

## ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621:658.264

В.І. Дешко, О.М. Шевченко

### СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГАЛУЗІ ОСВІТИ

The paper studies the structural analysis of the energy consumption facilities in the area of education. The following areas are included: analysis of energy use, specific consumption of energy facilities, as well as identifying factors that influence the energy consumption of higher education institutions. We determine the specific energy consumption using the data on energy consumption, total areas of buildings and the difference between weather conditions of actual and reference years. Furthermore, we compare the values of specific energy consumption with world analogues and national regulations. And we further evaluate the energy performance objects. Finally, we classify the universities in terms of "specific energy consumption" to further elaborate the approaches and methods for assessing the energy efficiency of universities and their buildings, as well as for developing the energy management system of education in general.

#### Вступ

З урахуванням низького рівня ефективності енерговикористання в бюджетній сфері виникає необхідність проведення структурного аналізу використання енергії та створення цілісної моделі керування енергозбереженням у бюджетних закладах. Для цього необхідні опрацювання механізмів керування та організації робіт з енергозбереження, розроблення показників енергоефективності бюджетних закладів, оцінювання їх економічної та екологічної привабливості в умовах сучасної економічної ситуації в Україні. Оптимальне керування процесами енергоспоживання та енергозбереження окремих установ та галузі в цілому потребує розвитку та вдосконалення науково-технічних й управлінських методів.

Розробленню алгоритмів і методів підвищення енергетичної ефективності, оптимізації та раціоналізації управління у сфері енерговикористання присвячено багато праць вітчизняних і зарубіжних вчених. Зокрема, в [1] за базову характеристику для реалізації робіт з енергозбереження покладено консервативну опалювальну характеристику для кожного підвідомчого об'єкта галузі, підвищення енергетичної та бюджетної ефективності пропонується реалізовувати через адміністративно-технологічне керування даними процесами. В праці [2] запропоновано методіку оптимального управління організаційною структурою за рахунок процедур виявлення аномального споживання ресурсів, прогнозування та нормування споживання ресурсів, а також розрахунку оптимального їх складу. В [3, 4] з використанням системного підходу для побудови математичної моделі теплового режиму будівлі вивчаються питання

досягнення її енергетичної ефективності, де будівля розглядається як єдина енергетична система. Такий підхід у [4] пропонується використовувати на стадії проектування енергоефективних будівель, де як еталон оцінки вводиться показник теплової ефективності проектного рішення, що характеризує відхилення проектованої будівлі від будівлі, найбільш ефективної в тепловому відношенні.

Проте незважаючи на вагоме теоретичне та практичне значення досліджень вчених, існує потреба вивчення питань, присвячених розвитку механізмів управління та організації робіт з енергозбереження, сертифікації енергоефективності об'єктів різного призначення та складу тощо. Важливість вирішення цих питань зумовлює необхідність проведення детального структурного аналізу процесів енергоспоживання та енергозбереження в галузі для подальшого розроблення моделей та засобів керування цими процесами.

#### Постановка задачі

Метою роботи є дослідження процесів енергоспоживання та енергозбереження в бюджетних установах на прикладі установ, підпорядкованих Міністерству освіти і науки, молоді та спорту України (МОНМС), за такими напрямками: аналіз використання енергії галуззю; питомі величини споживання енергії об'єктами і їх порівняння зі світовими аналогами; визначення найбільш доцільних показників для проведення класифікації об'єктів за рівнем ефективності використання енергоресурсів.

#### Визначення об'єкта дослідження

До підпорядкування МОНМС належать навчальні заклади (НЗ) й установи державної

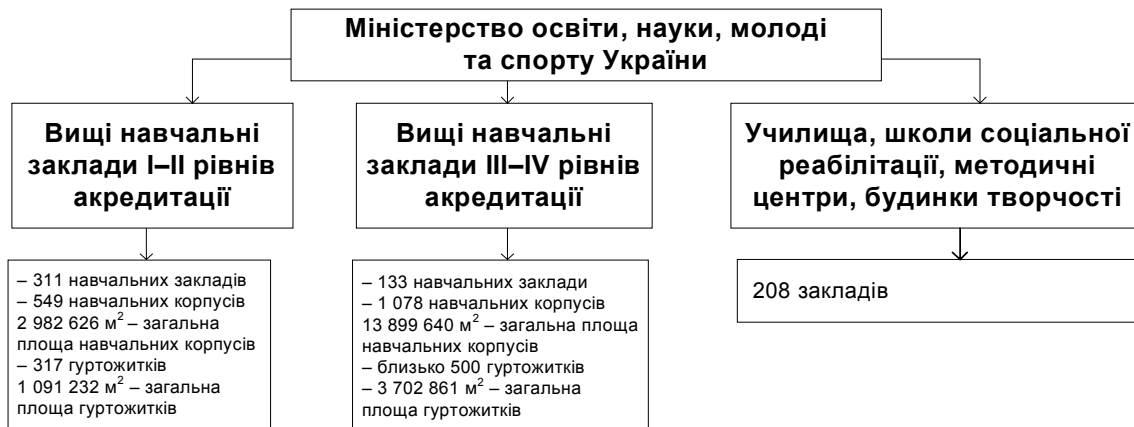


Рис. 1. Зведені характеристики навчальних закладів, підпорядкованих МОНМС (станом на 01.01.2008 р.)

та недержавної форм власності. Серед НЗ – дошкільні установи, загальноосвітні школи, вищі навчальні заклади (ВНЗ) I–II рівнів акредитації (р.а.) (професійно-технічні училища, технікуми, коледжі), ВНЗ III–IV р.а. (інститути, університети, академії).

Станом на 01.01.2010 р. загальна кількість НЗ становила понад 22 тис. [5], з них професійно-технічних: 874 державної форми власності та 924 приватної; ВНЗ I–II р.а.: 311 державної форми власності; ВНЗ III–IV р.а.: 133 державної форми власності та 171 приватної. Однак всі ці заклади підпорядковані МОНМС у питаннях розроблення навчальних програм, методичних планів тощо. Фінансове ж підпорядкування МОНМС мають більшість ВНЗ I–II і III–IV р.а. Дошкільні та загальноосвітні заклади підпорядковуються місцевим і районним держадміністраціям, з бюджетів яких фінансується будівництво, ремонт та їх обслуговування. Надалі під НЗ, що підпорядковані МОНМС, будемо розуміти ВНЗ I–II і III–IV р.а., загальна кількість яких становить 652 одиниці (рис. 1) [6].

Проведений аналіз будівель, підпорядкованих МОНМС показав, що близько 50 % з них збудовано до 1970 р., 20 % – 1970–1980 рр., 25 % – 1980–1996 рр., 5 % здано в експлуатацію після 2007 р. Тобто існуючий фонд будівель ВНЗ III–IV р.а. в основному створений у післявоєнні радянські роки, коли при проектуванні та будівництві в першу чергу заощаджували початкові витрати, а енергетичні експлуатаційні витрати в розрахунках кінцевої ефективності покладалися як вторинні показники [7]. Зміна технологічних умов опалення будинків, зумовлена обмеженням фінансуванням, при-

звела до виникнення дискомфортних умов експлуатації будівель – низьких температур повітря, підвищеної вологості тощо.

У зв'язку з такими обставинами та зважаючи на особливості роботи НЗ, що пов'язані з постійним перебуванням людей у приміщеннях, при прагненні досягти збереження енергетичних ресурсів на потреби функціонування будівель НЗ слід враховувати необхідність задоволення двох умов: енергоефективності та дотримання комфортності в приміщеннях.

#### Аналіз галузевого енергоспоживання

Загалом об'єктами МОНМС, за даними 2009 р., спожито 318 729 т умовного палива (у.п.). На рис. 2 показано частки енергоресурсів у загальному їх споживанні НЗ за 2009 р. в натуральних та грошових одиницях.

Аналіз грошових витрат на енергетичні ресурси за останні роки показує динаміку їх щорічного зростання, а також збільшення частки видатків на оплату послуг з теплопостачання. По-перше, це спричинено збільшенням тарифів, а по-друге, зношеністю фонду будівель галузі освіти, оскільки кліматичні умови протягом аналізованого періоду були подібними. Це змушує вживати заходи з термомодернізації будівель і доведення їх показників до рівня нормативних вимог.

Дані про енергоспоживання ВНЗ III–IV р.а. за 2008–2010 рр. аналізувалися з урахуванням низки вагомих факторів, зокрема кліматичної зони розміщення ЗО, загальної площі навчальних корпусів та гуртожитків, типу ЗО тощо.

За результатами аналізу теплоспоживання ВНЗ III–IV р.а. (загалом 53 НЗ, серед яких у I

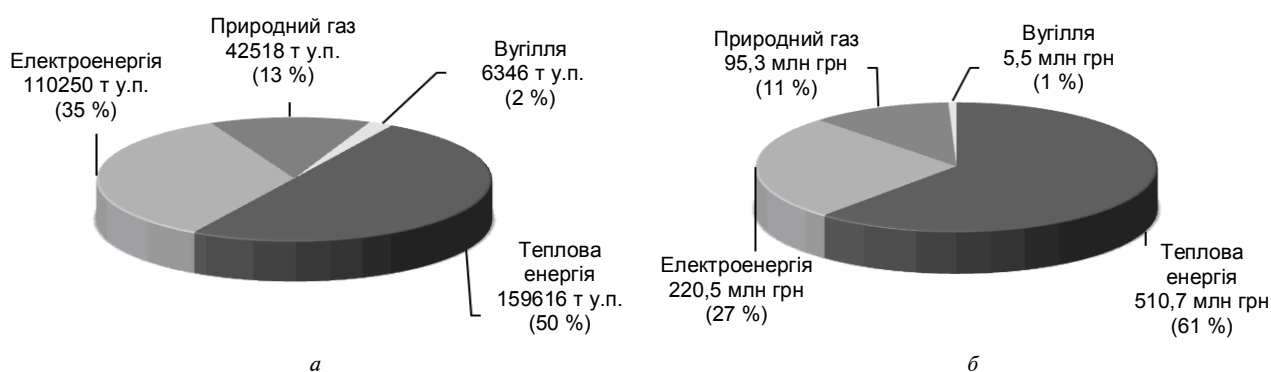


Рис. 2. Частина спожитих енергоресурсів ЗО (а) та витрат коштів на їх оплату (б) у 2009 р.

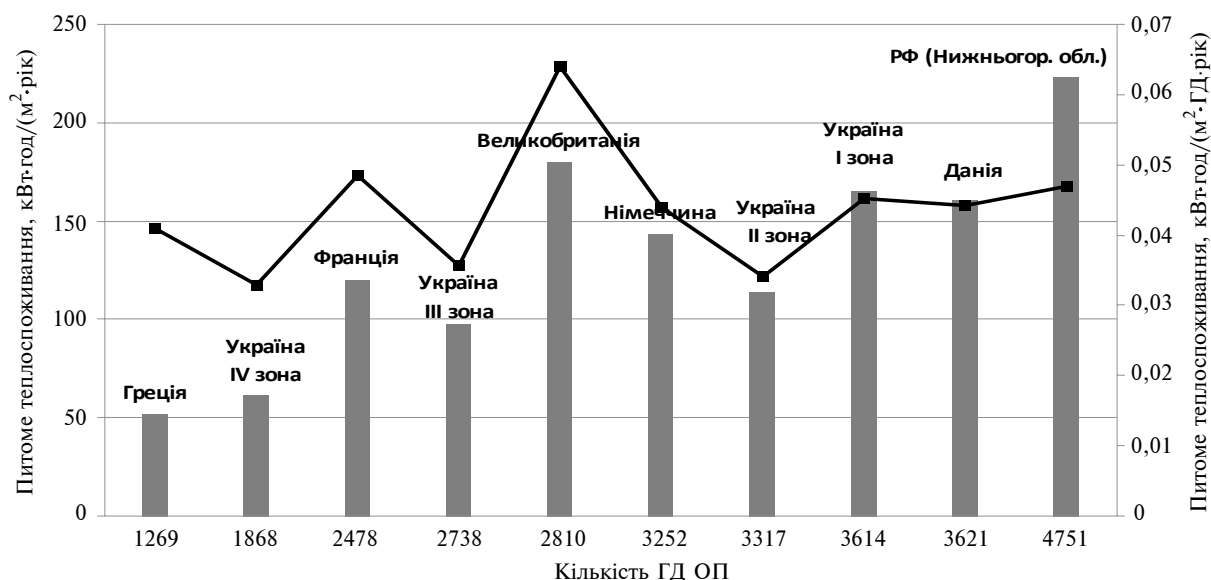


Рис. 3 Показники питомого теплоспоживання університетів: —■— — питоме теплоспоживання, кВт·год/(м²·рік); —■— — питоме теплоспоживання, кВт·год/(м²·ГД·рік)

кліматичній зоні розміщені — 36, у II — 10, у III — 6 й у IV — 1 заклад), проведеного за даними статистичної звітності за 2008 р., встановлено питоме споживання теплоти за кліматичними зонами, що визначені в [8]. На рис. 3 наведено порівняння питомого теплоспоживання університетів ряду країн [9, 10] та України залежно від кількості градусо-днів.

Проведене порівняння питомих показників теплоспоживання університетами європейських країн та України, вимог сучасних норм і дослідження фактичного стану будівель та матеріально-технічної бази (включаючи стан інженерних мереж і обладнання) вітчизняних ЗО дають змогу зробити висновок про недотримання в більшості випадків умов комфортності в приміщеннях. Причинами незадовільних умов комфортності у приміщеннях є низький

рівень теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій через вік будівель та недотримання умов теплопостачання з боку енергопостачальних компаній.

Нормування питомих витрат на 1 м<sup>2</sup> площі застосовується в багатьох країнах та є об'єктивною величиною, яка зазвичай пов'язана з вимогами санітарно-гігієнічних норм. Ще одним широко використовуваним показником є витрата енергії на одну особу за рік.

Нами проведено розрахунок питомих величин споживання енергетичних ресурсів (на одну особу за рік) для ВНЗ III–IV р.а. різних кліматичних зон України (табл. 1).

Проведене дослідження показало, що в межах однієї кліматичної зони існує значна амплітуда наведених показників (див. табл. 1), що, ймовірно, спричинено наявністю у вибірці

ВНЗ III–IV р.а. різного спрямування (загалом 122), а також рядом інших факторів, що потребують поглибленого аналізу.

**Таблиця 1.** Питомі середні показники ресурсоспоживання ВНЗ III–IV р.а. України

Кліматична зона	Електроспоживання*, кВт·год/ (особу·рік)	Теплоспоживання*, Гкал/ (особу·рік)	Водоспоживання*, м <sup>3</sup> / (особу·рік)
I	437,12	2,65	23,33
II	443,11	1,07	20,19
III	511,49	1,02	23,62
IV	586,48	0,91	16,74

\* – розрахунок кількості осіб проводився з урахуванням кількості студентів денної форми навчання та професорсько-викладацького складу ВНЗ III–IV р.а.

Для порівняння наведено питомі витрати енергоносіїв на 1 особу в рік у ВНЗ III–IV р.а. РФ (табл. 2) [11].

**Таблиця 2.** Питомі показники ресурсоспоживання ВНЗ III–IV р.а. РФ

Область РФ	Електроспоживання, кВт·год/ (особу·рік)	Теплоспоживання, Гкал/ (особу·рік)	Водоспоживання, м <sup>3</sup> / (особу·рік)
Нижньгородська	83–268	0,56–2,39	2,4–25
Московська	200–900	1,2–5,3	10–90

У праці [12] для визначення мінімально допустимих значень споживання теплової та електричної енергії будівлями ВНЗ III–IV р.а. проведено порівняння нормативів споживання теплоти вищими навчальними закладами для кожної з областей України для будівель споруджених до 1980 р., після 1981 р. і новобудов з 2000 р.

На основі даних про енергоспоживання в першому кварталі 2008–2010 рр. проаналізовано динаміку зміни споживання енергоресурсів, що становлять найбільшу частку в загальному енергобалансі об'єктів дослідження, кількох ВНЗ III–IV р.а., які розміщені в різних кліматичних зонах країни. Споживання теплової енергії (рис. 4) в більшості закладів за аналізований період зросло, при цьому найвищі питомі показники мають Донецький державний університет управління (0,0457 ккал/(м<sup>2</sup>·ГД)) та Донецький національний університет економіки і торгівлі (0,0525 ккал/(м<sup>2</sup>·ГД)); найнижчі – Черкаський національний університет (0,00894 ккал/(м<sup>2</sup>·ГД)) і Вінницький торговельно-економічний інститут (0,00999 ккал/(м<sup>2</sup>·ГД)). Споживання води в більшості закладів за останні роки зменшується, а електричної енергії – збільшується.

Дані по об'ємах спожитої, насамперед теплової, енергії, навіть зафіксовані приладами обліку, не віддзеркалюють реальних потреб об'єкта в теплоті. Причина – потреба будівлі та пропозиція енергопостачальної організації не завжди узгоджуються. Аналіз умов теплопостачання будівель НТУУ "КПІ" яскраво ілюструє цю ситуацію (рис. 5).

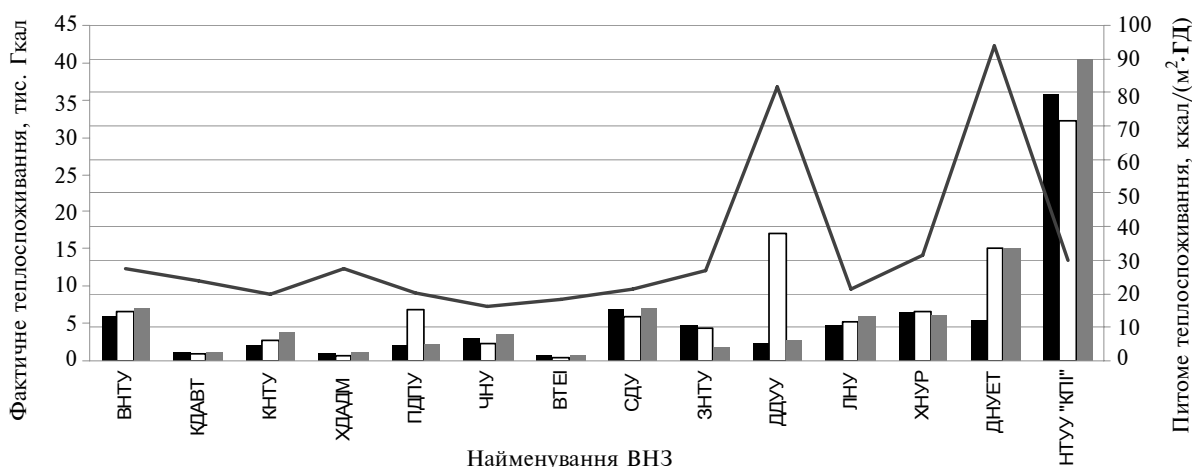


Рис. 4. Динаміка зміни теплоспоживання ВНЗ у I кварталах 2008–2010 рр.: ■ – фактичне теплоспоживання за I квартал 2008 р.; □ – фактичне теплоспоживання за I квартал 2009 р.; ▒ – фактичне теплоспоживання за I квартал 2010 р.; — – питоме теплоспоживання

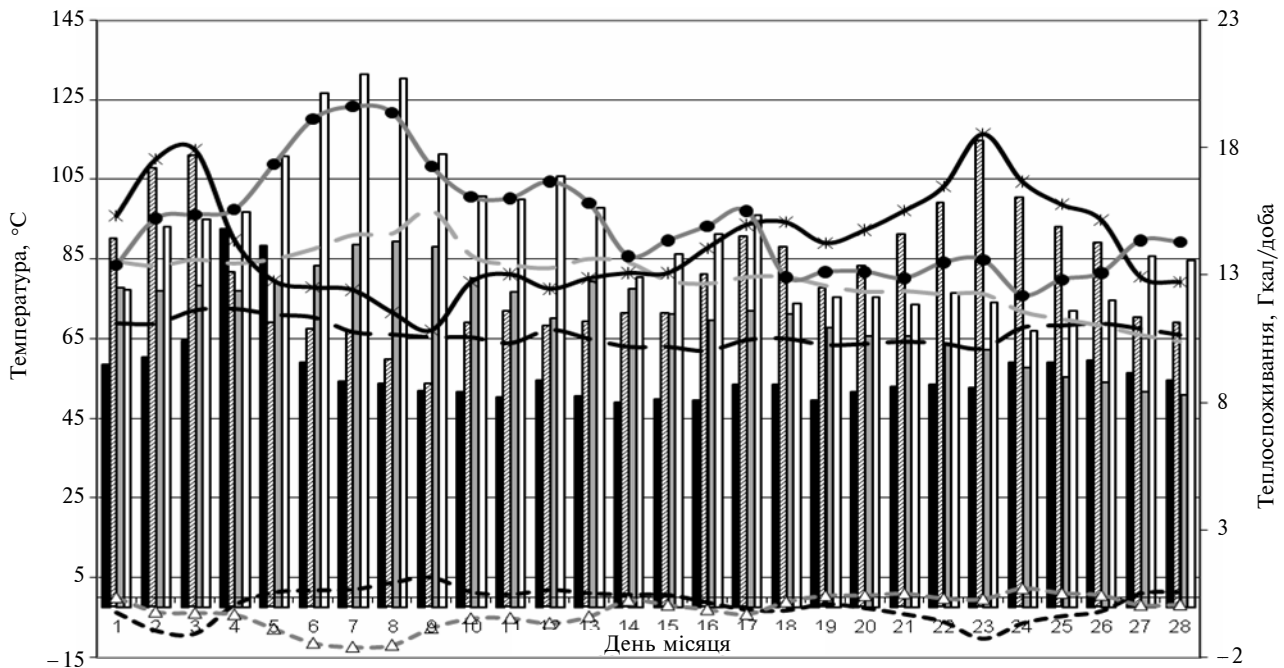


Рис. 5. Порівняння параметрів тепlopостачання навчального корпусу технічного університету (НТУУ “КПІ”) за лютий у 2009 і 2010 рр.: ■ — фактичне теплоспоживання за лютий 2009 р.; ▨ — фактичне теплоспоживання за лютий 2010 р.; —●— — фактична температура подачі теплоносія протягом лютого 2009 р.; —△— — фактична температура подачі теплоносія протягом лютого 2010 р.; - - - - - температура навколишнього середовища за лютий 2009р.; - -△- - температура навколишнього середовища за лютий 2010 р.; \* — необхідна температура подачі теплоносія протягом лютого 2009 р.; ● — необхідна температура подачі теплоносія протягом лютого 2010 р.; ▨ — необхідне теплоспоживання за лютий 2009 р.; ▨ — необхідне теплоспоживання за лютий 2010 р.

За відсутності приладів обліку теплової енергії на об'єктах тепlopостачання ситуація ще більше погіршується, оскільки в такому разі об'єкт не тільки недоотримує теплову енергію, а й сплачує рахунки, які насправді не відповідають реальному рівню забезпечення комфортних умов [13].

#### Узагальнення результатів дослідження

Проведені авторами дослідження та напрацювання інших вчених вказують на доцільність об'єднання ВНЗ III–IV р.а. за певними ознаками, що допоможе отримати більш глибоке та адекватне розуміння процесів енергоспоживання виділених груп об'єктів. Так, у ДБН В 2.2-3-97 [14] класифікацію навчальних закладів проводять за одиницею розрахункової площі на одного учня/студента, прийнятою на пострадянському просторі класифікацією навчальних закладів є рівень акредитації, подібний поділ існує й у США [15]. Однак проведення дослідження доводить доцільність класифікації навчальних закладів за галузевим спрямуванням та рівнем енергоспоживання.

Використовуючи підходи кластерного аналізу із застосуванням програмного комплексу Statistica, проведено обробку вибірки даних ВНЗ III–IV р.а. для визначення оптимальної кількості типів/кластерів — методами ієрархічної кластеризації (рис. 6), та для визначення приналежності об'єктів до певного кластеру — ітераційним методом  $k$ -середніх, початковими умовами для використання якого є кількість утворених груп та їх центри. На рис. 7 зображено отриману класифікацію ВНЗ III–IV р.а. за показником “розрахункова площа на одного учня/студента” згідно з ДБН [14] та запропоновану авторами класифікацію з урахуванням показників енергоспоживання.

При цьому до утворених кластерів об'єктів (див. рис. 7) входять:

- технічні університети (технічні, політехнічні, технологічні, морські, будівельні, аграрні);
- економічні університети (економічні, юридичні, транспортні, автомобільно-дорожні, мистецтв);

- гуманітарні університети (гуманітарні, педагогічні, загального спрямування).

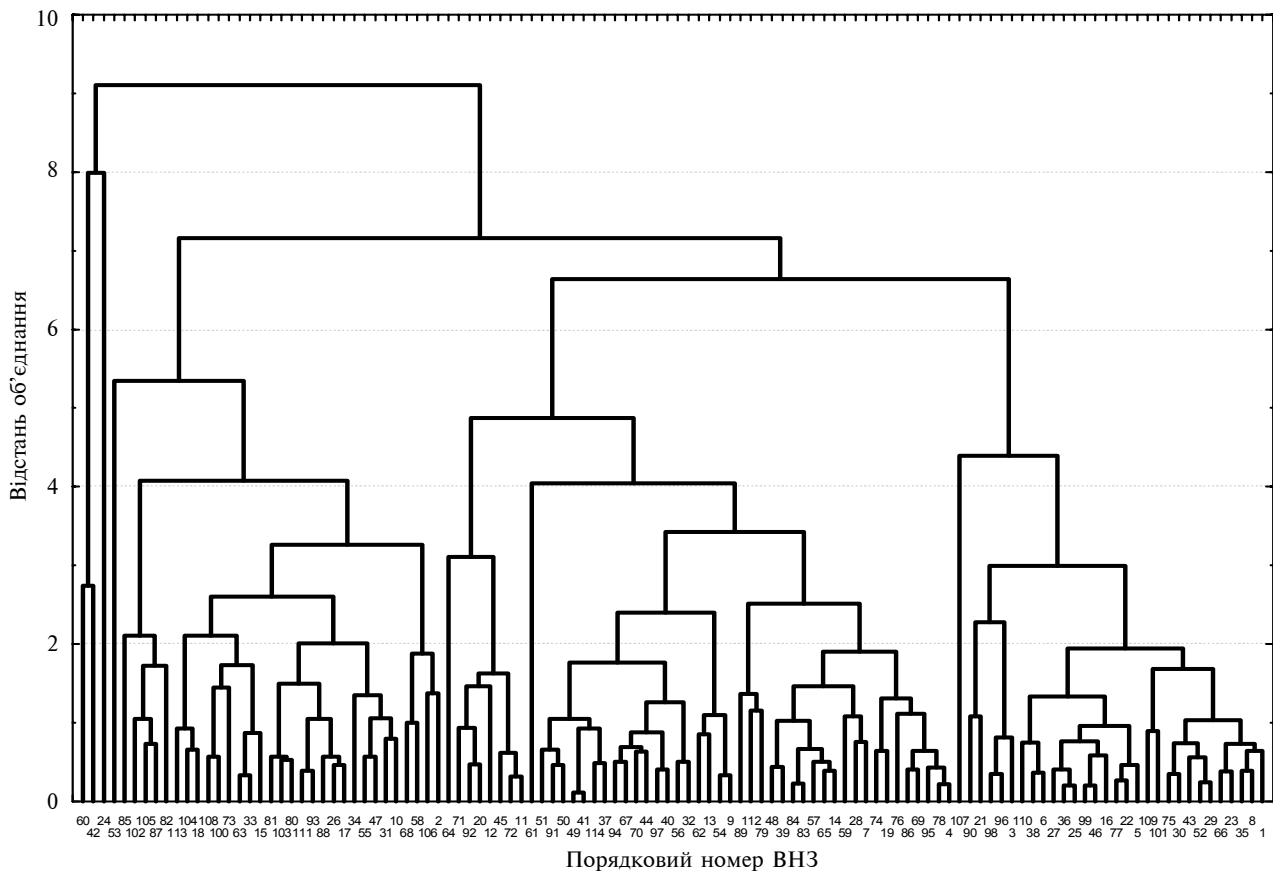


Рис. 6. Дендрограма для 114 ВНЗ III–IV р.а. за показниками: розрахункова площа на одного студента, питомі величини теплоспоживання, електроспоживання та водоспоживання (правило об'єднання – метод повного зв'язку, міра близькості – Евклідова відстань)

Відповідно до здійсненого розподілу проведено порівняння показників енергоспоживання та визначено, що питоме теплоспоживання закладів більшою мірою залежить від температурної зони розміщення, теплотехнічних якостей огорожувальних конструкцій будівель. При цьому показники питомого електро- та водоспоживання рекомендовано аналізувати окремо в кожному з виділених типів ВНЗ, оскільки обсяги їх використання залежать від виду діяльності та режиму роботи і, в той же час, в межах одного типу закладів наявні істотні відмінності аналізованих величин. На рис. 8 наведено узагальнені показники питомого енергоспоживання виділених типів ВНЗ.

Отже, аналіз галузевого енергоспоживання має на меті такі цілі: встановлення в масштабах галузі обґрунтованих мінімальних і середніх обсягів енергоспоживання; виявлення об'єктів та причин перевитрат енергії; розроблення з урахуванням обмежених фінансових можливостей галузевих програм з енергозбереження; мо-

ніторинг галузевого показника ефективності використання енергії.

Особливості енергоспоживання ВНЗ обумовлені такими факторами:

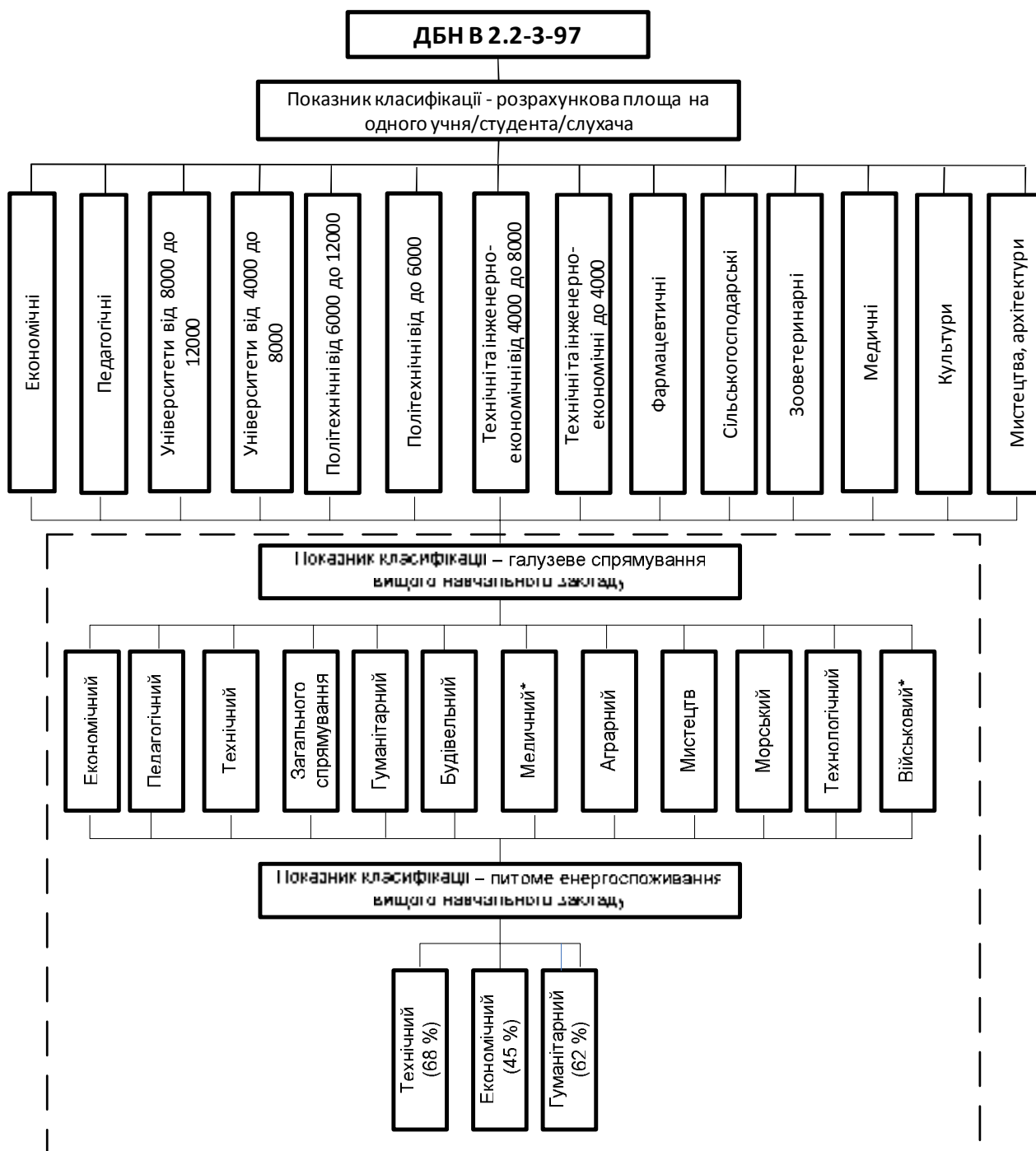
основні витрати енергії пов'язані з системами опалення, гарячого водопостачання та вентиляції, оскільки основними об'єктами-споживачами паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) є будівлі та споруди;

підвідомчі об'єкти територіально розподілені по всіх областях України, тобто розміщені в різних кліматичних зонах відповідно до ДБН [8];

кількість об'єктів МОНМС нараховує декілька тисяч, на балансі кожного з яких є кілька десятків будівель різного призначення;

існують об'єкти, не оснащені приладами обліку теплової енергії;

збір первинної статистичної інформації про енергоспоживання та стан енергогосподарств об'єктів на рівні МОНМС ускладнений у зв'язку з територіальною розпорошеністю закладів і низькою готовністю до цього енергообслуговуючого персоналу;



Примітки: — — — — — класифікація, запропонована автором за результатами кластерного аналізу;

\* – університети даного типу не брали участі в аналізі.

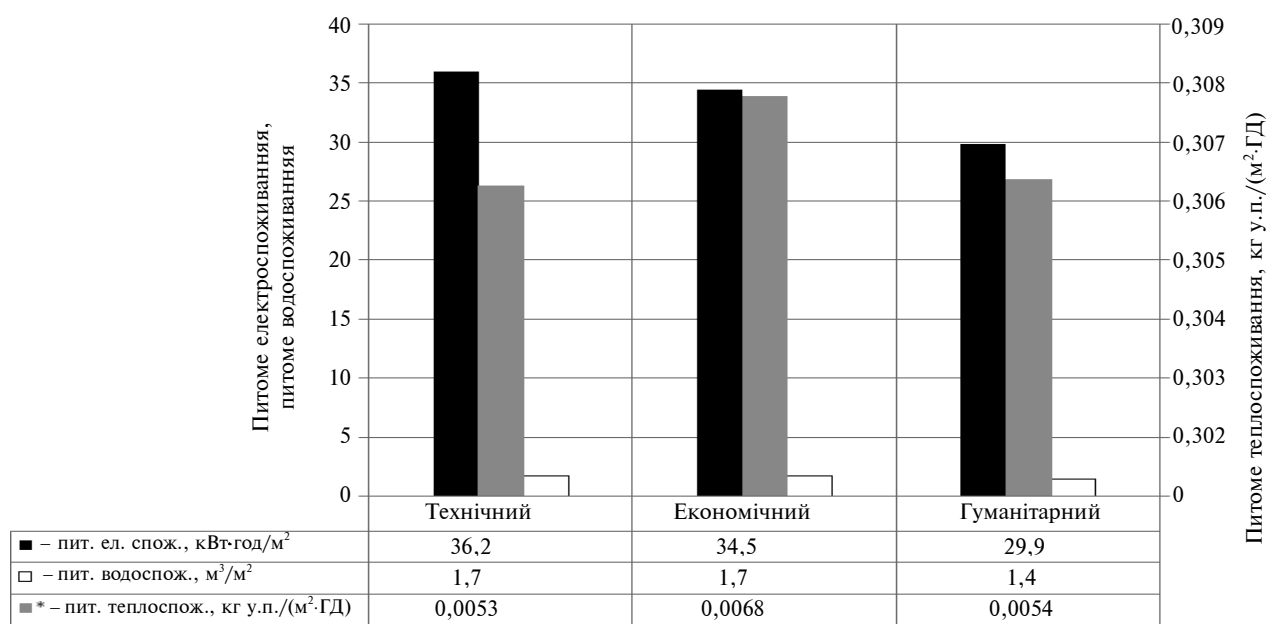
Рис. 7. Класифікація ВНЗ III–IV р.а. з урахуванням рівня енергоспоживання

недостовірність наданої інформації з енерговикористання;

брак фінансових ресурсів на реалізацію заходів з енергозбереження та відсутність моти-

вації серед персоналу закладів вживати заходи для покращення ситуації;

недотримання комфортних умов у приміщеннях будівель, причиною чому у більшості



Спрямування ВНЗ

\* – враховано споживання теплової енергії від централізованих джерел, споживання природного газу та вугілля.

Рис. 8. Порівняння показників енергоспоживання ВНЗ III–IV р.а. за спрямуванням

випадків є недотримання енергопостачальними організаціями договірних умов подачі теплоносія [9].

### Висновки

Проведене дослідження показало, що рівень енерговикористання ВНЗ III–IV р.а. залежить від ряду факторів, серед яких такі: кліматична зона розміщення; галузеве спрямування ВНЗ III–IV р.а.; вид використовуваних ПЕР; рік побудови та реконструкції будівель; режим роботи; наявність гуртожитків; тип джерела теплопостачання (з живленням від джерел централізованого теплопостачання; власних котелень, зі змішаним живленням); забезпечення договорів постачання енергопостачальними організаціями тощо.

Отримані результати послугують в подальшому розробленню підходів і методів оцінки

енергоефективності ВНЗ III–IV р.а. та їхніх будівель й розвитку засад системи керування процесами енерговикористання та енергозбереження галузі освіти в цілому. Одним із перших кроків у цьому напрямі має бути широко-масштабний енергоаудит закладів освіти та проведення енергетичної сертифікації будівель і НЗ в цілому.

\* \* \*

Авторський колектив висловлює подяку Департаменту вищої освіти, Департаменту матеріально-технічного забезпечення і Департаменту наукової діяльності та ліцензування Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за надану інформацію, а також особисто заступнику міністра – керівнику апарату П.М. Кулікову та Л.М. Іванусю за сприяння у проведенні дослідження.

1. *Бобряков А.В.* Мониторинг энергопотребления объектов бюджетной сферы – основы управления энергосбережением отрасли // Изв. ТулГУ Сер. Электроснабжение, электрооборудование и энергосбережение. – Тула, 2006. – С. 7–15.
2. *Гнатюк В.И.* Оптимизация электропотребления на системном уровне // Электрификация металлургиче-

ских предприятий Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – Вып. 10. – С. 61–72.

3. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.



4. *Праховник А.В.* Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. – К.: Освита України, 2007. – 464 с.
5. *Офіційний сайт* Міністерства освіти і науки України. – <http://www.mon.gov.ua>
6. *Наказ* МОН від 26.02.2010 р. № 147 “Про затвердження Програми щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти на 2010–2014 рр.”. – <http://www.mon.gov.ua/?id=2>
7. *Фаренюк Г.Г.* Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. – К.: Гама-Принт, 2009. – 216 с.
8. *ДБН 2.6-31-2006.* Теплова ізоляція будівель. – К., 2006. – 69 с.
9. *Планування* рівня теплоспоживання в бюджетних закладах / В.І. Дешко, О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк, О.М. Верхотуров // *Енергетика та електрифікація.* – 2008. – № 12. – С. 24–28.
10. *Reference values for operational rating in Great Britain and Germany: An overview* // ARGE Energieausweise Mitteleuropa. – 2008, 15 April. – [www.eu-energy-certificates.de](http://www.eu-energy-certificates.de)
11. *Нижегородский центр энергоэффективности.* – <http://www.nice.nnov.ru>
12. *Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі* / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк, О.М. Шевченко, Ю.В. Шовкалюк // *Нова тема.* – 2008. – № 2. – С. 6–10.
13. *Праховник А.В., Дешко В.І., Шевченко О.М.* Аналіз енергетичних показників навчального корпусу // *Енергетика та електрифікація.* – 2011. – № 4. – С. 58–67.
14. *ДБН В 2.2-3-97.* Будинки і споруди. Будинки та споруди навчальних закладів. – К., 1997. – 50 с.
15. *Loveridge S.* Strategies for economic development partnerships with institutions of higher learning. – [http://www.municipaltoolkit.org/UserFiles/Loveridge\\_EN.pdf](http://www.municipaltoolkit.org/UserFiles/Loveridge_EN.pdf)

Рекомендована Радою  
Інституту енергозбереження та  
енергоменеджменту НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
21 грудня 2011 року