

УДК 658.264:657.6

**А.З. Музичак, канд. техн. наук**

*Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна,*

*E-mail:mAndriy@polynet.lviv.ua*

## Методика і практика енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики

Необхідною передумовою впровадження енергоощадних заходів на підприємствах комунальної теплоенергетики, є проведення енергетичного аудиту. У процесі відбору та обґрунтування енергоощадних заходів необхідно враховувати неповноту вхідної інформації. Фактор невизначеності враховано як одну зі складових методології побудови ефективних наближених математичних моделей підвищення енергоефективності систем теплопостачання. Запропонована методика дозволяє актуалізувати теплове навантаження будівель без проведення масштабних енергетичних обстежень. На кожному етапі аналізу та обґрунтування енергоощадних заходів запропоновано використати спеціалізоване програмне забезпечення.

**енергетичний аудит, комунальна теплоенергетика, енергоефективність, фактор невизначеності**

**А.З. Музычак, канд. техн. наук**

*Национальный университет «Львовская политехника», г.Львов, Украина*

**Методика и практика энергетического аудита предприятий коммунальной теплоэнергетики**

Необходимым условием внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях коммунальной теплоэнергетики, является проведение энергетического аудита. В процессе отбора и обоснования энергосберегающих мероприятий необходимо учитывать неполноту входящей информации. Фактор неопределенности учтено как одну из составляющих методологии построения эффективных приближенных математических моделей повышения энергоэффективности систем теплоснабжения. Предложенная методика позволяет актуализировать тепловую нагрузку зданий без проведения масштабных энергетических обследований. На каждом этапе анализа и обоснования энергосберегающих мероприятий предложено использовать специализированное программное обеспечение.

**енергетический аудит, коммунальная теплоэнергетика, энергоэффективность, фактор неопределенности**

**Постановка проблеми.** Централізоване теплопостачання досить розвинене в Україні та є важливим для забезпечення теплом мешканців міст. Системами централізованого теплопостачання охоплено близько 60% загальної площі житлового фонду України, а гарячим водопостачанням – понад 40% [1].

Історично склалось так, що після введення в експлуатацію вітчизняні системи теплопостачання не розвивались планомірно, в них часто вносили хаотичні зміни. А внаслідок кризи, що мала місце в економіці України у 90-х роках минулого століття, відбулось значне скорочення обсягів ремонтних робіт. Це призвело до значного фізичного зношення обладнання та суттєво погіршило стан підприємств комунальної теплоенергетики. Наслідком цих негативних явищ є значні перевитрати енергоресурсів та справедливі нарікання мешканців на незадовільну якість та високу вартість послуг.

На цьому тлі значно зріс інтерес до систем індивідуального опалення та, на нашу думку, дещо поспішні тенденції відмови від централізованого теплопостачання [2]. Саме тому модернізація вітчизняних систем централізованого теплопостачання та підвищення їх енергоефективності гостро стоять на порядку денному [3].

Ремонтні та модернізаційні роботи на підприємствах комунальної теплоенергетики України часто обмежуються заміною зношеного устаткування на аналогічне з покращеними властивостями. Наприклад поширеним енергоощадним заходом є заміна трубопроводів мережі на попередньо ізольовані такого ж діаметру [4], хоча, можливо на цій ділянці мережі доцільно встановити трубопроводи більшого діаметру чи навпаки – меншого діаметру. Відповідь на це та багато інших питань може дати лише проведення енергетичного аудиту підприємства, у процесі якого після аналізу зібраної інформації можливий виважений відбір пріоритетних енергоощадних заходів з обґрунтуванням кожного з них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Енергетичний аудит – це техніко-економічне обстеження систем генерації, транспортування і споживання енергетичних ресурсів і води з метою виявлення й обґрунтування заходів зменшення споживання енергоресурсів, що дозволять підприємству досягнути реальної і суттєвої економії коштів та зменшення екологічного навантаження на довкілля [5]. Підґрунтям для його проведення є чинна законодавча та нормативна база України.

Загальні методологічні принципи проведення техніко-енергетичного обстеження викладені у ДСТУ [6] та у типовій методиці [7]. Проте обстеження підприємства необхідно проводити комплексно з урахуванням специфіки підприємства та усіх особливостей технологічного процесу й ці специфіки необхідно було б врахувати у відповідних галузевих методиках. Для аналізу одних лише будівель розробляються та впроваджуються окремі методики [8], у той час як енергетичне господарство підприємств комунальної теплоенергетики незмірно складніше, а відповідні методики відсутні.

У літературі та в мережі Інтернет достатньо статей, у яких компанії та фахівці діляться досвідом проведення енергоаудиту систем тепlopостачання. Проте досі розвиток системи енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики в Україні знаходиться на рівні повільного формування і становлення, хоча потреба у такого роду обстеженнях є великою. Зауважимо також, що застосовувати досвід іноземних фахівців для проведення енергетичного аудиту вітчизняних підприємств можна лише з оглядом на особливості історичного розвитку вітчизняних систем тепlopостачання та наявність значних конструктивних відмінностей.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** По суті, енергетичний аудит типово включає сім етапів [7], з яких особливої уваги потребують «етап збирання інформації» та «етап оброблення та аналізу інформації», адже їх практична реалізація, тобто конкретна методологія, визначається специфікою об'єкта, на якому виконується обстеження.

Найважливішою частиною підприємств комунальної теплоенергетики є власне системи централізованого тепlopостачання, які включають такі складові як джерела теплової енергії (котельні, ТЕЦ), теплові мережі (магістральні, квартальні), теплові вводи (елеваторний вузол, тепловий пункт з підмішувальною помпою, індивідуальний тепловий пункт) та абоненти (внутрішньобудинкові мережі, прилади опалення, огорожувальні конструкції тощо). Ефективне функціонування системи забезпечується раціональними гідравлічним та тепловим режимами.

Будь-які конструктивні зміни в одних елементах системи викликають відповідні збурення та зміни в інших елементах системи та потребують подальшого розрахунку й переналагодження режимів системи вцілому. Це не дозволяє розглядати кожен складову зокрема, а вимагає системного підходу та цілісного аналізу.

Зазвичай під час проведення енергетичного аудиту використовують можливості засобів перетворення інформації та наявного спеціалізованого програмного забезпечен-

ня [9]. Проте їх використання в сучасних умовах для аналізу стану теплопостачальних організацій має певні особливості. Це обумовлено зокрема неповнотою вхідної інформації стосовно значення теплового навантаження споживачів, стану внутрішніх теплових мереж, характеристик опалювальних приладів, стану зовнішніх теплових мереж тощо. Така неоднозначність обмежує застосування формалізованих методів оптимізації й підвищує роль фахівців в ухваленні остаточних рішень.

**Постановка завдання.** Показати важливість взаємозв'язку між гідравлічним та тепловим режимами системи централізованого теплопостачання. Розробити методику визначення достовірного значення теплового навантаження абонентів в умовах невизначеності вхідної інформації. Окреслити допоміжну роль спеціалізованого програмного забезпечення на кожному етапі опрацювання вхідної інформації й вибору оптимального гідравлічного режиму мережі та відповідного йому теплового режиму абонентів.

**Виклад основного матеріалу.** У системі централізованого теплопостачання усі її складові поєднані в єдиному неперервному процесі виробництва, транспортування, розподілу та споживання теплової енергії. І хоча, одним із найважливіших етапів покращення роботи системи теплопостачання є розроблення та налагодження гідравлічного режиму, усе починається з визначення теплового навантаження.

Визначення теплового навантаження абонентів є першим кроком цілого ланцюга розрахунків (рис. 1), метою якого є оптимальні гідравлічний та тепловий режими. Далі за значенням теплового навантаження та за температурним графіком джерела визначають необхідний відбір теплоносія з мережі (другий крок). На третьому кроці за сукупними витратами теплоносія вибирають циркуляційну помпу, а вже на основі гідравлічних характеристик цієї помпи та інших елементів системи теплопостачання розраховують відповідний їй гідравлічний режим (четвертий крок). Лише на п'ятому кроці визначають оптимальний гідравлічний режим з умов забезпечення необхідної кількості теплоносія абонентам та мінімуму енерговитрат. Останній є підставою бажаного теплового режиму абонентів (шостий крок).

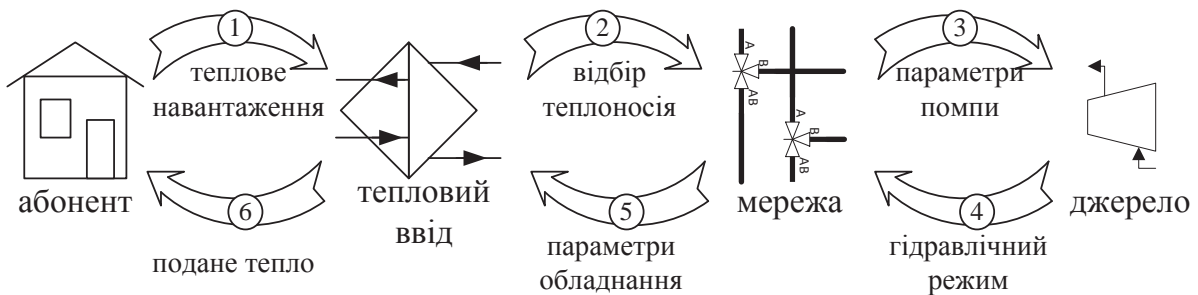


Рисунок 1 – Взаємозв'язок гідравлічного та теплового режимів

Таким чином спостерігається певного роду рекурсивна залежність. Правильне визначення теплового навантаження є передумовою розрахунку оптимального гідравлічного режиму, а раціональний гідравлічний режим є основою якісного забезпечення теплом абонентів та зменшення витрати енергоресурсів підприємством. Нажаль у згаданих нормативних документах [6, 7] це не знайшло належного відображення.

Враховуючи це, підхід до визначення значення теплового навантаження повинен бути виваженим та враховувати не лише вимоги нормативних документів, а й фактичні термічні опори огорожувальних конструкцій, реальні погодні умови, досвід експлуатації тощо.

Теплове навантаження абонентів складається з опалювального навантаження та навантаження гарячого водопостачання, які зазвичай визначають за питомими характе-

ристиками згідно з [10]. Проте цей нормативний документ не враховує деяких важливих моментів, що могли мати місце з моменту спорудження об'єкту. Так досить значна частина населення провела заміну вікон на герметичні й енергоефективні зі склопакетами, скління й утеплення балконів, менш поширене, але також проведене самостійне утеплення частин фасадів тощо. Необхідно також врахувати що на тепловий режим будівлі впливає суттєвий ріст енергооснащення квартир у порівнянні з 80-90 роками.

Наведені зміни теплотехнічних характеристик будівель та складових їх енергобалансу, які обумовлюють зниження потреб у теплоті, не враховані у чинних документах щодо нормування енерговитрат на опалення будівель, зокрема [10], що ускладнює планування діяльності підприємства теплопостачання та оптимізацію режимів вироблення й постачання тепла.

Усі перелічені вище фактори можуть бути враховані згідно з чинним державним нормативним документом ДБН В.2.6-31:2006 [11], вимоги якого є обов'язковими для юридичних і фізичних осіб незалежно від форм власності та відомчої належності. Ці норми встановлюють, зокрема, порядок розрахунку витрат теплової енергії на опалення будинку впродовж опалювального періоду року і його положення мають використовуватися під час проведення енергетичного обстеження будівель та споруд

Однак проведення енергетичного аудиту усього житлового фонду є достатньо громіздким завданням і потребує суттєвих витрат часу й коштів. Разом з тим, актуальні значення теплового навантаження є потрібними для планування діяльності підприємства уже зараз. Така ситуація породжує неоднозначність вхідної інформації: актуальне значення теплового навантаження абонентів невідоме, а визначене за [10] не відповідає дійсності й значення відхилень теж наперед невідоме.

Об'єктивне існування зони невизначеності оптимальних рішень має принципове значення, вносячи додаткові вимоги до організації і методів вирішення проектно-планових задач. Воно, зокрема, обумовлює об'єктивну обмеженість формалізованих методів оптимізації, відводячи їм важливу, але не визначальну роль підготовки можливих варіантів, на підставі яких остаточні рішення ухвалюються фахівцями. Тим самим визначена обов'язкова активна роль фахівця у формуванні варіантів і в ухваленні остаточних рішень.

Властивості вхідної інформації належать до числа визначальних умов постановки оптимізаційних задач, ними значною мірою визначаються метод розв'язування задачі та інтерпретація отриманих результатів. Зазвичай фактор невизначеності враховується шляхом побудови стохастичної моделі, однак для розглядуваних складних об'єктів моделювання та за відсутності апріорних даних про закони розподілу такий підхід малоефективний.

Тому необхідне врахування фактору невизначеності як однієї із складових методології побудови ефективних наближених математичних моделей. Важливу роль у таких випадках відіграють принципи аналогії, однотипності, які можуть бути використані для установок, що знаходяться в подібних умовах, а саме: побудовані за однотипними проектами, мають близькі терміни експлуатації, забезпечуються теплоносієм з однаковими характеристиками тощо.

Для актуалізації теплового навантаження абонентів пропонується така методика:

- провести класифікацію наявного житлового фонду;
- відібрати з кожної групи будівель одну (чи дві) для виконання детального енергоаудиту та визначення їх теплового навантаження;

- порівняти отримані значення теплового навантаження будівель розраховані за питомою опалювальною характеристикою та методом теплового балансу, визначити нове значення питомої опалювальної характеристики;
- поширити отримані результати на решту будівель абонентів.

Для відбору типових житлових будівель міста необхідно виконати аналіз усіх будівель, що приєднані до системи централізованого тепlopостачання. Класифікацію можна вести за такими факторами як: поверховість, кількість під'їздів, матеріал огорожувальних конструкцій, геометрія будівель тощо. Одночасно класифікацію доцільно вести не більше ніж за двома-трьома критеріями. У табл. 1 наведено приклад класифікації будівельного фонду, що включає 469 будинків, за їх поверховістю (від 10 до одноповерхових) і кількістю під'їздів (від 1 до 6). У результаті одержано 36 типів.

Таблиця 1 – Класифікація будівельного фонду

Кількість під'їздів	Поверховість будівель									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	12	9	5	6				11	1
2	14	12	13	14	50				45	
3	12	6	7	11	76				15	
4	5	18	1	3	24				6	
5	4	1	4	1	34				6	
6	2	4	2		14				1	

Подальший аналіз груп споруд показує, що суттєву частку у споживанні теплової енергії займає лише 16 груп споруд (табл. 2).

Таблиця 2 – Впорядкування груп будинків за їх опалюваною площею

№ групи*	Кількість	Опалювана площа		№ групи*	Кількість	Опалювана площа	
		м <sup>2</sup>	%			м <sup>2</sup>	%
5.3	76	191728	18,9	9.5	6	32552	3,2
9.2	45	156831	15,4	9.1	11	27598	2,7
5.5	34	127647	12,6	4.3	11	20913	2,1
5.2	50	81756	8,0	4.2	14	20615	2,0
5.4	24	76676	7,5	2.4	18	13194	1,3
9.3	15	75190	7,4	3.2	13	10486	1,0
5.6	14	44153	4,3	4.4	3	9839	1,0
9.4	6	38421	3,8	3.5	4	9010	0,9

\* № групи – це поєднання кількості поверхів та кількості під'їздів

Вибрані групи будівель складають 73% усіх будівель, але охоплюють понад 92% опалюваної площі, приєднаної до системи централізованого тепlopостачання.

На наступному етапі необхідно вибрати один-два будинки з кожної вибраної групи та провести їх енергетичне обстеження, що включає розроблення їх теплового балансу на основі фактичних характеристик огорожувальних конструкцій та усереднених показників енергооснащення житла.

Для розроблення теплового балансу будівлі бажано залучати програмне забезпечення [12]. У Львівській політехніці для цього розроблена програма «Енергоефективна будівля», що входить в склад спеціалізованого пакету [9]. Ця програма дозволяє визначити, виходячи з теплового балансу будівлі, теплове навантаження за наявних характеристик огорожувальних конструкцій, потребу тепла на опалення протягом опалюваного сезону з врахуванням теплонадходжень у приміщення (побутових,

радіаційних, від людей), вести аналіз складових витрат тепла, обґрунтовувати енергоощадні заходи тощо.

Попередньо за методом теплового балансу було розраховано теплові навантаження будівель без врахування змін у фасадах проведених жителями. Аналіз даних показав, що для 60% будівель різниця між значеннями максимального теплового навантаження розрахованого за [10] та за методом теплового балансу не перевищує 5-6%. Приблизно для 30% абонентів різниця складає 11-12%. Однак різниці є як додатні, так і від'ємні. А вцілому для відібраної групи будинків відмінність складає лише 2,89%.

Далі було визначено зміну теплового навантаження будівель з врахуванням наявних змін у фасадах будівель. Результати показали, що зменшення теплового навантаження будівель в окремих випадках сягає 25%. У середньому теплове навантаження зменшилось на 15%.

Далі за розрахованими значеннями теплового навантаження для кожної з обраних будівель необхідно визначити нове значення питомої опалювальної характеристики. В подальшому саме ці значення необхідно використовувати в розрахунках, замість наведених в КТМ 204 [10].

Отримані значення питомих опалювальних характеристик вводимо у програму «Теплове навантаження», яка є ще однією складовою спеціалізованого пакету [9]. Результатом розрахунку є актуальне теплове навантаження будівлі вцілому, а також розподіл теплового навантаження будівлі між окремими тепловими вводами, якщо їх кілька. Ці дані необхідні для аналізу гідравлічних режимів. Окрім розрахунку теплового навантаження будівель у програмі «Теплове навантаження» закладена можливість аналізу режимів джерел теплової енергії, зокрема споживання палива в залежності від температури довкілля.

Отримані значення теплового навантаження є вхідними даними ще однієї програми зі складу спеціалізованого пакету – «Гідравлічні режими» [9]. З допомогою цієї програми можна проаналізувати наявний гідравлічний режим та визначити параметри ввідного обладнання для забезпечення оптимального гідравлічного режиму.

Схему взаємодії прикладних програм спеціалізованого пакету можна зобразити графічно (рис. 2).

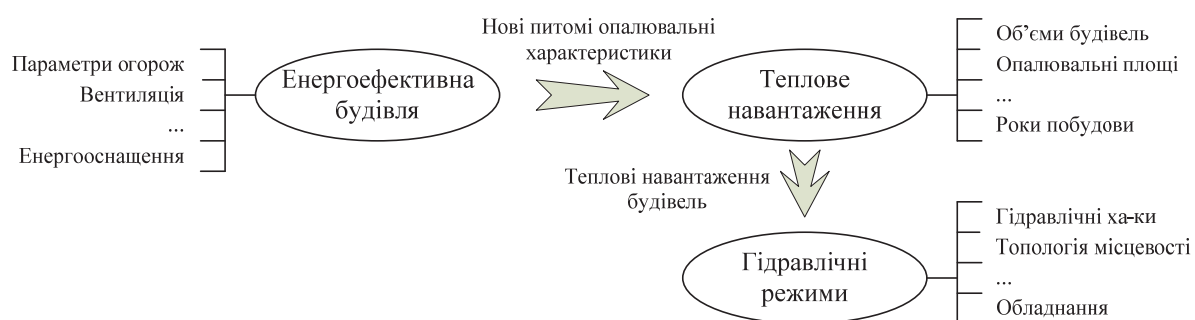


Рисунок 2 – Взаємодія окремих програм спеціалізованого пакету

Зауважимо, що частка невизначеності теплового навантаження, зберігається й після застосування запропонованої методики. Це породжує в задачі вибору оптимального гідравлічного режиму зону недостатньої визначеності. В цю зону входять вирішення, оптимальні за тих або інших можливих поєднань вхідної інформації, а також деякі рішення мало відмінні від оптимальних, але такі, що легко пристосо-

вуються до більшості розглянутих умов. Тому остаточне рішення щодо вибору оптимального гідравлічного режиму приймає фахівець.

Наступним етапом аналізу має бути аналіз теплового режиму мережі й абонентів та визначення тепловтрат у системі тепlopостачання. Саме цей розрахунок необхідний, щоб розробити тепловий баланс теплокомунального підприємства. Такий аналіз також потребує спеціалізованого програмного забезпечення, а вхідними даними для нього будуть результати розрахунку програми «Гідравлічні режими».

**Висновки.** Показано причину виникнення фактору невизначеності теплового навантаження будівель абонентів та його вплив на проведення енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики.

Фактор невизначеності теплового навантаження враховано як одну зі складових методології побудови наближеної математичної моделі.

Запропонована методика дозволяє актуалізувати теплове навантаження будівель, приєднаних до системи централізованого тепlopостачання без проведення масштабних енергетичних обстежень будівель та значних затрат часу і коштів.

Подальшим розвитком методології енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики є розроблення програми аналізу теплових режимів та побудови теплового балансу.

## Список літератури

1. Стан та перспективи реформування системи тепlopозабезпечення в Україні. Аналітична доповідь. / Заг. ред. А.І. Шевцова – Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. – 66 с.
2. Козоріз І. Усім автономні котли! // Експрес. – 2011. – №56(5751). – С.10.
3. Малиновський А.А. Децентралізоване тепlopостачання – альтернатива чи хибний шлях / А.А. Малиновський, В.Г. Турковський, А.З. Музичак // Проблеми загальної енергетики. Науковий збірник Інституту загальної енергетики Національної академії наук України. – 2011. – №4(27). – С.53-56.
4. У 2015 році ЛМКП «Львівтеплоенерго» планує замінити 17 кілометрів трубопроводів [Електронний ресурс] // Щоденний Львів. – 28.01.2015 – Режим доступу до ресурсу: <http://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/u-2015-rotsi-lvivteploenerho-planuie-zaminyty-17-kilometriv-truboprovodiv-15396>. – Назва з екрану.
5. Джедула В.В. Енергетичний аудит як засіб забезпечення ефективності енергоспоживання промислових підприємств. // Вісник Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. – 2013. – Т.18, вип. 3/1 – С.123-125.
6. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. – [Чинний від 01.07.2007]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
7. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» / Затверджено наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів №56 від 20.05.2010.
8. Радомська М.М. Енергетичний аудит як основа підвищення енергоефективності виробничих та житлових об'єктів / Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності – 2013. – №8. – С.172-178.
9. Komputerowe wspomaganie audytingu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», 2008 – P.321-329.
10. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби. КТМ204 України 244-94. – К.: ВІПОЛ, 2001. – 676 с.
11. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – [Чинний від 01.04.2007] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 72 с.
12. Енергоменеджмент та його роль у вирішенні проблем енергозбереження в комунальній теплоенергетиці / А.А. Малиновський [та ін.] // Нова тема. – 2005. – № 3. – С. 11-13.

**Andrii Muzychak, PhD tech. sci.**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

**Methodology and practice of energy audit of municipal heat power companies**

Identify the main stages of the energy audit of municipal heat power companies and develop a method for determining the thermal load of consumers under uncertainty input data.

Features an energy audit of enterprises municipal heat power companies are reviewed. In the process of selection and substantiation of energy-saving measures must take into account the incomplete input information. For updating the heat load proposed to do a classification of all buildings and for typical buildings develop their heat balance. The calculation results are extended to other buildings of the same group. Only actual values of the heat load can analyze and optimize hydraulic and heat modes. At each stage of calculations proposed to use specialized software. In problem of determining the optimum mode is stored zone insufficient certainty so final decision accept expert.

The technique allows optimize the modes of municipal heat power companies without large-scale energy audits and significant expenses of money and time.

**energy audits, municipal heat power company, energy efficiency, uncertainty factor**

Одержано 26.11.15

**УДК 621:311**

**П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.Б. Бондаренко, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, І.В. Савеленко, викл., К.Г. Петрова, канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*  
*E-mail: kate\_flash@mail.ru*

## Оптимізація процесу використання електричної енергії за результатами енергоаудиту

Оптимізація процесу використання електричної енергії та економія в оплаті активної та реактивних енергій досягнуто за результатами комплексного енергоаудиту. Модернізація систем освітлення дозволило скоротити електроспоживання вдвічі.

**енергоефективність, заощадження, електроенергія, енергоаудит**

**П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.Б. Бондаренко, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, І.В. Савеленко, препод., Е.Г. Петрова, канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, г.Кіровоград, Україна*

**Оптимизация процесса использования электрической энергии по результатам энергоаудита**

Оптимизация процесса использования электрической энергии и экономия в оплате активной и реактивных энергий достигнута по результатам комплексного энергоаудита. Модернизация систем освещения позволило сократить электропотребление вдвое.

**энергоэффективность, энергосбережение, электроэнергия, энергоаудит**

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю більшості електроспоживачів є нерівномірний добовий графік електронавантаження (ГЕН) та наявність енергоємного устаткування. Внаслідок стрімкого збільшення ціни на електроенергію (ЕЕ) загострюється проблема економії сплати ЕЕ шляхом переходу на диференційний облік і відповідного регулювання режиму електровикористання. Таким чином, проведення досліджень з підвищення енергоефективності систем електроспоживання є актуальним.

© П.Г. Плешков, В.Б. Бондаренко, С.В. Серебренніков, І.В. Савеленко, К.Г. Петрова, 2016