

ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЦЕНОЗУ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Василенко В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
veravasylenko@gmail.com

У статті розглянуто проблеми підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки в житлово-комунальному секторі, представлено техноценологічний метод вирішення поставленої проблеми за допомогою математичного апарату рангового аналізу. Розроблено алгоритм оптимізації техноценозу житлово-комунального господарства, а також програмний комплекс «Smart Technocenosis», який призначений для аналізу споживання енергоресурсів об'єктів комунальної та бюджетної сфери. *Ключові слова:* енергетична ефективність, енергозбереження, техноценоз, ранговий аналіз, критерії оптимальності.

Энерго-экологические критерии при оптимизации техноценоза жилищно-коммунального хозяйства. Василенко В.И. В статье рассмотрены проблемы повышения энергетической эффективности и экологической безопасности в жилищно-коммунальном секторе, представлен техноценологический метод решения поставленной задачи с помощью математического аппарата рангового анализа. Разработан алгоритм оптимизации техноценоза жилищно-коммунального хозяйства, а также программный комплекс «Smart Technocenosis», который предназначен для анализа потребления энергоресурсов объектов коммунальной и бюджетной сферы. *Ключевые слова:* энергетическая эффективность, энергосбережение, техноценоз, ранговый анализ, критерии оптимальности.

Energy and ecological criteria for the optimization of technoconosis of the housing and communal enterprise. Vasilenko V.I. The article deals with the problems of increasing energy efficiency and environmental safety in the housing and communal sector, presented a technocenological method for solving the problem with the help of a mathematical apparatus of rank analysis. The algorithm of optimization of the technocenosis housing communal services, as well as the program complex “Smart Technocenosis”, designed to analyze the consumption of energy resources of the communal and budgetary sphere, was developed. *Key words:* energy efficiency, energy saving, technocenosis, rank analysis, optimality criteria.

Постановка проблеми. Значні перевитрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) є причиною забруднення навколишнього середовища викидами у повітря парникових газів, які утворюються внаслідок згорання органічного палива для одержання теплової енергії. Єдиний шлях стабілізувати стан енергоспоживання в Україні та поліпшити екологічний стан довкілля – це енергозбереження до 43–47% усього енергоспоживання [1].

Нині фахівці розглядають енергоефективність, економію енергоресурсів і скорочення викидів як очевидну умову конкурентоспроможності компаній і наявності доступного та чистого джерела енергозабезпечення у майбутньому. Підвищення енергоефективності дає змогу країнам долати тиск, який на них чинить залежність від енергоресурсів, вирішувати питання ненадійності енергопостачання, нерівності, високих цін і рахунків за енергоресурси, а також екологічної шкоди і збитків здоров'ю [2].

Виробництво енергії є нині важливим показником соціального та економічного добробуту. Однак, виробництво та споживання енергії пов'язано зі значним впливом на довкілля, включаючи зміну клімату,

вплив на екосистему і здоров'я людини. Причому вплив енергетики на довкілля характерний для всіх етапів впровадження її в життя (видобуток, транспортування, передача та розподіл, споживання). Тому необхідно приділити увагу енерго-екологічним критеріям під час вирішення задачі оптимізації системи енергопостачання [3].

Енергоефективність є лише одним аспектом енергозбереження, яке істотно залежить від технологічної витрати електроенергії на її передачу і постачання в розподільних мережах, порушення надійності та якості електропостачання споживачів. Загрозлива ситуація в сфері енергоспоживання є, насамперед, результатом низької диверсифікації споживання ПЕР, практичної відсутності альтернативних джерел енергії та повільного впровадження енергозберігаючих технологій в усіх сферах діяльності. Одним із найбільш складних виявляються об'єкти комунальної та бюджетної сфери. Житловий фонд в Україні та соціальна сфера споживають 85% енергоресурсів від їх загального споживання. Щорічно галузь споживає приблизно 10 млрд кВт·год. електроенергії, 14 млрд куб. м природного газу, 1,5 млн т вугілля,

обсяги залучених нетрадиційних та відновлюваних видів енергії становлять 0,87 млн т у. п. При цьому витрати на одного мешканця в Україні становлять 0,7–1,0 т у. п., в Європі цей показник є значно меншим, а витрати енергоресурсів на одиницю виготовленої вітчизняної продукції та наданих комунальних послуг більш ніж у 1,5 раза перевищують зарубіжні показники [4]. За останнє десятиліття відбуваються поступові зрушення в системі забезпечення енергетичними ресурсами житлово-комунального господарства (ЖКГ) країни, що відбивається позитивною тенденцією до зниження обсягів споживання пер. У межах національної проблеми із забезпечення екологічної безпеки та регулювання енергозбереження суттєва увага приділяється впровадженню еколого-економічних інновацій у ЖКГ. На опалення 100 м² загальної площі житлових будинків щорічно витрачається приблизно 6...9 т умовного палива, що в 1,5 раза більше ніж у США та 3 рази більше ніж у Швеції [5; 6].

Актуальність дослідження. Чинна система вітчизняного управління екологічністю не відповідає сучасним вимогам і потребує подальшого вдосконалення організаційно-економічного механізму екологобезпечної діяльності. У зв'язку з цим є суттєва необхідність дослідження енерго-екологічного менеджменту при впровадженні енергозберігаючих технологій у ЖКХ, що набуває особливої актуальності у разі обмеженого державного інвестування програм екологічної безпеки та регулювання енергозбереження. Вирішення цих проблем потребує розробки математичних моделей, наукового-обґрунтованого організаційно-економічного механізму управління екологічністю в ЖКГ шляхом впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій [7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. ЖКГ – великі технічні, еколого-економічні системи, які можна розглядати як сукупність функціонуючих елементів, об'єднаних в єдине структурне ціле. Різноманітність видів у технічних системах призводить до великих витрат. Це означає, що розвиток систем і поява нових видів виробів, структур, підрозділів має управлятися за допомогою стратегії і програми розвитку, які враховують взаємодію результатів розвитку з можливостями природного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сукупність функціонуючих елементів технічної системи в однорідних умовах і в певному середовищі проживання називають техноценозом. Ефективна організація цих процесів і управління ними мають ґрунтуватися на законах техноеволюції і системних дослідженнях. Реальне управління техноценозом можливе лише в умовах правильного осмислення об'єкта управління, а також впровадження коректних методів оптимального управління цим об'єктом [8].

Основним інструментом техноценологічного підходу в дослідженні складних технічних систем є ранговий аналіз – метод дослідження великих технічних систем (інфраструктури), що має на меті їх статистичний аналіз, а також оптимізацію і в якому використовується як основний критерій форма видових і рангових розподілів. Для опису техноценозів використовуються гіперболічні *H*-розподіли. Під ранговим розподілом розуміється спадна послідовність значень параметрів, упорядкована таким чином, що кожне наступне число менше за попереднє і відповідає рангу (номеру по порядку, ряду натуральних чисел, розташованих у порядку зростання) [9–11]. Нехай задано безліч об'єктів, які утворюють певну цілісність (всі підрозділи одного підприємства) і які відповідають ценологічним критеріям. Кожен об'єкт характеризується одним або кількома параметрами, які виражені чисельно. Визначивши параметр, можна впорядкувати безліч, розташувавши всі об'єкти по порядку по зменшенню параметра, й отримати гіперболічний ранговий *H*-розподіл за параметром. Площа під кривою рангового *H*-розподілу за параметром характеризує енергоспоживання підприємства загалом:

$$W(x) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad (1)$$

$$\beta = \log_r \frac{W_1}{W(x)} \quad (2)$$

де *r* – ранг об'єкта; β – показник, який визначає ступінь крутизни кривої розподілу; $W_1 = W_{\max}(x)$ – константа, за яку приймається максимальне значення енергоспоживання найбільш крупного споживача.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Виділення техноценозу супроводжується його описом. Рекомендується створювати для цього спеціальну базу даних, що включає максимально систематизовану і стандартизовану, досить повну (і водночас без зайвих подробиць) інформацію про види і особи техноценозу. Доступ до неї має бути, за можливості, автоматизований, необхідно передбачити процедури її аналізу та узагальнення в інтерактивному режимі. При цьому варто максимально використовувати можливості комп'ютерної техніки (зокрема зі стандартними програмами ОС Windows: MS Excel, MS Access, Fox-pro, VS.NET, SQL та ін.).

Новизна. Запропонована нами програма «Smart Technocenosis» призначена для аналізу споживання енергоресурсів об'єктів ЖКГ. На основі оброблених даних із формату «XLSX» програма здатна будувати апроксимаційні криві за кожним видом енергоресурсів, а також розраховувати довірчий інтервал для фактичного споживання. Приклад розрахунків за одним із видів енергоресурсів представлено на рисунку 1.

Програма виводить на екран розрахункові дані по потенціалу енергозбереження для кожного об'єкта, починаючи від найбільшого до найменшого, і про-

понує найбільш доцільні заходи з енергозбереження, враховуючи критерії оптимальності (рисунк 2).

Методологічне або загальнонаукове значення.

Перевагами цієї програми є те, що у разі необхідності доробки будь-якого блоку, працездатність програми не зміниться. Також характерною особливістю програми є те, що у разі зміни даних зі споживання програма не починає весь процес із початку від реєстрації користувача до виводу графіків, а лише змінює ті точки на графіках, які зазнали змін. Недоліком цієї програми є вузька направленість дій самої програми.

Алгоритм проведення рангового аналізу для оптимізації техноценозу включає наведені нижче кроки:

Крок 1. Виділення ценозу. Виділення техноценозу супроводжується його описом. Для цього задають спеціальну базу даних, що включає системати-

зовану і стандартизовану, досить повну і водночас без зайвих подробиць інформацію по видах і особинах техноценозу.

Крок 2. Завдання видоутворюючих параметрів.

Елементи техноценозу виділяються на основі бази даних. Для кожного елемента має бути певна документація в базі даних.

Крок 3. Рангово-параметричний опис ценозу.

Перший ранг присвоюється об'єкту з найбільшим споживання енергетичних ресурсів, далі – за зменшенням енергоспоживання.

Крок 4. Побудова табульованого рангового розподілу та графічного рангового параметричного розподілу наявного техноценозу.

Крок 5. Розрахунок ступеня крутизни кривої гіперболічного *H*-розподілу. Апроксимація розподілів.

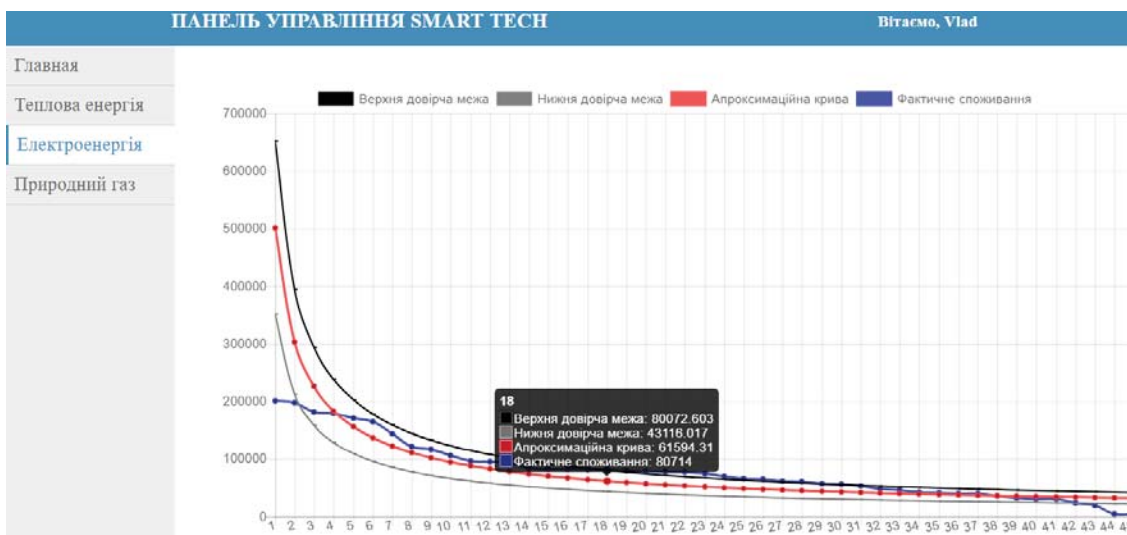


Рис. 1. Графік по фактичних даних

Назви об'єктів			Об'єкти з найбільш високим потенціалом до впровадження енергозберігаючих заходів		Об'єкти, споживання яких вище довірчого інтервала	
№	Назва	Площа, м2	Назва	Потенціал	Назва	Потенціал від довірчого
1	ДНЗ №10	1125.0	ДНЗ №76	27743.49	ДНЗ №373	7884.6
2	ДНЗ №17	1005.3	ДНЗ №374	23859.69	ДНЗ №374	7722.18
3	ДНЗ №51	1125.0	ДНЗ №375	23190.37	ДНЗ №360	6402.69
4	ДНЗ №55	792.0	ДНЗ №373	22926.07	ДНЗ №375	4772.92
5	ДНЗ №63	2194.0	ДНЗ №146	21450.52	ДНЗ №355 "Ясочка"	4144.18
6	ДНЗ №76	976.0	ДНЗ №360	21262.83	ДНЗ №382	3631.02
7	ДНЗ №146	2620.0	ДНЗ №355 "Ясочка"	20194.67	ДНЗ №376	2717.23
8	ДНЗ №191	1547.2	ДНЗ №376	19770.86	ДНЗ №395	2484.67
9	ДНЗ №197	2323.4	ДНЗ №350	19119.69	ДНЗ №350	2427.07
10	ДНЗ №211	1648.5	ДНЗ №383 "Веселинка"	17782.94	ДНЗ №383 "Веселинка"	1805.12
11	ДНЗ №223	1298.0	ДНЗ №382	17277.56	ДНЗ №397	905
12	ДНЗ №225	2161.0	ДНЗ №344	17246.14	ДНЗ №344	641.4
13	ДНЗ №255	2019.0	ДНЗ №396	15895.9	ДНЗ №396	401.32
14	ДНЗ №295	1552.0	ДНЗ №395	15574.86		
15	ДНЗ №313	883.3	ДНЗ №255	15047.14		
16	ДНЗ №334	1740.0	ДНЗ №334	14911.74		
17	ДНЗ №344	1448.9	ДНЗ №63	14825.7		
18	ДНЗ №350	1956.0				
19	ДНЗ №355 "Ясочка"	1439.0				

Рис. 2. Аналітичні дані з електроспоживання об'єктів

Крок 6. Оптимізація ценозу. Оптимізація техноценозу здійснюється за допомогою критеріїв оптимальності. Базовими елементами в процесі підвищення енергоефективності в ЖКГ є розробка відповідної системи критеріїв оцінки та її елементів, методик оцінки ефективності схем функціонування в режимах оптимального споживання енергоносіїв, проведення їх енерготехнологічного обстеження та оцінки взаємного впливу окремих елементів. Щодо механізмів досягнення ефективності енергоресурсів, то вони визначаються багатьма факторами, що зумовлюють існування та застосування порівняно великої кількості показників. Необхідне застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень.

Виклад основного матеріалу. Як критерії оптимальності доцільно використовувати наведені нижче критерії [12].

1. Енергетичні критерії. Під енергетичною ефективністю будемо розуміти сукупність різних показників, які будуть впливати на обсяги виробленої енергії і, відповідно, на витрати [13]. Серед цих

показників можна виділити ККД, тривалість роботи за рік, матеріалоемність, територія, яку займає генеруючий енергооб'єкт, надійність, якість енергії.

2. Економічні критерії. До них зазвичай належать ті, які дають змогу визначити обсяги можливої економії палива і енергії, масштабність реалізації енергозберігаючих заходів, а також характеризувати рівень їх ефективності. Це можуть бути питомі витрати енергетичних ресурсів (палива, тепла та електричної енергії) на виробництво продукції, коефіцієнти корисного використання енергоресурсів, показники втрат енергоресурсів, енергоемність основних виробничих фондів, сировина та матеріали тощо. Систему економічних показників для визначення економічної ефективності енергозберігаючих заходів становлять вартісні показники використання енергоресурсів і супутніх виробничих процесів із метою попередження можливих втрат та покращення результатів діяльності ЖКГ [14].

Енергозберігаючий захід або проект можна вважати економічно ефективним за наявності прибутку, який утворився при впровадженні цього заходу:

$$E_{\text{ЕКОНОМ}} = C_{\text{ЗП}} \times Q_{\text{ЗП}} / B_{\Sigma}, \quad (3)$$

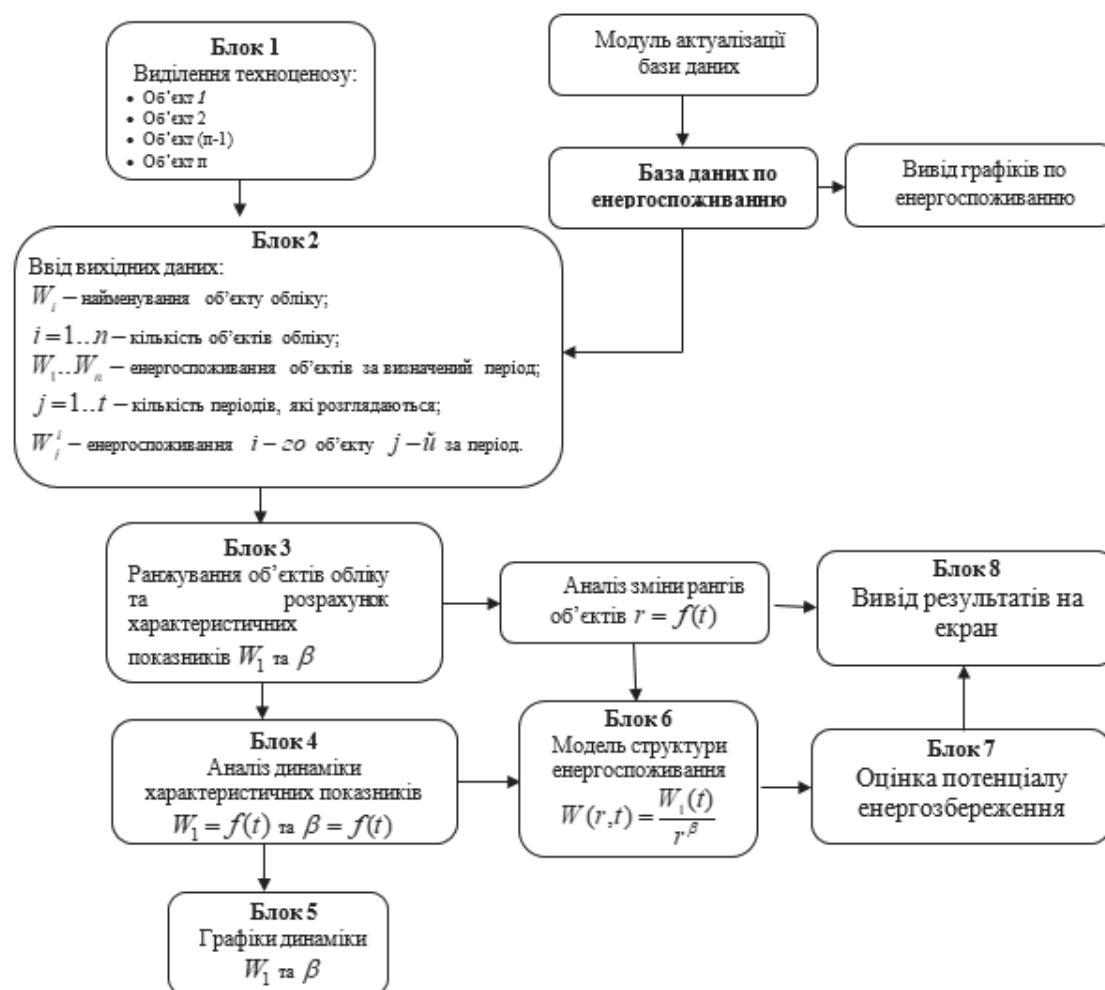


Рис. 3. Блок-схеми алгоритму оптимізації техноценозу ЖКГ

де $C_{зп}$ та $Q_{зп}$ – ціна та вартість заміщеного умовно палива; B_{Σ} – сумарні приведені витрати за термін служби генеруючого енергооб'єкта. Величина B_{Σ} визначається як сума наступних доданків:

$$B_{\Sigma} = B_{б} + B_{е} + B_{б} + B_{п} + B_{тп} + B_{лп} + B_{д} + B_{е.зб} \quad (4)$$

де $B_{б}$, $B_{е}$, $B_{б}$, $B_{п}$, $B_{тп}$, $B_{лп}$, $B_{д}$ – наведені затрати на будівництво генеруючого енергооб'єкта, його експлуатацію протягом терміну служби, на паливо, транспорт, лінії електропередач і додаткові витрати; $B_{е.зб}$ – приведені сумарні витрати на компенсацію екологічного збитку. Величина $C_{зп} \times Q_{зп} = E_{п}$ визначає економічну ефективність від заміщення палива. Це досить важливий показник, оскільки може порівнювати різні технології і визначення економічного ефекту від використання енергетичного потенціалу [13].

3. Екологічні критерії. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто у разі раціонального підбору видів палива шляхом впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії та використання вторинних ресурсів. Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E_{\text{ЕКОЛОГ}} = E_{б} \times E_{\text{АБ}}, \quad (4)$$

де $E_{б}$ та $E_{\text{АБ}}$ – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно зі співвідношенням:

$$E_{в} = 1 / E_{б}, \quad (5)$$

Можна зазначити ще одну умову впровадження енергозберігаючих заходів, яка буде впливати на екологічність, – скорочення споживання енергоресурсів, яке має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Перевагою техноценологічного методу та проведення рангового аналізу є оптимальне відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів. Недоліком є те, що метод заснований на статистичній моделі, як і подібні методи, що з високою точністю розраховують значення короткострокового прогнозування (згідно з дослідженнями точний прогноз можна отримати на 1–2 роки, після цього помилка різко зростає). Другим недоліком є неможливість реалізації критеріїв, які засновані на порівнянні варіантів управління енергоспоживання. Ці недоліки можна усунути. Для цього необхідно створити динамічну адаптивну модель, що відбиває процес електроспоживання на глибину від 5 до 7 років і більше.

Цей алгоритм можна широко застосовувати для вирішення актуальних задач проектування, будівництва та експлуатації енергетичних систем, підвищення якості та надійності енергопостачання та впровадження енергозберігаючих заходів, а також нових проектів у галузі альтернативної енергетики.

Література

1. Ратушняк О.Г. Еколого-економічні аспекти запровадження ресурсозберігаючих технологій в будівництві. І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф.: тези допов. С. 317.
2. Василенко В.І. Системна ефективність функціонування енергетичної системи з керованими навантаженнями. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2015. № 1. С. 70–81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_1_12.
3. Ольховская О.И. Энерго-экологические аспекты развития гелиотехники. Интегрированные технологии и энергосбережение. Енергетика, технологи и энергосбережение. 2004. № 4. С. 20–24.
4. Комеліна О.В. Стратегічні орієнтири регіональної політики енергозбереження у житлово-комунальному господарстві. Економіка і регіон. 2013. № 3. С. 70–81.
5. Горбачовський А.Ф. Державне регулювання енергозбереження в капітальному будівництві / А.Ф. Горбачовський, А.Г. Ореховський. Будівництво України. 1995. № 3. С. 6–12.
6. Ратушняк Г.С. Багатофакторний аналіз теплоізоляційних матеріалів для термореновації будівель на основі лінгвістичної інформації / Г.С. Ратушняк, О.Г. Чухряєва. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2005. № 8. С. 89–95.
7. Щербина О. Проблеми економії енергоресурсів в Україні. Ринок інсталяцій, травень. 2002. № 2. С. 7–8.
8. Денисюк С.П. Оцінка обсягів енергозбереження для бюджетних організацій та установ району міста в системах енергоменеджменту / С.П. Денисюк, В.І. Василенко. Problems of modern science. Fadette editions, Namur, Belgium, 2018. С. 131–135.
9. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография]. 2-е изд., перераб. и доп. Электронные текстовые данные. 2014. URL: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
10. Гнатюк В.И., Северин А.Е. Ранговый анализ и энергосбережение. Калининград: ЗНЦ НТ РАЕН – КВИ ФПС РФ, 2003. 120 с.
11. Гнатюк В.И. Лекции о технике, техноценозах и техноэволюции. Калининград: КВИ ФПС РФ, 1999. 84 с.
12. Денисюк С.П. Енергетичні, економічні та екологічні показники енергоефективності / С.П. Денисюк, В.І. Василенко. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 1. С. 33–44.
13. Беляев Ю.М. Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий. Промышленная энергетика. 2003. № 8. С. 39–44.
14. Микитенко В.В. Оцінка ефективності енерго- і ресурсозберігаючих технологій. Проблеми науки. 2001. № 12. С. 35–41.