання з системами обліку електроенергії та управління електроспоживанням, з використанням можливостей та переваг кожної системи.

Система обліку та контролю електроенергії підприємства дозволяє створювати електробаланс підприємства. Аналіз електробалансу дозволяє визначати основні напрями економії і раціонального використання електроенергії, вибирати оптимальну стратегію планування і управління електроспоживанням підприємства. Система обліку електроенергії підприємства дозволяє вирішувати внутрішньовиробничі задачі, такі, як визначення фактичного використання електроенергії, визначення небалансу та втрат електроенергії в мережах підприємства.

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії являє собою комплекс технічних, математичних, алгоритмічних і програмних методів і засобів, призначених для комерційного обліку електричної енергії.

Сучасна АСКОЕ передбачає застосування багатофункціональних електронних лічильників електроенергії. Принциповою відмінністю багатофункціональних електронних лічильників електроенергії перед індукційними та звичайними електронними лічильниками є спроможність не тільки вимірювати електричну енергію, а й обробляти вимірювальну інформацію, обчислювати параметри енерговикористання та зберігати їх в первинній базі даних (ПБД). Доступ до ПБД забезпечується через цифрові комунікаційні інтерфейси багатофункціональних електронних лічильників електроенергії за допомогою оригінальних протоколів виробників цих лічильників [4].

Багатофункціональні електронні лічильники електроенергії мають перевагу перед іншими типами лічильників в частині надання споживачу повних та достовірних даних комерційного обліку [4].

АСКОЕ, що використовуються в Україні, мають також враховувати досвід розвитку систем обліку електроенергії, що застосовуються в Західній Європі (системи АММ (Automated Meter Management) та АМІ (Advanced Metering Infrastructure)), які крім здійснення автоматизованого зчитування даних обліку, передбачають включення і зацікавленість споживача у контроль та управління власним електроспоживанням, навіть на рівні побутового споживача, наприклад, за допомогою Web-додатків. Вказані системи здійснюють двосторонній зв'язок між споживачем та енергопостачальною компанією та забезпечують облік не тільки електроенергії, а і інших енергоресурсів, таких як газ, холодна та гаряча вода, тепло.

Впровадження АСКОЕ відкриває промисловому підприємству широкі можливості щодо керування власним енерговикористанням, в т.ч. дозволяє в реальному часі контролювати характеристики режимів електропостачання підприємства, здійснювати аналіз режимів електроспоживання з метою виявлення та наступного зменшення (усунення) втрат та непродуктивних витрат електроенергії, що призводить до зниження енергоємності продукції, а відповідно й до підвищення її конкурентоздатності, зменшити витрати

підприємства на електроенергетичні ресурси без зниження рівня електроспоживання за рахунок вибору оптимальних тарифів під час розрахунків за електричну енергію, керувати режимами електроспоживання з метою оптимізації витрат на електричну енергію за рахунок використання електроенергії в години доби, яким відповідають найнижчі тарифні коефіцієнти, ще більше заощаджуючи під час оплати спожитої електроенергії [5]. Наявність просто автоматизованої системи комерційного обліку дозволяє здійснювати контроль та аналіз режимів електроспоживання підприємства на основі даних комерційного обліку [5].

За необхідністю оператор АСКОЕ може в інтерактивному режимі запросити актуальні дані на будь-який момент часу або здійснювати безперервний контроль поточних параметрів режимів електроспоживання (ППРЕ) підприємства, в т.ч. в періоди максимальних навантажень енергосистеми [5].

Дані, надані АСКОЕ, дозволяють здійснювати контроль ефективності електроспоживання промислового підприємства шляхом розрахунку за нижченаведеними формулами наступних параметрів [2].

Середньодобове навантаження підприємства визначається за формулою:

$$P_c = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k}{m},$$

де: m - число ступенів у графіку навантаження підприємства; P_k - значення навантаження k -ї ступені, кВт.

Як відомо, втрати активної електроенергії в мережі пропорційні квадрату електричного навантаження підприємства, тому для контролю ефективності електроспоживання можна піддавати аналізу також квадратичні графіки навантаження. Одним з показників таких графіків є їхнє середньоквадратичне значення, яке розраховується за формулою:

$$P_{ck} = \sqrt{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k^2}{m}}.$$

На основі значень середньодобового і середньоквадратичного навантаження визначаються дисперсія Dp і середньоквадратичне відхилення (стандарт) σp графіка навантаження, значення яких характеризує нерівномірність використання підприємством активної електричної потужності протягом доби:

$$Dp = P_{ck}^2 - P_c^2,$$

$$\sigma p = \sqrt{Dp}.$$

Розрахунок часу використання підприємством максимальної потужності здійснюється за формулою:

$$T_{max} = \frac{W_{доб}}{P_{max}},$$

де: $W_{доб}$ - добове споживання електроенергії підприємством, кВтг; P_{max} - максимальна активна потужність, що використана підприємством протягом доби, кВт.

Окрім дисперсії і стандарту нерівномірність графіка навантаження оцінюється за значеннями наступних коефіцієнтів:

коефіцієнт форми:

$$K_{\phi} = \frac{P_{ск}}{P_c};$$

коефіцієнт заповнення графіка навантаження:

$$K_z = \frac{P_c}{P_{max}},$$

де: P_{max} - максимальне значення середньогодинного навантаження підприємства протягом доби, кВт;

коефіцієнт максимуму навантаження за добу:

$$K_{max} = \frac{P_{max}}{P_c};$$

коефіцієнт нерівномірності:

$$K_n = \frac{P_{min}}{P_{max}},$$

де: P_{min} - мінімальне значення середньогодинного навантаження підприємства протягом доби, кВт.

На підставі планів споживання електроенергії промисловим підприємством визначаються договірні рівні потужності в години ранкового й вечірнього максимумів навантаження енергосистеми, в т.ч.:

- в години ранкового максимуму:

$$P_{м.р} = \frac{W_{доб}}{24K_{з.р}},$$

$$K_{з.р} = \frac{P_c}{P_{м.р}},$$

де: $P_{м.р}$ - максимальне навантаження в години ранкового максимуму, кВт;

- в години вечірнього максимуму:

$$P_{м.в} = \frac{W_{сут}}{24K_{з.в}},$$

$$K_{з.в} = \frac{P_c}{P_{м.в}},$$

де: $P_{м.в}$ - максимальне навантаження в години вечірнього максимуму, кВт.

Крім контролю ефективності електроспоживання дані, надані АСКОЕ, дозволяють виконувати аналіз параметрів режимів електропостачання підприємства, в т.ч. на підставі добових графіків навантаження, місячних і річних графіків електроспоживання визначити втрати в трансформаторах і контролювати їхні коефіцієнти завантаження.

Повне навантаження трансформатора по даним фактичного споживання активної електричної енергії та інтегрованої в часі реактивної електричної потужності визначається за формулою:

$$S_{\phi} = \sqrt{P_{\phi}^2 + Q_{\phi}^2},$$

де:

$$P_{\phi} = \frac{W_{P.\phi}}{T_p},$$

де: P_{ϕ} - фактична активна потужність трансформатора, кВт; $W_{P.\phi}$ - споживання активної електричної енергії, кВтг; T_p - кількість годин роботи трансформатора під навантаженням, год;

$$Q_{\phi} = \frac{W_{Q.\phi}}{T_p},$$

де: Q_{ϕ} - фактична реактивна потужність трансформатора, кВАр; $W_{Q.\phi}$ - інтегрована в часі реактивна електрична потужність, кВАрг.

Коефіцієнт завантаження трансформатора розраховується за формулою:

$$K_3 = \frac{S_{\phi}}{S_n},$$

де: S_n - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Втрати активної електроенергії в трансформаторі визначаються:

$$\Delta W_P = \Delta W_{P_{XX}} + \Delta W_{P_{K3}} = \Delta P_{XX} \cdot T_{II} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} \cdot T_p$$

де: T_{II} - число годин роботи трансформатора протягом доби, год; ΔP_{XX} - втрати активної потужності в осерді трансформатора, кВт; ΔP_{K3} - втрати активної потужності в обмотках трансформатора при номінальному навантаженні, кВт.

Втрати реактивної потужності трансформатора в режимі холостого ходу визначаються:

$$\Delta Q_{XX} = S_n \cdot \frac{I_{XX}}{100},$$

де: I_{XX} - струм холостого ходу трансформатора, %.

Втрати реактивної потужності трансформатора в режимі короткого замикання розраховуються:

$$\Delta Q_{K3} = S_n \cdot \frac{U_{K3}}{100},$$

де: U_{K3} - напруга короткого замикання трансформатора, %.

Втрати інтегрованої в часі реактивної електричної потужності в трансформаторі:

$$\Delta W_Q = \Delta W_{Q_{XX}} + \Delta W_{Q_{K3}} = \Delta Q_{XX} \cdot T_{II} + K_3^2 \cdot \Delta Q_{K3} \cdot T_p.$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора визначається за наступною формулою:

$$K_3 = \frac{I}{S_{ном,m}} \cdot \sqrt{\frac{s_{H1}^2 \Delta t_1 + s_{H2}^2 \Delta t_2 + \dots + s_{Hm}^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}},$$

де: s_{Hm} - початкова потужність навантаження на інтервалі часу Δt_m .

Значення K_{max} визначається:

$$K_{max} = \frac{S_{max}}{S_{ном,т}},$$

де: S_{max} - максимальне значення повного навантаження протягом доби, кВА.

Оцінка ефективності енерговикористання дозволяє створити основи для прогнозування та планування обсягів енергоспоживання і забезпечити умови, необхідні для стимулювання та практичного досягнення енергозбереження.

Розглянемо практичні аспекти застосування АСКОЕ для нормування електроспоживання.

Для ефективного вирішення задач контролю та управління режимами електроспоживання підприємства та оцінки ефективності енерговикористання в структуру АСКОЕ разом з лічильниками комерційного обліку електроенергії, що забезпечують облік поступання електроенергії в мережу підприємства і відпуск електроенергії з мереж підприємства в зовнішню мережу (субабоненти, транзит), повинні також включатися лічильники технічного обліку електроенергії. Останні забезпечують вимірювання технологічних витрат електроенергії електроприймачами підприємства. Об'єднання лічильників комерційного і технічного обліку в єдину систему дозволяє формувати поточний баланс електроспоживання підприємства, котрий є основною базою для вдосконалення нормування енергоспоживання, оперативно виявляти і ліквідувати втрати і неефективні затрати електричної енергії всередині підприємства, визначати фактичну потужність, що використовується підприємством, в тому числі максимальну потужність в часи найбільших навантажень енергосистеми, і є невід'ємною умовою ефективного управління і оптимізації режимів електроспоживання підприємства [3].

Поєднання систем комерційного та технічного обліку дозволить скласти енергетичні баланси окремих агрегатів. Енергетичні баланси агрегатів представляють собою один з основних інструментів вирішення задач енергозбереження. Зокрема, їх створення та аналіз дозволяють:

- виявити наднормативні втрати енергії і розробити заходи для їх усунення;
- визначити напрямлення модернізації (заміни) морально зношеного і фізично застарілого обладнання;
- обґрунтувати об'єми та режими енергоспоживання.

Маючи систему контролю параметрів електроспоживання агрегатів можна здійснювати контроль працездатності агрегатів. Наприклад, порівнюючи струми холостого ходу в однотипних електричних двигунів в режимі реального часу можна визначити двигуни з дефектами підшипників та інших вузлів.

Організована автоматизована система обліку електроенергії, контролю та управління режимами електроспоживання, оцінки ефективності енерговикористання дозволить здійснювати апаратне забезпечення доказів ефективності енерговикористання та енергозбереження енергоресурсів на підприємстві і доцільність вкладених інвестицій, в тому числі і на апаратне забезпечення технічного обліку.

Крім того, автоматизована система забезпечить контроль стану устаткування; моніторинг результатів генерації, розподілу і споживання електричної енергії, включаючи результати управління режимами електроспоживання; забезпечить отримання оперативної інформації про аварійні відключення устаткування, дозволить здійснювати моніторинг параметрів якості електричної енергії; контроль нормованих показників електроспоживання; розрахунок втрат потужності і електроенергії в розподільчих мережах промислового підприємства.

Результати аналізу дозволяють перевірити відповідність проектних розрахунків фактичним даним експлуатації; виявити причини відхилень ППРЕ від розрахункових значень і розробити заходи, що направлені на виправлення положення; розрахувати параметри технічних засобів, призначених для підвищення ефективності енерговикористання [3].

При розробці методики оброблення даних необхідно враховувати наступні вимоги: система має бути типовою для різних цехів, незалежно від обладнання, що використовується; мати неперервний режим експлуатації, тобто під час ремонтних робіт повинна бути виключена можливість зниження надійності функціонування системи, виключена втрата інформації, що надходить.

Проведення всебічного аналізу потребує достовірної інформації про всі без виключень параметри електроспоживання з мінімальним циклом вимірювань [3].

Для організації даної системи підійде розроблена структура розподіленої АСКОЕ на промисловому підприємстві [3] для загального випадку, яка зображена на рисунку.

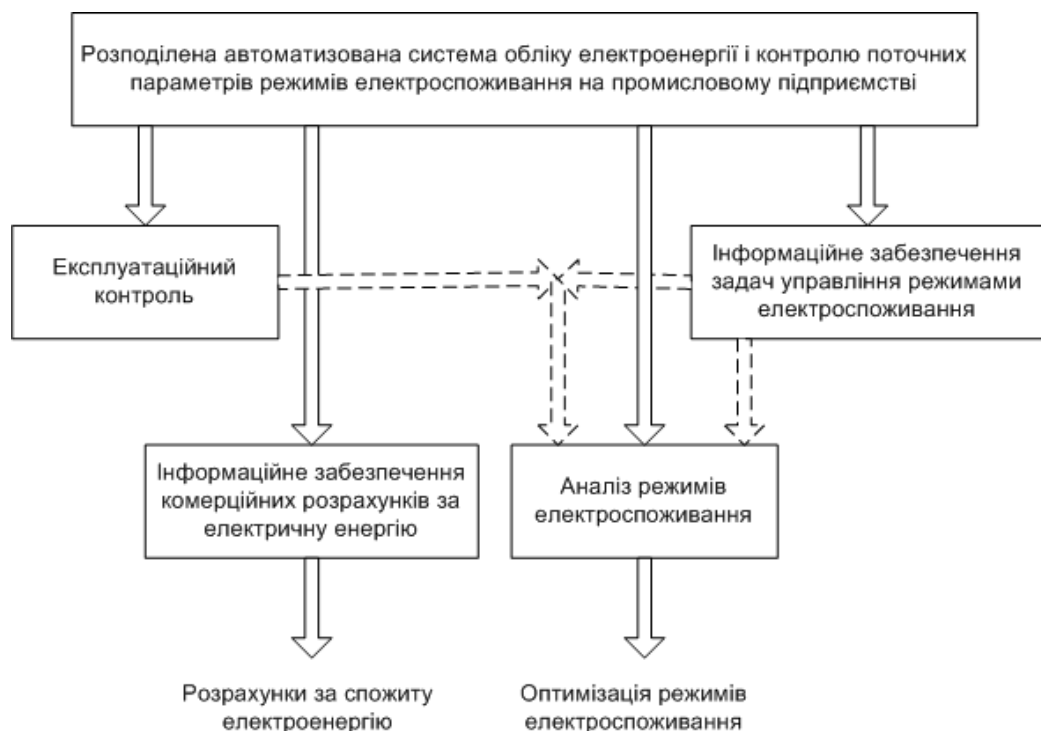


Рисунок 1 – Структурна схема розподіленої АСКОЕ на промисловому підприємстві

Комплексне використання автоматизованої системи комерційного обліку (а саме розрахункових лічильників на межі балансової приналежності підприємства), автоматизованої системи технічного обліку (а саме лічильників обліку електроенергії на фідерах приєднань) та датчиків потужності на кожному промисловому агрегаті дозволить створити систему обліку електроенергії та контролю енергоефективності енергоспоживання, яка виконуватиме поставлені задачі, зображені на рисунку 2.

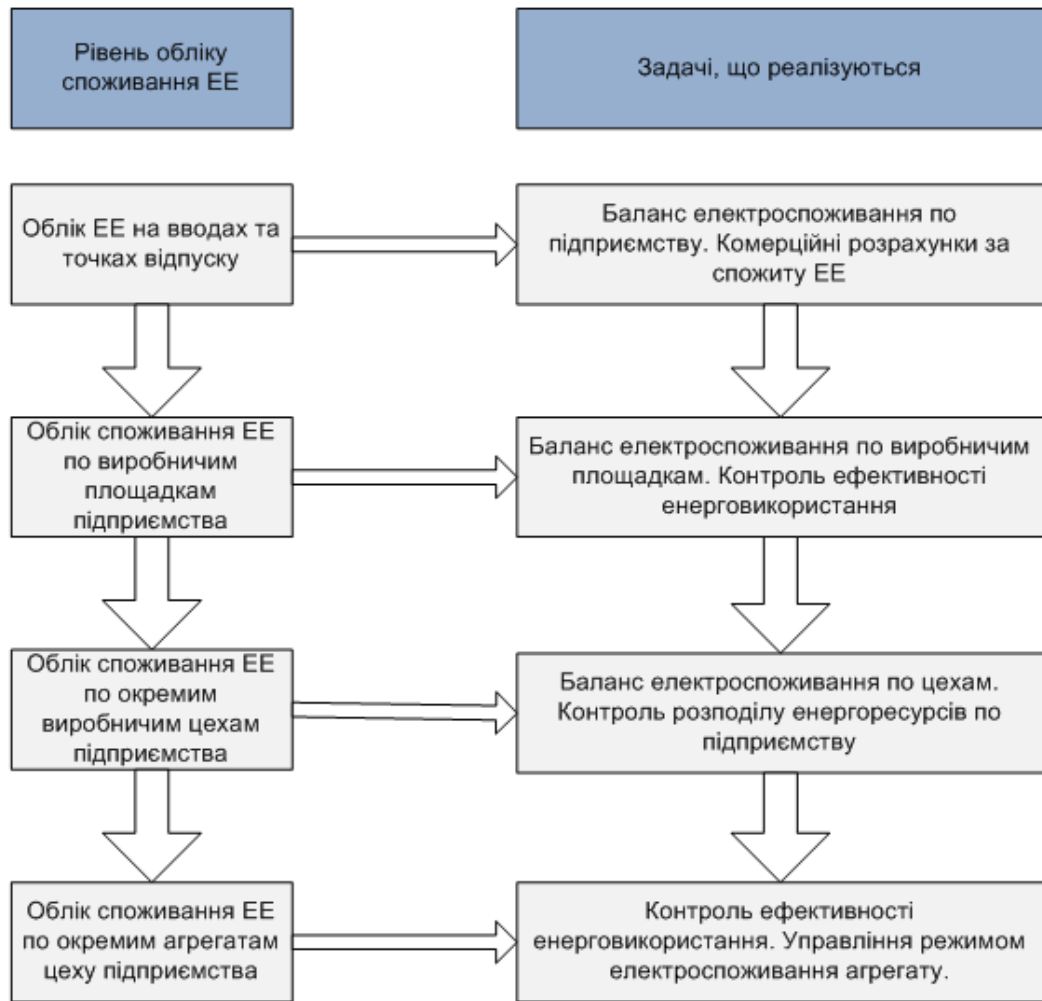


Рисунок 2 – Основні задачі, що реалізуються розподіленою АСКОЕ

Створена автоматизована система обліку електроенергії, контролю та управління режимами електроспоживання, оцінки ефективності енерговикористання, дозволить отримувати дані вимірювань параметрів електроспоживання і параметрів якості електромережі з електронних лічильників електроенергії, згруповані по агрегатам і цехам, і на основі цих даних можуть контролюватися коефіцієнти потужності електричних двигунів, видавати рекомендації по зміні режимів їх роботи, збільшенню або зниженню завантаження силових трансформаторів та електричних двигунів, давати команди на включення або відключення батарей статичних конденсаторів.

Експлуатаційний контроль необхідний для інформування оперативного персоналу про ППРЕ підприємства. При відхиленні контрольованих параметрів від нормативних значень і виникненні аварійних режимів роботи системи електропостачання на основі результатів контролю встановлюються причини порушення режиму електропостачання і розробляються заходи, направлені на їх усунення. Результати експлуатаційного контролю дозволяють також розроблювати різні заходи режимного характеру. Такий контроль можна розглядати як нижню ланку загальної розподіленої автоматизованої системи обліку електроенергії і контролю поточних параметрів режимів електроспоживання [3].

Розроблені принципи використання автоматизованої системи контролю, обліку та

управління режимом електроспоживання для контролю і управління електроспоживанням, а також для оцінки ефективності енерговикористання, мають бути оптимальними та дієвими. При цьому автоматизована система контролю, обліку та управління режимом електроспоживання має являти собою комплекс технічних, математичних, алгоритмічних і програмних методів і засобів, призначених для здійснення поставлених цілей та завдань.

Автоматизована система контролю, обліку та управління режимами електроспоживання має бути забезпечена вимірювальними комплексами засобів обліку необхідної функціональності та технічними характеристиками для здійснення поставлених завдань контролю ефективності енерговикористання.

Необхідна відповідна математична модель виконання поставлених завдань перед автоматизованою системою контролю, обліку та управління режимами електроспоживання для оцінки ефективності енерговикористання.

Перелік використаних джерел інформації

1. Праховник А. В. Від управління електроспоживанням до енергетики сталого розвитку / А. В. Праховник // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19. – С. 110-121.
2. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. Экономия топлива и электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
3. Коцарь О. В. Применение АСКУЭ для контроля текущих параметров режимов электропотребления на промышленных предприятиях / О. В. Коцарь. // Энергетика и электрификация. – 2004. №6.-С. 24-29.
4. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОЕ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Енергетика та електрифікація. – 2009. - № 2. – С. 45-50.
5. Коцар О. В. Застосування АСКОЕ для контролю характеристик режимів електропостачання та керування режимами електроспоживання на підприємстві фармацевтичної галузі / О. В. Коцар, Ю. О. Кот, Ю. О. Расько, С. В. Полевик // Управління, економіка та забезпечення якості в фармації. – 2010.- С. 18-27.