

УДК 621:658.264

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.119083

## Методика оптимізації енергозбереження у вищих навчальних закладах

І. М. Грищенко, В. Г. Щербак, О. О. Шевченко

*Запропоновано методику удосконалення системи енергозбереження у вищих навчальних закладах України як складової підвищення результативності діяльності. Запропонована методика базується на розробленій моделі оптимального управління тепловим режимом приміщень з мінімізацією витрат енергії на опалення та енергетичних втрат при підтримці заданого рівня теплового комфорту на прикладі Київського національного університету технологій та дизайну (Україна)*

*Ключові слова: теплонадходження, тепловтрати, ABC-XYZ-аналіз, теорія ігор, оптимальний режим теплоспоживання, вищі навчальні заклади*

### 1. Вступ

В даний час енергозбереження є одним із пріоритетних завдань, що обумовлено дефіцитом основних енергоресурсів, зростання вартістю видобутку, а також глобальними екологічними проблемами. Великими споживачами енергоресурсів являються освітні установи різного рівня, до яких відносяться вищі навчальні заклади (ВНЗ). За даними "Національної доповіді про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2015 році" питоме споживання енергоресурсів (на 1 м<sup>2</sup>) в Україні практично в 3 рази вище, ніж в країнах Західної Європи, США і Канади. Причому, питомі витрати на комунальні послуги (на 1 м<sup>2</sup>) щорічно зростають на 25–30 % і за останні роки збільшилися в 3,5 рази. При цьому переважають витрати на теплову енергію – до 70 %, на електроенергію – до 30 % [1]. Нераціональне використання енергоресурсів, фактичні втрати теплової та електричної енергії призводять до того, що приблизно 25 % витрат на оплату комунальних послуг є наслідком неефективного використання енергетичних ресурсів і неефективного управління ними. Ці негативні наслідки обумовлюють об'єктивну необхідність економії енергоресурсів, створення системи ефективного енергозбереження та раціонального енерговикористання в ВНЗ, що визначає актуальність проведення даного дослідження.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В Україні питанням енергоефективності приділяється велика увага. На протязі 1994–2015 рр. було прийнято 13 Законів, 8 Указів Президента України, 44 Постанов Кабінету Міністрів України. Всі ці документи стосуються різних аспектів енергоефективності та енергозбереження економіки [2].

Проблема підвищення енергоефективності в українських ВНЗ залишається одним із пріоритетів освітньої політики України, що підтверджується підтримкою різних міжнародних інституцій. Так, 19.12.2016 р. було підписано угоду

між Україною та Європейським інвестиційним банком (ЄІБ). Ця угода присвячена залученню позики для реалізації проекту "Вища освіта. Енергоефективність та сталий розвиток". Величина позики дорівнює 160 млн євро. Призначення цих коштів – впровадження заходів з підвищення енергоефективності в 147 будівлях. Для участі в цьому проекті було обрано 7 університетів відповідно до критеріїв ЄІБ [3].

Досвід ВНЗ в реалізації проектів з енергоефективності носить різноплановий та різнорівневий характер. Існують широкомасштабні заходи та проекти. Ось деякі з них. В Київському національному університеті технологій та дизайну реалізована комплексна науково–технічна програма "Енергоефективність та енергозбереження" [4, 5]. В Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" створена служба енергоменеджменту та системи енергозабезпечення на базі віртуальної станції із використанням енергії сонця, вітру та біомаси [6]. В Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна відкритий навчально-демонстраційний центр альтернативної енергетики з діючим вітрогенератором, встановленим на даху, двома сонячними батареями на фасаді головного корпусу [7]. В деяких університетах (Херсонський національний технічний університет; Луцький національний технічний університет; Одеська Національна академія харчових технологій; Національний університет водного господарства та природокористування; Запорізький національний університет) реалізовані часткові заходи з енергозбереження. Серед них: заміна вікон на металопластикові, запровадження автономної системи опалення деяких корпусів, промивки систем опалення, оптимізації цих систем [8–10].

Наукова спільнота також приділяє значну увагу питанням енергозбереження та енергоефективності ВНЗ. Так, структурному аналізу енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти присвячені дослідження [9]. Сучасна політика енергоефективності ВНЗ побудована на основі інтегрованої системи енергоменеджменту запропонована в роботі [10]. Різним технічним аспектам підвищення енергоефективності та переходу його на новий інноваційний рівень присвячені роботи [11–13]. Деякі дослідники вважають, що впровадження ефективної системи енергоменеджменту має базуватися на проведенні моніторингу енергоспоживання та енергетичній сертифікації будівель ВНЗ [14]. В дослідженнях деяких науковців простежується ресурсозберігаючий підхід у підвищенні ступеню автономії ВНЗ [15] або використання інструментарію бенчмаркінгу у підвищенні рівня енерго– та ресурсоефективності ВНЗ [16].

Досвід ВНЗ в реалізації проектів з енергоефективності носить різноплановий та різнорівневий характер. Існують широкомасштабні заходи та проекти. Ось деякі з них. В Київському національному університеті технологій та дизайну реалізована комплексна науково–технічна програма "Енергоефективність та енергозбереження" [4, 5]. В Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" створена служба енергоменеджменту та системи енергозабезпечення на базі віртуальної станції із використанням енергії сонця, вітру та біомаси [6]. В Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна відкритий навчально-демонстраційний центр альтернативної енергетики з діючим віт-

рогенератором, встановленим на даху, двома сонячними батареями на фасаді головного корпусу [7]. В деяких університетах (Херсонський національний технічний університет; Луцький національний технічний університет; Одеська Національна академія харчових технологій; Національний університет водного господарства та природокористування; Запорізький національний університет) реалізовані часткові заходи з енергозбереження. Серед них: заміна вікон на металопластикові, запровадження автономної системи опалення деяких корпусів, промивки систем опалення, оптимізації цих систем [8–10].

Наукова спільнота також приділяє значну увагу питанням енергозбереження та енергоефективності ВНЗ. Так, структурному аналізу енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти присвячені дослідження [9]. Сучасна політика енергоефективності ВНЗ побудована на основі інтегрованої системи енергоменеджменту запропонована в роботі [10]. Різним технічним аспектам підвищення енергоефективності та переходу його на новий інноваційний рівень присвячені роботи [11–13]. Деякі дослідники вважають, що впровадження ефективної системи енергоменеджменту має базуватися на проведенні моніторингу енергоспоживання та енергетичній сертифікації будівель ВНЗ [14]. В дослідженнях деяких науковців простежується ресурсозберігаючий підхід у підвищенні ступеню автономії ВНЗ [15] або використання інструментарію бенчмаркінгу у підвищенні рівня енерго- та ресурсоефективності ВНЗ [16].

В роботі [17] наведені результати дослідження провідних дослідницьких установ США, Великобританії, Китаю, Австралії, Італії, Гонконгського політехнічного університету, Технологічного університету Делфта і Університету Цінхуа енергоефективності та сталого розвитку в громадських будівлях. Результати цього всебічного аналізу довели, що глобальна екологічна проблема привела до того, що багато країн включили широкий спектр стратегій енергоефективності (ЕЕ) в цілях скорочення споживання енергії в громадських будівлях. Досвід ВНЗ в реалізації проектів з енергоефективності носить різноплановий та різнорівневий характер. Але найбільш суттєвим і доцільним є використання можливостей енергетичного маркування будівель та приміщень ВНЗ за стандартами Європейського союзу.

Аналіз трьох технічних звітів провідних дослідницьких установ світу [5–7] доводять, що існуючі стандарти (наприклад ANSI / ASHRAE / IES 90.1-2013) є типовими енергетичними стандартами для комерційних та багатоквартирних житлових будинків. Але використання Міжнародного Кодексу 2015 енергозбереження як для житлових, так і для комерційних будівель дозволить суттєво заощадити енергетичні та енергетичні витрати в порівнянні з версією стандарту 2012. Так, в роботі [6] оцінюється вплив на національному та державному рівнях, пов'язаних з енергетичними кодами в житлових та комерційних будівлях, описується методологія, що використовується для оцінки, представлені наслідки з точки зору економії енергії, економії витрат споживача та скорочення викидів CO<sup>2</sup>. В роботі [7] пропонується використовувати новий варіант стандарту ANSRAE 90.1 для розробки комерційних норм енергоефективності в комерційних будинках. В роботі [8] показано, що для вирішення проблем енергоефективного будівництва на мезорівні необхідно впроваджувати принципи біокліма-

тичного проектування для стійкої архітектури та енергоефективності, представляють собою комплексну стратегію досягнення ефективності і більш здорових умов для міських громад. Інший підхід до вирішення проблем енергоефективного будівництва запропонований в роботах [9–11]. В них пропонується вирішувати ці питання не шляхом технічних процедур, а взагалі відразу будувати так звані «зелені будівлі». Так, в роботі [9] запропонований інноваційний підхід за якістю будівництва екологічно чистими технологіями, природними будівельними матеріалами, інтегрованими фотоелектричними модулями, сонячними колекторами, геотермальними тепловими насосами. У продовження цього підходу в роботі [10] пропонується використовувати відповідні технології зеленого будівництва за місцевими умовами Туреччини – теплообмінник геотермальної системи централізованого теплопостачання. Як підсумок найбільш доцільних варіантів зеленого будівництва можна визначити роботу [11]. Представлене в ній обговорення за круглим столом є результатом дослідження доцільності будівель з нульовою чистою енергією (ZNE) і їх експансію на ринок в якості більш широко застосовуваного підходу для різних типів і розмірів будівель.

У більшості наукових досліджень, присвячених проблемі енергоефективності приміщень, пропонуються або певні програми [12–18] або впровадження окремих організаційно-технологічних заходів економії енергії [19–23]. Так, в роботі [12] пропонується комплексна програма економії коштів ретро-введення в експлуатацію великих офісних будівель, побудованих до 1980 року та модернізація 29 заходів їх дооснащення. Найбільш ефективним, з точки зору деяких дослідників, є використання альтернативних джерел енергії. Так, в роботі [13] проведена оцінка потенційної економії енергії і економічної ефективності сонячної енергії і варіантів денного освітлення для проекту реконструкції Річландської школи США. У практиці вітчизняних ВНЗ також є аналогічний досвід створення служб енергоменеджменту та системи енергозабезпечення на базі віртуальної станції із використанням енергії сонця, вітру та біомаси [14], навчально-демонстраційного центру альтернативної енергетики з діючим вітрогенератором, встановленим на даху, двома сонячними батареями на фасаді головного корпусу [15].

Тихоокеанська північно-західна національна лабораторія (США) в результаті аналізу щоденних профілів використання енергії в будівлях банку, розробила еталон для використання енергії різних банківських установ [16], який можна вважати за прототип для аналогічних будівель. В роботі [17] запропоновано ефективне електричне обладнання з більш ефективним, меншим енергоспоживанням та меншими витратами в порівнянні з існуючими електричними устаткуваннями для University Technology Malaysia. В [18] доведено, що для забезпечення безпечної і надійної роботи енергосистеми університету необхідно створення наукового графіка диспетчеризації подачі та використання енергії на основі реалізації множинної оптимізаційної моделі AGC і Energy. В [19] запропонована комплексна науково-технічна програма "Енергоефективність та енергозбереження", яка базується на ресурсозберігаючому підході та підвищенні ступеню автономії ВНЗ або використання інструментарію бенчмаркінгу [20] у підвищенні рівня енерго- та ресурсоефективності ВНЗ. В деяких роботах пропонуються конкретні організаційно-технологічні заходи: збільшення викорис-

тання сонячних фотоелектричних систем для альтернативного забезпечення електроенергією [21], використання енергозберігаючого освітлення [22]; створення продуктів та послуг з автоматизації для зменшення витрат на електроенергію в коледжах та університетах [23].

Але залишилися невисвітленими питання щодо можливості оптимізації енергозбереження та енерговикористання у вітчизняних університетських будівлях. Причиною цього можуть бути по-перше, в більшості випадків, технічна застарілість будівель, що пов'язано з принциповою неможливістю їх енергетичної санації. По-друге, об'єктивні труднощі використання прогресивних енергозберігаючих технологій та устаткування, обумовлені пов'язаними з цим високими витратами, що робить відповідні дослідження недоцільними. Варіантом подолання цих труднощів може бути інноваційний підхід у використанні існуючих приміщень. Наприклад, використання багатокритеріального факторного аналізу енергетичної ефективності будівель ВНЗ [24] або багатоцільової оптимізаційної моделі енергозберігаючої диспетчеризації за допомогою координації споживання енергії під час пікового навантаження [25].

Таким чином, спостерігається недостатня узгодженість існуючих теоретичних і практичних підходів у визначенні найбільш доцільних систем енергоменеджменту та енергозбереження для будівель вітчизняних ВНЗ. Труднощі виникають у ранжуванні чинників, які мають найбільший вплив на рівень енергоефективності ВНЗ. Тобто багато проблем залишаються нерозв'язаними, дискусійними та вимагають додаткового вивчення. Усе це дозволяє стверджувати, що доцільним є розробка методики оптимізації енергозбереження вітчизняних ВНЗ.

### **3. Ціль та задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка методики оптимізації енергоспоживання і підвищення енергоефективності у ВНЗ. Зазначена методика представляє собою сукупність методів, які дозволяють обрати оптимальний режим теплоспоживання та завантаження аудиторного фонду під час опалювального сезону.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробити комплексну методику здійснення діагностики та обґрунтування оптимального режиму енергоспоживання у ВНЗ під час опалювального сезону;
- вибрати сукупність методів діагностики для оцінки фактичного стану – балансу тепловтрат та теплонадходжень кожного приміщення ВНЗ;
- обґрунтувати доцільність використання аналізу модифікованої ABC/XYZ матриці для прийняття управлінського рішення щодо оптимального використання в освітньому процесі приміщень ВНЗ під час опалювального періоду.

## **4. Обґрунтування методики вибору оптимального режиму споживання енергоресурсів у приміщеннях ВНЗ**

### **4.1. Комплексна схема діагностики з урахуванням показника теплового комфорту**

Програма зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти розпочалася з Наказу № 147 МОН України від 26.02.2010. Ре-

форми у сфері енергоспоживання і підвищення енергоефективності ВНЗ спрямовані на скорочення бюджетних видатків на оплату енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти України [26].

Основні документи, які регулюють енергоспоживання у ВНЗ: Закон України "Про енергозбереження" [27]; Загальні положення про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів; ДСТУ 2339-94 "Енергозбереження. Основні положення" [28]; ДСТУ 2155-93 "Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню" [29]; ДСТУ 2420-94 "Енергоощадність. Терміни та визначення" [30].

В основі запропонованого підходу лежить критерій показник теплового комфорту PMV (Predictive Mean Vote – прогнозована середня оцінка), запропонований Американським товариством інженерів з опалення, охолодження та кондиціювання повітря «ASHRAE». Згідно [31] прогнозована середня оцінка (PMV) – показник, за допомогою якого прогнозується середнє значення відчуття до температури великої групи людей на основі балансу температури тіла людини. Баланс температури досягається, коли тепло, яке виробляється тілом людини, дорівнює втраті тілом тепла в навколишнє середовище. PMV введений міжнародним стандартом ISO7730 [31].

Згідно ISO7730, що регламентує параметри мікроклімату в житлових і громадських будівлях, комплексним показником, що характеризує теплову обстановку в приміщенні, може бути результуюча температура, яка визначається за такою залежністю:

$$T_{SU} = b_1 T_r + b_2 T_a, \quad (1)$$

де  $T_a$  – температура повітря в приміщенні, °C;  $T_r$  – радіаційна температура приміщення, °C;  $b_1$ ,  $b_2$  – коефіцієнти, які дорівнюють 0,5 при швидкості руху повітря в приміщенні нижче 0,2 м/с або 0,4 і 0,6 відповідно при швидкості руху повітря від 0,2 до 0,6 м/с.

Радіаційна температура приміщення може бути розрахована як:

$$T_r = \frac{\sum S_i T_i}{\sum S_i}, \quad (2)$$

де  $S_i$  – площа внутрішньої поверхні огорожень і зовнішньої поверхні опалювальних приладів, м<sup>2</sup>;  $T_i$  – температура внутрішньої поверхні огорожень і зовнішньої поверхні опалювальних приладів, °C.

Запропонований підхід щодо діагностики складається з ряду взаємопов'язаних послідовних етапів, спрямованих на отримання кількісної і якісної оцінки та обґрунтування оптимального режиму теплоспоживання (ОРТ) (рис. 1).

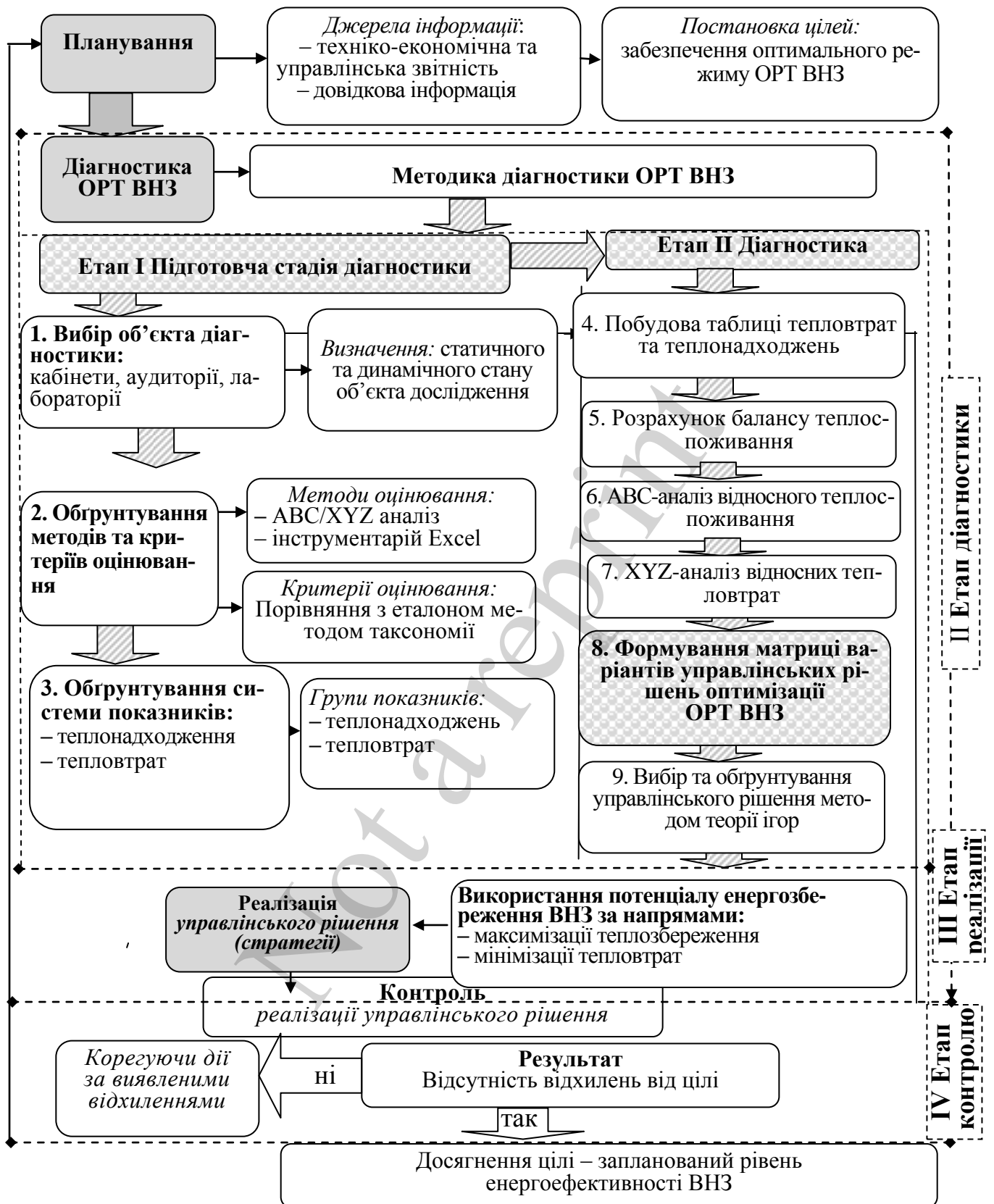


Рис. 1. Комплексна діагностика та обґрунтування оптимального режиму ОРТ ВНЗ

Метою оптимізації теплового режиму будівлі при комбінованій системі опалення є мінімізація загальних витрат енергії на опалення та енергетичних

втрат при підтримці заданого рівня теплового комфорту. Відповідно до цього концепту пропонується наступний алгоритм дій.

#### 4. 2. Визначення критеріїв оцінки теплового балансу приміщень ВНЗ

Комплексна діагностика існуючого режиму опалення починається з визначення статичного та динамічного стану об'єктів дослідження за допомогою розрахунку 2-х складових тепло-балансу всіх приміщень ВНЗ (аудиторій, кабінетів, лабораторій тощо):

$$Q_{\text{надходж}} = Q_{\text{втрати}}, \quad (3)$$

де

$$Q_{\text{надходж}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{поб}} + Q_{\text{люд}} + Q_{\text{сол}}, \quad (4)$$

$Q_{\text{надходж}}$  – сумарні теплонадходження;  $Q_{\text{оп}}$  – теплові надходження від опалювальних приладів;  $Q_{\text{поб}}$  – теплові надходження від побутових джерел;  $Q_{\text{люд}}$  – теплові надходження від людей;  $Q_{\text{сол}}$  – теплові надходження від сонячної енергії крізь світлові прорізи.

$$Q_{\text{втрати}} = Q_{\text{зов.огорож}} + Q_{\text{вентил}}, \quad (5)$$

де  $Q_{\text{зов.огорож}}$  – тепловтрати будівлі через зовнішні огорожувальні конструкції.

Потрібні сумарні теплонадходження визначаються виходячи з існуючих будівельних норм і правил (БНіП) та показника теплового комфорту PMV:

$$Q_{\text{надходж}} = q_i \times V (T_r - T_{\text{зов}}) \times \mathcal{G} \times 10^{-3}, \quad (6)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;  $q_i$  – нормативні витрати теплової енергії на опалення;  $\mathcal{G}$  – тривалість опалювального періоду, год.;  $t_b$  – розрахункова температура в середині приміщення  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_n$  – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період  $^{\circ}\text{C}$ .

Виходячи з цього, теплові надходження від опалювальних приладів (на додатковий підігрів) визначаються як різниця потрібних сумарних теплонадходжень та надходжень тепла з інших джерел:

$$Q_{\text{оп}} = Q_{\text{надходж}} - Q_{\text{поб}} - Q_{\text{люд}} - Q_{\text{сол}}. \quad (7)$$

Теплові надходження від побутових джерел (приладів освітлення, комп'ютерів, холодильників, ксероксів та ін.) визначаються за формулою:

$$Q_{\text{поб}} = \sum N \times \tau_f \times Z_f, \quad (8)$$



де  $\Sigma N$  – сумарна встановлена потужність, відповідно, освітлення, комп'ютерів, холодильників, ксероксів, кВт;  $\tau_{\phi}$  – фактичний час роботи обладнання в робочі дні опалювального періоду, год.;  $Z_f$  – фактична тривалість опалювального періоду, доби.

Теплонадходження від лабораторного обладнання (термостати, печі, сушарки, теплообмінники) визначаються окремо для кожного виду за формулою:

$$Q_{\text{ло}} = 10^{-3} \alpha \cdot F \times (t_{\text{пов}} - t_{\text{вн}}) \times \tau_f \times Z_f, \quad (9)$$

де  $F$  – поверхня тепловіддачі відповідного обладнання, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні в навколишнє середовище 14÷18 Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $t_{\text{пов}}$ ,  $t_{\text{вн}}$  – відповідно фактична температура на поверхні обладнання і внутрішня температура в приміщенні, °С.

Обсяг теплонадходжень від людей визначаються окремо для кожної категорії (співробітників, студентів) в залежності від професійної спрямованості установи та видом робіт (легка, середньої важкості, важка) за формулою:

$$Q_{\text{люд}} = (q_{\text{сп}} \times n_{\text{сп}} \times t_{\text{сп}} \times z_o + q_{\text{ст}} \times n_{\text{ст}} \times t_{\text{ст}} \times z_o), \quad (10)$$

де  $q_{\text{сп}}$  – теплонадходження від 1-ого співробітника ВНЗ; в зв'язку з відсутністю норм приймається:  $q_{\text{сп}}$  – тепловиділення від 1-го співробітника, 125 Вт в годину (легка робота);  $q_{\text{ст}}$  – тепловиділення від студентів, 90 Вт в годину;  $t_{\text{сп}}$ ,  $t_{\text{ст}}$  – час перебування співробітників і студентів в установі, годин на добу.

Теплонадходження через світлопрозорі огороження сонячної радіації з урахуванням орієнтації фасадів по восьми румбам визначається за формулою:

$$Q_{\text{сол}} = q_{\text{вікн}} \times k_F \times \sum A_{Fk} \times J_k, \quad (11)$$

де  $\tau_F$  – питома тепла потужність від сонячної радіації в залежності від орієнтації вікна, Вт/м<sup>2</sup> (табл. 1);  $k_F$  – коефіцієнт, що враховує наявність сонцезахисних елементів на вікні;  $\Sigma A_{Fk}$  – сумарна площа заклоєної частини вікон, м<sup>2</sup>;  $J_k$  – середня за опалювальний період інтенсивність сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації на горизонтальну і вертикальну поверхню за умов хмарності в м. Києві, кВт·год/м<sup>2</sup> (приймається згідно табл. 1).

### Таблиця 1

Інтенсивність сумарної сонячної радіації на горизонтальні і вертикальні поверхні за умов хмарності в м. Києві, кВт·год/м<sup>2</sup>

Орієнтація вікна	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Пн
q <sub>вікн</sub> ,	190	250	240	240	350	470	370	0

Джерело: ДСТУ Б В.2.2-21:2008. Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків

Тепловтрати будівлі при фактичних умовах через зовнішні огорожувальні конструкції визначаються за формулою:

$$Q_{\text{зов.огорож}} = 0,024 \times D_d \times \sum \frac{1}{R_i} \times A_i \times n, \quad (12)$$

де  $D_d$  – градусо–добы опалювального періоду

$$D_d = (t_b - t_{\text{оп.пер.}}^{\text{ср}}) \times Z_{\text{ф}}, \quad (13)$$

де  $t_b$  – внутрішня температура повітря в приміщенні, °С, яка має в громадських приміщеннях повинна відповідати  $T_{SU}$  – показнику теплового комфорту. При відмінності фактичної температури від розрахункової приймається значення фактичної температури;  $t_{\text{оп.пер.}}^{\text{ср}}$  – фактична середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С;  $Z_{\text{ф}}$  – тривалість опалювального періоду (фактична), доби;  $A_i$  – площі елементів: стін, вікон, покриття, перекриття, дверей і т. п.;  $n$  – поправочний коефіцієнт, що враховує залежність положення зовнішньої поверхні будівлі. Для зовнішніх стін, вікон, покриттів, суміщених з перекриттям  $n=1$ . Для інших випадків значення  $n$  приймається будівельно–архітектурними нормами;  $R_i$  – опір теплопередачі  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$  стін, вікон, вітражів, покриттів, перекриття і т. д. приймається за проектними даними або розрахунком відповідно до будівельно–архітектурних норм, згідно фактичної конструкції (товщина стін, будівельного матеріалу, ізоляції тощо) з урахуванням коефіцієнту теплотехнічної однорідності.

Тепловтрати будівлі за рахунок вентиляційного повітрообміну з урахуванням інфільтрації визначається за формулою:

$$Q_{\text{вентил}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \times L_b \times c_p \times \rho^{\text{ср}} \times d_d, \quad (14)$$

де  $c_p$  – питома теплоємність повітря,  $1 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{°С}$ ;  $L_b$  – повітрообмін в приміщеннях будівель конкретного призначення,  $\text{м}^3/\text{чол.}$ ;  $\rho^{\text{ср}}$  – середня щільність інфільтрованого повітря за опалювальний період визначається за формулою:

$$\rho^{\text{ср}} = 353 / \left[ 273 + 0,5 \times (t_b - t_{\text{оп.пер.}}^{\text{ср}}) \right]. \quad (15)$$

Обмін повітря в установах освіти повинен становити не менше  $5 \text{ м}^3/\text{чол.}$  на  $\text{м}^2$  розрахункової площі ( $F_p$ ). Розрахункова площа  $F_p$  визначається як сума площ всіх розміщених в будівлі приміщень за винятком коридорів, тамбурів, переходів, сходових клітин, ліфтових шахт, а також приміщень, призначених для розміщення інженерного обладнання та інженерних мереж.

#### 4. 3. Обґрунтування методики оцінювання та діагностики фактичного стану – баланс тепловтрат та теплонадходжень

##### 4. 3. 1. Етап 1 «Підготовча стадія діагностики»

Пропонується комбінований підхід до використання одночасно 2–х методів діагностики:

1) ABC/XYZ аналізу – для діагностики фактичного стану – балансу тепловтрат та тепло надходжень кожного приміщення;

2) теорії ігор – для вибору оптимального режиму використання приміщень під час опалювального періоду.

*Обґрунтування методики оцінювання.* Отримання висновків про доцільність прийняття управлінського рішення щодо варіанту використання аналізованого приміщення ВНЗ під час опалювального періоду буде прийматися на підставі аналізу модифікованої ABC/XYZ матриці (рис. 2).

Теплозбереження	A	AX	AУ	AZ
	B	BX	BУ	BZ
	C	CX	CУ	CZ
		X	У	Z
		Тепловтрати		

Рис. 2. Матриця діагностики варіантів використання приміщень ВНЗ під час опалювального періоду

Методи ABC та XYZ гуртуються на так званому методі Парето (20/80, "великого пальця"), згідно з яким п'ята частина (20 %) від всієї кількості об'єктів дає зазвичай приблизно 80 % результатів. Відповідно внесок решти 80 % становить лише 20 %. Суть принципу Парето полягає в тому, щоб розділити об'єкти по ступеню віддачі. Потім приділяти увагу лише тим, які мають незначну віддачу. ABC-аналіз є одним з методів раціоналізації. Він може використовуватися в усіх функціональних сферах діяльності. Для оптимізації витрат на енергоспоживання він використовується для виявлення теплонадходження та тепловтрати приміщень. Та приміщення, де теплонадходження найнижчі, а тепловтрати найвищі, відносяться до групи С. Ті приміщення, де теплонадходження найвищі, а тепловтрати найнижчі – до групи А.

##### 4. 3. 2. Етап 2 «Діагностика»

Запропонована методика формування ОРТ ВНЗ передбачає здійснення розрахунків за допомогою інструментарію Excel.

Алгоритм розрахунків: вибираємо групу аналізованих приміщень ВНЗ (аудиторії, кабінети, лабораторії тощо). Визначаємо період, за яким будемо робити

аналіз (наприклад, опалювальний період листопад – березень). Розраховуємо величину теплозбереження як різницю теплонадходжень та тепловтрат по кожному з приміщень. Вносимо ці дані в таблицю розрахунків. Сортуюмо таблицю від більшого до меншого за ознакою величини питомого теплозбереження. Розраховуємо частку кожної з груп АВС накопичувальним підсумком. Визначаємо групу: 0...80 %=«А», 80...95 %=«В», 95...100 %=«С». У підсумку отримуємо дані: Група «А» – приміщення, які дають 80 % всього обсягу теплозбереження; Група «В» – приміщення, які дають 15 % всього обсягу теплозбереження; Група «С» – приміщення, які дають 5 % всього обсягу теплозбереження.

Аналогічно проводимо XYZ аналіз, метою якого є з'ясувати ті приміщення, де тепловтрати найбільші. Результатом даного аналізу є отримання коефіцієнта варіації (відхилення). Коефіцієнт варіації, виражений в %, показує наскільки великі були відхилення у тепловтратах по видам (огороджувальних конструкцій, вентиляції) за аналізований період. Тарування по групах XYZ аналізу виглядає наступним чином: група «X» – 0...10 %; група «Y» – 10...15 %; група «Z» – 15 %...100 %.

Алгоритм розрахунків наступний: порівняння векторів–матриць показників тепловтрат з умовним вектором еталоном, визначеним за допомогою методу багатовимірних просторів (таксономії).

1. Складаємо матрицю тепловтрат: оцінки рівня тепловтрат за видами:

$$Q_{\text{втрати}} = [Q_{\text{зов.огорож } j}; Q_{\text{вентил } j}]. \quad (16)$$

2. Наводимо цю матрицю до безрозмірного стандартизованого вигляду: оцінки рівня тепловтрат за видами:

$$q_{\text{втрати}} = [q_{\text{зов.огорож } j}; q_{\text{вентил } j}], \quad (17)$$

де

$$q_{\text{втрати } j} = \frac{Q_{\text{втрати } j}}{Q_{\text{втрати}}}. \quad (18)$$

3. Складаємо вектор-еталон, де індекс "0" – краще значення по стовпцях: оцінки рівня тепловтрат за видами:

$$q_{\text{втрати } 0} = [q_{\text{зов.огорож } 0}; q_{\text{вентил } 0}]. \quad (19)$$

Краще значення по стовпцях обираються за принципом "стимулятор – де-стимулятор", тобто ті показники, найкраще значення яких обирається максима-

льним, виступають стимуляторами, а ті, найкраще значення яких обирається мінімальним – дестимуляторами.

4. Визначаємо багатовимірну евклідову відстань від векторів–еталонів до кожного досліджуваного об'єкта:

$$L_{\text{втрати } j} = [(q_{\text{зов.огорож } j} - q_{\text{зов.огорож0}})^2 + (q_{\text{вентил } j} - q_{\text{вентил0}})^2]^{1/2}. \quad (20)$$

5. Визначаємо середнє арифметичну багатовимірну евклідову відстань

$$\bar{L}_{\text{втрати}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^N L_{\text{втрати } j}, \quad (21)$$

де  $N$  – кількість приміщень.

Подальша обробка статистичної інформації проводиться шляхом обчислення середньоквадратичних відхилень багатовимірних відстаней тепловтрат кожного приміщення за формулою:

$$\sigma_{\text{втрати}} = \frac{1}{n} \cdot \left[ \sum_{j=1}^n (L_{\text{втрати } j} - \bar{L}_{\text{втрати}})^2 \right]^{1/2}. \quad (22)$$

Цей показник виступає основою для ранжування методом XYZ-аналізу.

6. Максимально можливий обсяг теплозбереження/мінімальні тепловтрати визначаються методом теорії ігор. Для цього має бути наявність 2-х умовних гравців. У даному випадку: перший гравець (гравець А) – це необхідність максимізувати теплозбереження витративши при цьому мінімум ресурсів, другий гравець (гравець В) – це необхідність мінімізувати тепловтрати у максимальному обсязі. Як видно із цієї постановки задачі, стратегія гравців знаходиться у антагонізмі – діаметрально протилежному напрямку. Рішення пари цих двоїстих задач виглядає наступним чином:

Гравець А (максимізація теплозбереження за мінімумом витрачених ресурсів) вибирає стратегію відповідно до принципу максіміна за формулою:

$$\max_{p_i} \left\{ \min \left( \sum_{i=1}^n a_{i1} x_i, \sum_{i=1}^n a_{i2} x_i, \dots, \sum_{i=1}^n a_{in} x_i \right) \right\}. \quad (23)$$

Гравець В (мінімізація тепловтрат у максимальному обсязі) за принципом мінімакса:

$$\min_{p_j} \left\{ \max \left( \sum_{j=1}^m a_{j1} y_j, \sum_{j=1}^m a_{j2} y_j, \dots, \sum_{j=1}^m a_{jn} y_j \right) \right\}, \quad (24)$$

де  $x_i$  – ймовірність вибору  $i$ -ої стратегії теплосбереження,  $y_j$  – ймовірність вибору  $j$ -ої стратегії зниження тепловтрат.

### 5. Результати практичного застосування запропонованої методики розрахунку оптимального енергоспоживання

Результати проведеного ABC/XYZ-аналізу на прикладі 4-го корпусу Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Узагальнення результатів проведеного ABC/XYZ-аналізу приміщень 4-го корпусу КНУТД

Група	Кількість	Сумарні теплонадходження/тепловтрати	Опис (критерій)
ABC – аналіз			
A	35	192188	>3800
B	50	102456	>400; <3800
C	89	-36772	<400
XYZ – аналіз			
X	45	85920	<4 %
Y	102	155788	>4 %; <7 %
Z	27	16163	>7 %

Далі поєднуємо обидва розрахунки і аналізуємо отримані підсумкові результати. Кожному з приміщень тепер будуть присвоєні значення груп з ABC аналізу і з XYZ аналізу (рис. 3).

AX – високий рівень теплосбереження та низький рівень тепловтрат	AY – високий рівень теплосбереження та середній рівень тепловтрат	AZ – високий рівень теплосбереження та високий рівень тепловтрат
BX – середній рівень теплосбереження та низький рівень тепловтрат	BY – середній рівень теплосбереження та середній рівень тепловтрат	BZ – середній рівень теплосбереження та високий рівень тепловтрат
CX – низький рівень теплосбереження та низький рівень тепловтрат	CY – низький рівень теплосбереження та середній рівень тепловтрат	CZ – низький рівень теплосбереження та високий рівень тепловтрат

Рис. 3. Тарування ступеню доцільності використання приміщень ВНЗ в опалювальний період

Результати тарування приміщень 4-го корпусу КНУТД наведені рис. 4.

4-0708; 4-1418; 4-0322; 4-0815; 4-1003б; 4-060; 4-0212; 4-1218; 4-0315	4-0502a; 4-1008; 4-1108; 4-0208; 4-0203; 4-0324; 4-1004a; 4-0803; 4-0508; 4-1312; 4-0406; 4-1411; 4-1101; 4-0214; 4-0206; 4-0408; 4-0403; 4-0313; 4-0412; 4-0814; 4-0314; 4-1204; 4-0312	4-0113; 4-0809; 4-0702a
4-0306; 4-1107; 4-1007a; 4-1306; 4-0205; 4-0303; 4-0710; 4-1420; 4-0703a; 4-1304; 4-0908; 4-1105; 4-0506; 4-0906; 4-1214; 4-1208; 4-0218; 4-1011; 4-1012	4-1409; 4-1005; 4-0320; 4-0805a; 4-0610a; 4-0704; 4-0706; 4-1407; 4-0612; 4-1206; 4-1209; 4-0910; 4-0606; 4-0416; 4-1402; 4-0901; 4-0914; 4-1412; 4-0802; 4-1007; 4-0507; 4-0601; 4-0210; 4-0309; 4-1010	4-0814a; 4-0410; Заст. декана; 4-0603; 4-0204
4-0503; 4-1406; 4-1408; 4-0211; 4-1202a; 4-1202; 4-0404; 4-0305; 4-0316; 4-0305a; 4-1216; 4-1220; 4-0301; 4-0307; 4-0302; 4-0308; 4-0310; 4-0407; 4-0304	4-1414; 4-1003; 4-1416; 4-1102; 4-1212; 4-0401a; 4-1308; 4-0216; 4-0311; 4-1003a; 4-1403; 4-0608; 4-0805; 4-1405; 4-1103; 4-0705; 4-0804; 4-1111; 4-1210; 4-0326; 4-0810; 4-1203; 4-1401; 4-0712; 4-1201; 4-0812; 4-0504a; 4-1109; 4-0806; 4-0207; 4-1207; 4-0808; 4-0605; 4-0401; 4-1301; 4-0409; 4-1303; 4-1001; 4-0501; 4-0902; 4-1006; 4-0701; 4-1106; 4-0414; 4-1307; 4-0905; 4-1004; 4-0318; 4-0801; 4-0907; 4-0201; 4-0610; 4-0209	4-1208a; 4-1310; 4-0904; 4-0502; 4-1002; 4-1104; 4-0912; 4-0903; 4-1305; 4-1205; 4-0702; 4-0402; 4-0405; 4-0602; 4-0202; 4-0703; 4-0104

Рис. 4. Результати тарування приміщень 4-го корпусу КНУТД

Вибір та обґрунтування оптимального режиму теплоспоживання пропонується здійснювати наступним чином. В опалювальний період максимально завантажують приміщення категорій за принципом отримання необхідної робочої площі у порядку зменшення: АХ, потім ВХ, АУ, далі СХ, ВУ, АЗ. Оскільки задача знаходження оптимального варіанту використання приміщень в опалювальний період має багатовимірний вигляд, рішення пропонується здійснювати за допомогою методу теорії ігор.

При вирішенні задачі максіміна/мінімакса методами теорії гри при формуванні оптимальної програми теплосбереження та догріву приміщень університет може одержати орієнтири оптимального обсягу завантаження приміщень, який одночасно дозволяє отримати максимум теплосбереження та мінімум тепловтрат. Візуалізація проведеного АВС/XYZ-аналізу здійснена методом кластерного аналізу (рис. 5).

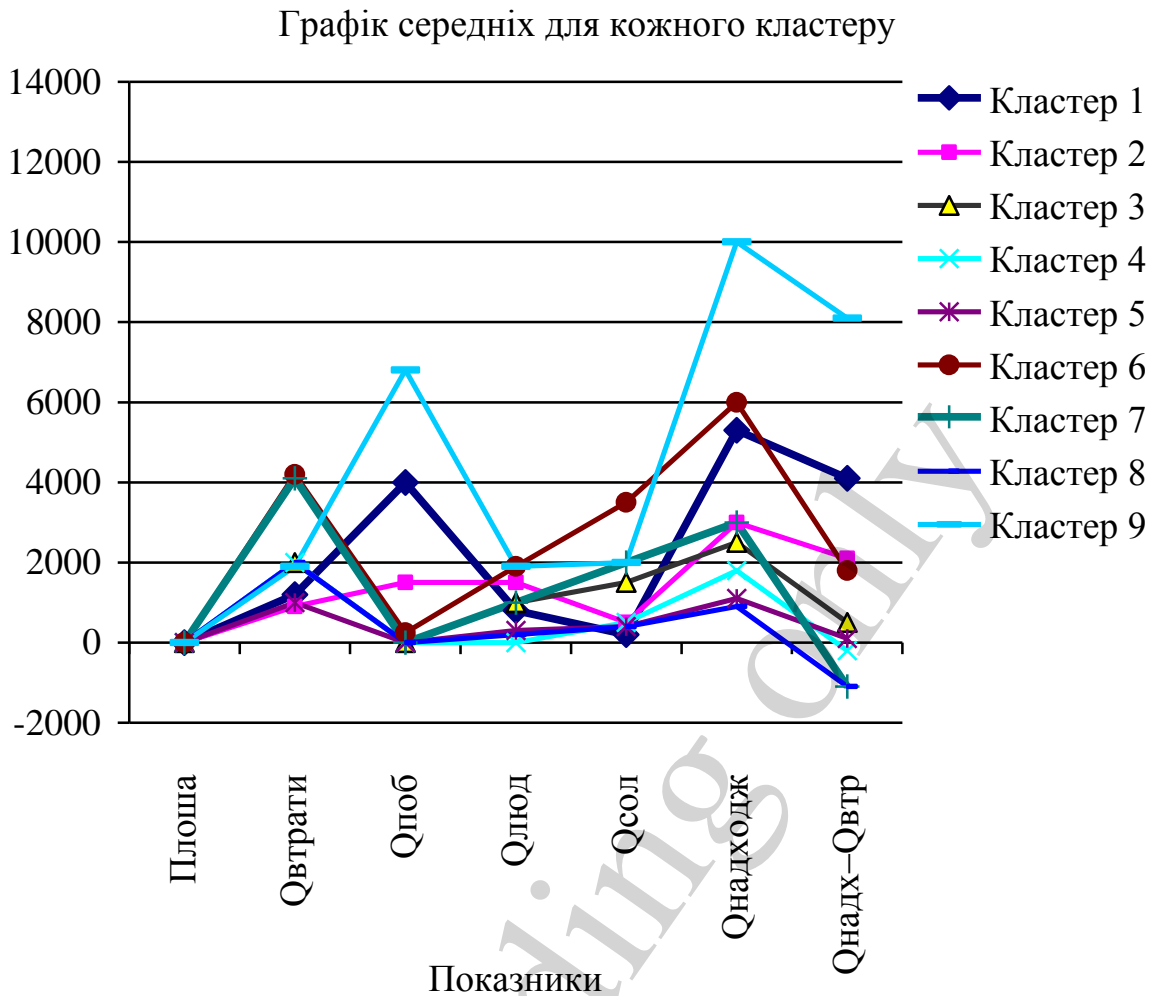


Рис. 5. Візуалізація результатів ABC/XYZ-аналізу приміщень 4-го корпусу КНУТД за допомогою кластерного аналізу

Приміщення, які, наприклад, потрапили до першого кластеру (AX), наведені на рис. 6.

Приміщення	Члени кластеру № 9 і відстані від відповідного кластерного центру Кластер містить 8 приміщень			
	Відстань			
4-0113	1320,497			
4-0208	562,7613			
4-0324	306,0615			
4-0322	932,8474			
4-1101	773,7731			
4-1004a	669,0753			
4-1108	910,1712			
4-1008	909,9131			

Рис. 6. Приміщення дев'ятого кластеру (AX) – лістинг програми STATISTICA 10 (фрагмент)



Ідентифікацію кожного приміщення за ознакою величина теплозбереження/тепловтрат пропонується здійснювати за допомогою інструментарію дискримінантного аналізу (рис. 7, табл. 3).

Функції класифікації для кластерів Сигма -обмеження параметризації									
Ефект	1 p=,0460	2 p=,0172	3 p=,1782	4 p=,0920	5 p=,2299	6 p=,0920	7 p=,1609	8 p=,1379	9 p=,0460
Постійна	-51,3146	-272,299	-13,9109	-21,7765	-5,38582	-28,5299	-6,24713	-16,8747	-56,1812
$F_p$	1,0936	2,845	0,4389	0,3324	0,17393	0,1328	0,00839	-0,0044	0,1003
$Q_{\text{втр.огорож}}$	0,0010	0,005	0,0008	0,0009	0,00010	0,0001	0,00007	0,0001	0,0013
$Q_{\text{втр.вентиляц}}$	-0,0023	0,001	-0,0049	-0,0020	-0,00354	-0,0106	-0,00449	-0,0032	-0,0059
$Q_{\text{поб}}$	0,0033	-0,002	-0,0004	0,0065	-0,00011	0,0001	0,00021	0,0069	0,0129
$Q_{\text{люд}}$	0,0003	-0,001	0,0010	0,0012	0,00098	0,0019	0,00117	0,0008	0,0008
$Q_{\text{сол}}$	-0,0009	-0,001	-0,0006	0,0003	-0,00037	0,0003	-0,00012	-0,0005	-0,0010

Рис. 7. Результати дискримінантного аналізу – лістинг програми STATISTICA10

Таблиця 3

Ідентифікація приналежності приміщень до кластеру за ознаками величина теплозбереження/тепловтрат

		Тепловтрати		
		X	Y	Z
Тепло- збере- ження	A	$Q_9 = -56,1812 + 0,1003 F_p + 0,0013 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,0059 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,0129 Q_{\text{поб}} + 0,0008 Q_{\text{люд}} - 0,001 Q_{\text{сол}}$	$Q_8 = -16,9949 - 0,0044 F_p + 0,001 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,0032 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,0069 Q_{\text{поб}} + 0,0008 Q_{\text{люд}} - 0,0005 Q_{\text{сол}}$	$Q_3 = -13,9109 + 0,4389 F_p + 0,0009 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,0049 Q_{\text{втр.вентиляц}} - 0,0004 Q_{\text{поб}} + 0,001 Q_{\text{люд}} - 0,0006 Q_{\text{сол}}$
	B	$Q_6 = -28,5299 + 0,1328 F_p + 0,001 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,0106 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,001 Q_{\text{поб}} + 0,0019 Q_{\text{люд}} + 0,0003 Q_{\text{сол}}$	$Q_4 = -21,7765 + 0,3324 F_p + 0,0009 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,002 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,0065 Q_{\text{поб}} + 0,0012 Q_{\text{люд}} + 0,0003 Q_{\text{сол}}$	$Q_1 = -51,3146 + 1,0936 F_p + 0,001 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,0023 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,0033 Q_{\text{поб}} + 0,0003 Q_{\text{люд}} - 0,0009 Q_{\text{сол}}$
	C	$Q_7 = -6,24713 + 0,00839 F_p + 0,00007 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,00449 Q_{\text{втр.вентиляц}} + 0,00021 Q_{\text{поб}} + 0,00117 Q_{\text{люд}} - 0,00012 Q_{\text{сол}}$	$Q_5 = -5,38582 + 0,17393 F_p + 0,0001 Q_{\text{втр.огорож}} - 0,00354 Q_{\text{втр.вентиляц}} - 0,00011 Q_{\text{поб}} + 0,00098 Q_{\text{люд}} - 0,00037 Q_{\text{сол}}$	$Q_2 = -272,299 + 2,845 F_p + 0,005 Q_{\text{втр.огорож}} + 0,001 Q_{\text{втр.вентиляц}} - 0,002 Q_{\text{поб}} - 0,001 Q_{\text{люд}} - 0,0006 Q_{\text{сол}}$

Кожна отримана дискримінантна функція описує залежність необхідної величини догріву приміщення від притаманних йому величин теплозбереження/тепловтрат і вказує на приналежність одному із отриманих дев'яти кластерів

тепозбереження (рис. 5). Подальша побудова оптимального плану загрузки приміщень відбувається наступним чином.

Визначається необхідний на опалювальний період потрібний об'єм аудиторій – кабінетів. Порівнюється даний обсяг по-кроково: по-перше – з площею приміщень категорії АХ, якщо цього об'єму недостатньо – додається приміщення категорії АУ, потім – ВУ і так далі в порядку переходу від зеленого кольору до червоного (рис. 4). Після визначення приміщень, які будуть використовуватися обґрунтовується оптимальний варіант опалення /догріву за ознакою максимізації тепозбереження (вісь ОУ)/мінімізації тепловтрат (вісь ОХ). Для цього в кожному з отриманих дискримінантних функцій підставляються фактичні дані про інфраструктуру задіяних приміщень. Ці показники: площа, кількість та види устаткування, посадкових місць (для аудиторій), кількість працюючих (для кабінетів) та ін. Далі, в Excel-таблицю тепловтрат та теплонадходжень вносяться отримані розраховані значення теплонадходжень та тепловтрат (рис. 7, табл. 3). Отримана матриця вирішується за допомогою теорії ігор.

Оптимальним з точки зору теорії ігор (максимально можливий обсяг тепозбереження / мінімальні тепловтрати) є так звана "сідлова" точка – це пара оптимальних стратегій (Аі, Вj). Якщо вона є – в такому випадку число  $a = b$  називається (чистою) ціною гри (нижня і верхня ціна гри збігаються). Це означає, що матриця містить такий елемент, який є мінімальним у своєму рядку і одночасно максимальним у своєму стовпці. Якщо сідлової точки немає – рішення матриці здійснюється за допомогою змішаних стратегій.

Наведемо приклад результатів гри для аудиторії 4–0113 (табл. 4). Ця аудиторія відноситься до категорії АZ та кластеру 9.

Таблиця 4

Матриця оптимізації тепозбереження/теповтрат для аудиторії 4–0113

Величина тепозбереження	Величина тепловтрат			a=min(Ai)
	X	Y	Z	
	A	21,986	24,412	-29,129
B	-81,761	35,229	-2,619	-81,761
C	-29,208	-21,239	-178,525	-178,525
b=max(Bi)	21,986	35,229	<b>-2,619</b>	

Найбільший з найменших елементів рядків **-29,129**, це нижня ціна гри, їй відповідає перший рядок, отже, максимінна стратегія першого гравця перша. Найменший з найбільших елементів стовпців **-2,619**, це верхня ціна гри, їй відповідає третій стовпець, отже, мінімаксна стратегія другого гравця – третя. Тобто ціна гри знаходиться в межах **-29,129 < Ц4-0113 < -2,619**.

Дана задача вирішується за допомогою методу змішаних стратегій, де  $A_1$ ,  $A_2$  – стратегії гравця "А", а  $p_1$ ,  $p_2$  – відповідно ймовірності (частоти), з якими ці стратегії застосовуються, причому  $p_1+p_2=1$ . Аналогічно,  $B_1$ ,  $B_2$  – стратегії гравця "В", а  $q_1$ ,  $q_2$  – відповідно ймовірності, з якими ці стратегії застосовуються, причому  $q_1+q_2=1$ . Попередньо було вилучено з аналізу другий стовпчик та третій рядок як потенційно неактивні стратегії. Таким чином, платіжна матриця перетворюється на розмірність  $2 \times 2$ , а її вирішення у загальному вигляді виглядає наступним чином:

$$-29,129 \cdot p_1 + (-81,761) \cdot (1-p_2) = 21,986 \cdot q_1 + (-2,619) \cdot (1-q_2).$$

Розрахована ціна гри – 23,239. Дані розрахунки підтверджують той факт, що приміщення 4–0113 для експлуатації в опалювальний період потрібні додаткові теплонадходження у відповідному розмірі. У зв'язку з тим, що приміщення 4–0113 знаходиться в четвертій групі світло жовтого кольору за принципом «світлофору» – приміщення цієї групи більш енергозатратні ніж групи зеленого кольору. Але його необхідно включити в план навантаження у зв'язку в виробничу необхідність – нехваткою достатнього обсягу енергозберігаючого аудиторного фонду для проведення занять. Розрахована ціна гри – 23,239, від'ємне значення якої свідчить про перевищення тепловтрат над теплонадходженнями.

#### **6. Обговорення результатів складання оптимального плану завантаження приміщень в опалювальний період**

Отримані результати можуть бути пояснені тим, що запропоновано підхід і виконані відповідно до нього розрахунки дозволили провести певні порівняння.

А саме: в результаті проведених розрахунків було отримано зведену матрицю оптимального плану завантаження приміщень в опалювальний період (рис.8). Цей план побудований в двох координатах, де по осі ОУ – знаходиться величина необхідного питомого донагріву приміщень (верхня ціна гри для кожного кластеру – категорії приміщення); по осі ОХ – величина питомих тепловтрат приміщень (нижня ціна гри для кожного кластеру – категорії приміщення).

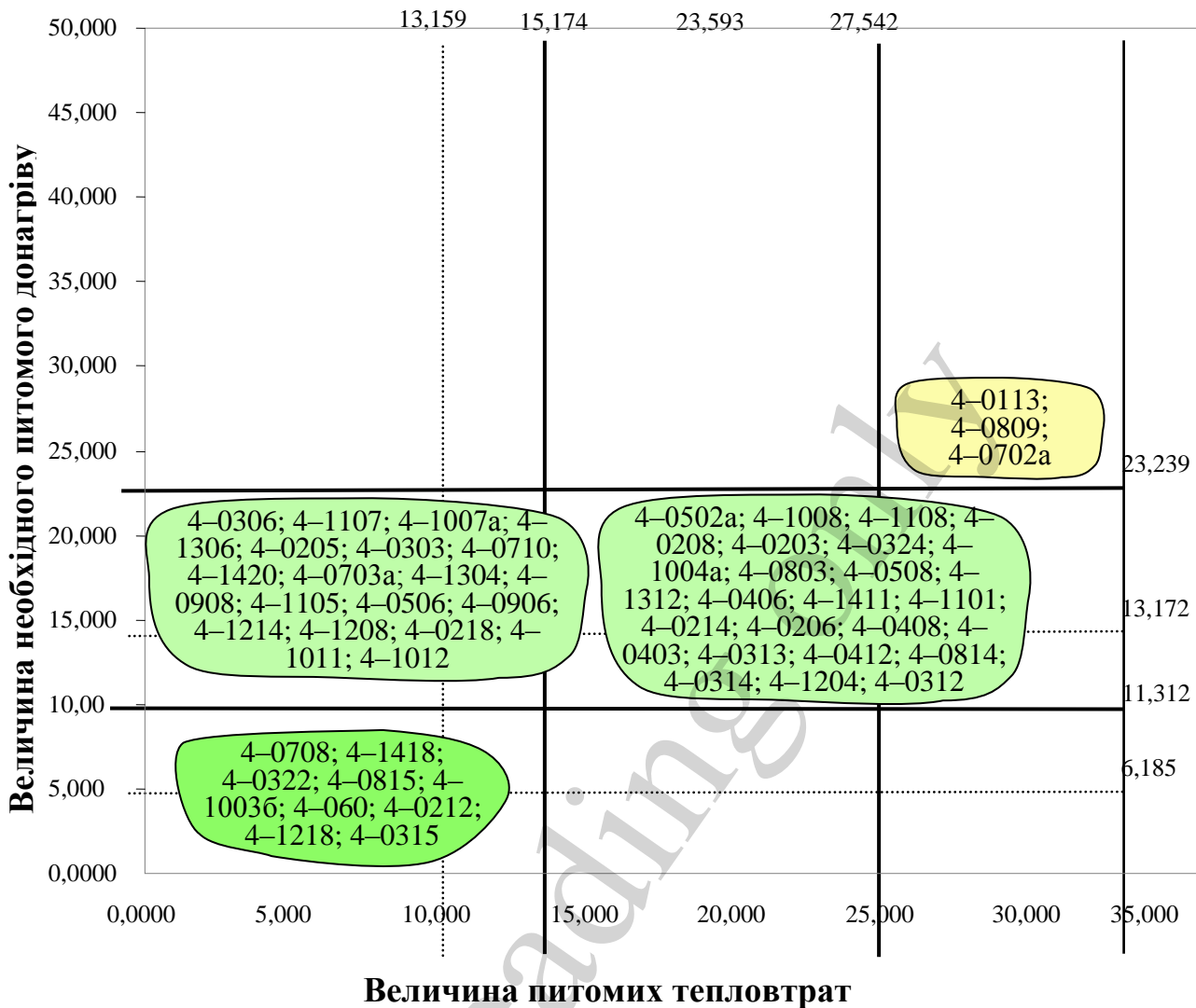


Рис. 8. Матриця оптимального плану завантаження приміщень в опалювальний період 4 корпусу КНУТД

Отримана матриця завдяки сполученню двох розрахункових величин «Величина необхідного питомого донагріву» та «Величина питомих тепловтрат» дозволяє здійснити обґрунтовані рішення щодо порядку завантаження приміщень у поточний момент. Окрім того, побудова прогнозової матриці на майбутній період дозволить розробити перспективний план завантаження аудиторного фонду та скласти оптимальний розклад занять.

Перевагами даного дослідження в порівнянні з аналогами є можливість складання оптимального плану завантаження приміщень в опалювальний період по-кроково. До цього плану потрапили 4 групи приміщень. На першому етапі до плану залучаються приміщення групи темно-зеленого кольору. Приміщення цієї групи найбільш енергетично зберігаючі. На другому кроці – приміщення двох груп світло зеленого кольору. Ці приміщення менш енергозберігаючі, але достатньо щоб використовувати їх в опалювальний період з мінімальними витратами на донагрів. І на кінець, на третьому етапі, якщо не вистачає

аудиторного фонду завантажується групи світло жовтого кольору. Приміщення цієї групи більш енергозатратні ніж попередні групи. Але їх було вимушено залучають у план навантаження у зв'язку в виробничою необхідністю – нехваткою достатнього обсягу енергозберігаючого аудиторного фонду. Досі альтернативним методом складання плану завантаження аудиторій в опалювальний період був по-операційний – відповідно до графіку навчального процесу. Цей метод залишився ще за радянські часи, є анахронічним, а у зв'язку з високою вартістю енергоносіїв – дуже енерговитратним.

Недоліками дослідження можуть бути складність та трудомісткість проведення енергетичного аудиту для побудови балансу тепловтрат та тепло надходжень.

Розвитком даного дослідження може бути розробка та обґрунтування методики виявлення тих груп приміщень ВНЗ, які доцільно не тільки використовувати під час опалювального періоду, а й проводити заходи щодо утеплення (внутрішнього та зовнішнього).

## **7. Висновки**

1. Запропонована комплексна методика обґрунтування оптимального режиму енергоспоживання у ВНЗ під час опалювального сезону. Методика базується на послідовності наступних дій: підготовча стадія діагностики (вибір об'єкту діагностики, обґрунтування методів, критеріїв та показників оцінювання) та діагностика (побудова таблиці тепловтрат та теплонадходжень, розрахунок балансу теплоспоживання, АВС-аналіз відносного теплоспоживання, XYZ-аналіз відносних тепловтрат). Обґрунтування оптимального режиму енергоспоживання представляє собою формування матриці варіантів управлінських рішень оптимізації ОРТ ВНЗ, вибір та обґрунтування управлінського рішення методом теорії ігор.

2. Діагностика для оцінки балансу тепловтрат та теплонадходжень кожного приміщення ВНЗ, як першого етапу розробленої методики, базується на використанні сукупності наступних методів: АВС-аналізу, XYZ-аналізу та теорії ігор. Розрахунок балансу представляє собою тарування приміщень щодо фактичного стану теплонадходжень /тепловтрат.

3. Прийняття управлінського рішення щодо оптимального використання в освітньому процесі приміщень ВНЗ під час опалювального періоду, як другого етапу розробленої методики, представляє собою так званий "світлофор" модифікованої АВС/XYZ матриці. "Світлофор" працює наступним чином. Приміщення підсвітлені темно зеленим кольором є найбільш енергозберігаючі і використовуються в першу чергу. А далі завантаження аудиторного фонду здійснюється по мірі переходу кольору від зеленого до червоного.

## **Література**

1. Єрмілов, С. Ф. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2015 році [Текст] / С. Ф. Єрмілов, В. М. Геєць, Ю. П. Яценко, В. В. Григоровський, В. Е. Лір та ін. – К.: НАЕР, 2014. – 93 с.

2. Постанова КМУ «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2016 роки» [Текст]. – Верховна Рада України, 2010. – № 243. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws>
3. Енергоефективність в українських ВНЗ за підтримки європейського інвестиційного банку [Електронний ресурс]. – Науково-дослідний інститут прикладних інформаційних технологій. – Режим доступу: <http://www.ndipit.com.ua/ua/instytut/pres-centr/novyny/energoefektyvnist-v-ukrayinskyh-vnz-za-pidtrymky-yevropejskogo-investycijnogo-banku.html>
4. De la Cruz-Lovera, C. Worldwide Research on Energy Efficiency and Sustainability in Public Buildings [Text] / C. de la Cruz-Lovera, A.-J. Perea-Moreno, J.-L. de la Cruz-Fernández, J. Alvarez-Bermejo, F. Manzano-Agugliaro // Sustainability. – 2017. – Vol. 9, Issue 8. – P. 1294. doi: 10.3390/su9081294
5. Zhang, J. Energy and Energy Cost Savings Analysis of the 2015 IECC for Commercial Buildings [Text] / J. Zhang, Y. Xie, R. A. Athalye, J. W. Zhuge, M. I. Rosenberg, P. R. Hart, B. Liu. – Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (United States), 2015. doi: 10.2172/1214905
6. Athalye, R. A. Impacts of Model Building Energy Codes [Text] / R. A. Athalye, D. Sivaraman, D. B. Elliott, B. Liu, R. Bartlett. – Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States), 2016. doi: 10.2172/1334003
7. Zhang, J. Energy and Energy Cost Savings Analysis of the IECC for Commercial Buildings [Text] / J. Zhang, R. A. Athalye, P. R. Hart, M. I. Rosenberg, Y. Xie, S. Goel et. al. – Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US), 2013. doi: 10.2172/1094956
8. Bajcinovci, B. Achieving Energy Efficiency in Accordance with Bioclimatic Architecture Principles [Text] / B. Bajcinovci, F. Jerliu // Environmental and Climate Technologies. – 2016. – Vol. 18, Issue 1. doi: 10.1515/rtuct-2016-0013
9. Asdrubali, F. Evaluation of Green Buildings' Overall Performance through in Situ Monitoring and Simulations [Text] / F. Asdrubali, C. Buratti, F. Cotana, G. Baldinelli, M. Goretti, E. Moretti et. al. // Energies. – 2013. – Vol. 6, Issue 12. – P. 6525–6547. doi: 10.3390/en6126525
10. Dagdas, A. Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach [Text] / A. Dagdas // Renewable Energy. – 2007. – Vol. 32, Issue 6. – P. 1020–1032. doi: 10.1016/j.renene.2006.03.008
11. Eley, C. A Conversation on Zero Net Energy Buildings [Text] / C. Eley, S. Gupta, P. Torcellini, J. Mchugh, B. Liu, C. Higgins et. al. // ASHRAE Journal. – 2017. – Vol. 59, Issue 6. – P. 38–49.
12. Wang, W. Energy and Cost Savings of Retro-Commissioning and Retrofit Measures for Large Office Buildings [Text] / W. Wang, J. Zhang, D. Moser, G. Liu, R. Athalye, B. Liu // Fifth National Conference of IBPSA-USA (SimBuild 2012). – Madison, Wisconsin, 2012. – P. 496–503.
13. Liu, B. Alternative Energy Saving Technology Analysis Report for Richland High School Renovation Project [Text] / B. Liu. – Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States), 2004. doi: 10.2172/860085

14. Малкін, Е. С. Енергоефективна система теплопостачання з підвищеними екологічними властивостями [Текст] / Е. С. Малкін, Н. Є. Журавська // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2016. – Вип. 19. – С. 87–93.
15. Фомічов, Е. П. Створення системи енергетичного менеджменту в Одеському національному політехнічному університеті [Текст] / Е. П. Фомічов, О. М. Бесараб // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 6 (74). – С. 220–224.
16. Xie, Y. Measuring and Understanding the Energy Use Signatures of a Bank Building [Text] / Y. Xie, B. Liu, R. A. Athalye, M. C. Baechler // ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. – California, 2012. – P. 9-317–9-328.
17. Aliyu, A. K. An Approach to Energy Saving and Cost of Energy Reduction Using an Improved Efficient Technology [Text] / A. K. Aliyu, A. L. Bukar, J. G. Ringim, A. Musa // Open Journal of Energy Efficiency. – 2015. – Vol. 04, Issue 04. – P. 61–68. doi: 10.4236/ojee.2015.44007
18. Ge, J. Study on Optimization Model of AGC Dispatch Schedule in the Energy Saving Dispatch [Text] / J. Ge, L. Zhang, Y. Geng // 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. – 2010. doi: 10.1109/appeec.2010.5448168
19. Грищенко, І. М. Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах [Текст]: монографія / І. М. Грищенко, В. В. Каплун, М. В. Дяченко, О. В. Власенко, Р. В. Каплун, Г. С. Жулай. – К.: КНУТД, 2013. – 245 с.
20. Ganushchak-Yefimenko, L. Managing a project of competitive-integrative benchmarking of higher educational institutions [Text] / L. Ganushchak-Yefimenko, V. Shcherbak, O. Nifatova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 3 (87). – P. 38–46. doi: 10.15587/1729-4061.2017.103194
21. Wolske, K. S. Explaining interest in adopting residential solar photovoltaic systems in the United States: Toward an integration of behavioral theories [Text] / K. S. Wolske, P. C. Stern, T. Dietz // Energy Research & Social Science. – 2017. – Vol. 25. – P. 134–151. doi: 10.1016/j.erss.2016.12.023
22. Wang, Y. Optimization of Energy-Saving Lighting Line Adjustable Research [Text] / Y. Wang, Y. Z. Zhang // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 668-669. – P. 884–887. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.668-669.884
23. Leading Techniques for Energy Savings in Colleges and Universities [Text]. – White Paper. – 2007. – Available at: [http://www2.schneider-electric.com/documents/buildings/leading\\_techniques\\_for\\_energy\\_savings\\_in\\_colleges\\_and\\_universities.pdf](http://www2.schneider-electric.com/documents/buildings/leading_techniques_for_energy_savings_in_colleges_and_universities.pdf)
24. Каплун, В. В. Багатокритеріальний факторний аналіз енергетичної ефективності будівель вищого навчального закладу [Текст] / В. В. Каплун, В. Г. Щербак // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 12 (186). – С. 349–359.
25. Ran, X. The multi-objective optimization dispatch of energy-saving coordination of Combined Cold Heat and Power [Text] / X. Ran, R. Zhou // PES T&D 2012. – 2012. doi: 10.1109/tdc.2012.6281577
26. Наказ "Про затвердження Програми щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти на 2010–2014 рр."

[Текст]. – МОН України, 2010. – № 147. – Режим доступу: [http://old.mon.gov.ua/images/newstmp/2010\\_1/01\\_03/nakaz\\_mon\\_147.doc](http://old.mon.gov.ua/images/newstmp/2010_1/01_03/nakaz_mon_147.doc)

27. Закон України "Про енергозбереження". Редакція від 09.05.2015 [Текст]. – Верховна Рада України, 1994. – № 30. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>

28. ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Основні положення [Електронний ресурс]. – Державний стандарт України. – Режим доступу: [http://document.ua/energozberezhennja\\_-osnovni%E2%80%93polozhennja-nor9601.html](http://document.ua/energozberezhennja_-osnovni%E2%80%93polozhennja-nor9601.html)

29. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Електронний ресурс]. – Державний стандарт України. – Режим доступу: [https://dnaor.com/html/43867/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_2155%E2%80%9393](https://dnaor.com/html/43867/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2155%E2%80%9393)

30. ДСТУ 2420-94. Енергоощадність. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Державний стандарт України. – Режим доступу: [https://dnaor.com/html/40970/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_2420-94](https://dnaor.com/html/40970/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2420-94)

31. ISO 7730:2005(E). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria [Text]. – Switzerland, 2005. – 60 p.

For reading