

**SMART CAMPUS: ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ІННОВАЦІЙ В
ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

О. В. Окушко, кандидат технічних наук, доцент,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/000-0002-1894-5294>

E-mail: okushko@nubip.edu.ua

І. П. Радько, кандидат технічних наук, доцент,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/0000-0002-4235-3969>

E-mail: ivan_radko@ukr.net

В. А. Наливайко, кандидат технічних наук, доцент,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

<https://orcid.org/0000-0002-6297-9045>

E-mail: nva041@ukr.net

Анотація. Розглянуто підходи до підвищення енергоефективності закладів вищої освіти в умовах цифровізації на прикладі впровадження концепції Smart Campus у Національному університеті біоресурсів і природокористування України. Основну увагу приділено застосуванню автоматизованих систем енергомоніторингу, що забезпечують безперервний контроль споживання електричної та теплової енергії у режимі реального часу.

Проаналізовано можливості використання зібраних даних для моделювання та прогнозування енергоспоживання з урахуванням технічних, кліматичних і поведінкових факторів. Показано, що інтеграція цифрових інструментів дозволяє виявляти неефективні режими роботи інженерних систем, оптимізувати навантаження та знижувати витрати енергоресурсів.

Наведено результати досліджень динаміки споживання енергії в навчальних корпусах і гуртожитках, які демонструють адаптивність системи до змін умов експлуатації та режимів перебування користувачів. Обґрунтовано ефективність застосування аналітичних і прогнозних моделей для підвищення якості управління енергоресурсами та зменшення енергетичних і фінансових ризиків.

Встановлено, що впровадження систем енергомоніторингу сприяє зниженню енергоспоживання, підвищенню енергоефективності будівель і формуванню культури раціонального використання ресурсів. Підкреслено також освітню та наукову цінність системи як інструменту підготовки фахівців у сфері енергоменеджменту та цифрових енергетичних технологій.

Ключові слова: енергоефективність, енергомоніторинг, моделювання енергоспоживання, енергоресурси, цифрове управління, заклад вищої освіти, енергоменеджмент, система обліку

Вступ. Сучасні світові виклики, що зумовлені змінами клімату та зростанням вартості енергоресурсів потребують підвищення ефективності використання різних видів енергоресурсів (електроенергії, тепла, газу тощо) в усіх галузях економіки. Проблема підвищення енергоефективності є актуальною як у світі, так і в Україні, охоплюючи всі категорії споживачів насамперед житлово-комунальні, громадські та промислові об'єкти. Значна частка національного енергоспоживання припадає саме на ці сектори так, наприклад, житлово-комунальні та громадські будівлі споживають понад 30 % кінцевої енергії, а промисловість до 35 % [1, 2].

Незважаючи на те, що найбільшими споживачами енергоресурсів залишаються житлово-комунальний сектор та промислові підприємства, що забезпечують понад половину кінцевого енергоспоживання. Водночас саме ці сектори мають значний потенціал щодо підвищення енергоефективності через запровадження сучасних інтелектуальних підходів та технологій [1, 3]. Традиційні підходи до управління енергоспоживанням ґрунтуються, насамперед на нормативних розрахунках та обліку на сучасному етапі виявляють свою

обмежену ефективність в постійно змінюючихся умовах як тарифної політики або поведінкових особливостей користувачів [4, 5, 6].

Ключовими інструментами ефективного енергоменеджменту є моніторинг, прогнозування та моделювання споживання енергії користувачами енергетичних ресурсів. Це дає змогу аналізувати витрати, виявляти неефективні ділянки, оптимізувати функціонування енергетичних систем та планувати заходи з енергозбереження. Завдяки такому прогнозуванню та моделюванню можна не лише оцінити поточний стан об'єкта, але й передбачити результати реалізації різних сценаріїв модернізації в т.ч. знижуючи енергетичні та фінансові ризики [2].

В той же час, на практиці спостерігаються певні проблеми, що пов'язані з низьким рівнем автоматизованого моніторингу, обмеженою здатністю традиційних систем адаптуватися до змін навколишнього середовища тощо. Особливо важливим є врахування сукупності технічних, кліматичних, організаційних і поведінкових факторів при створенні моделей енергоспоживання, які відповідають сучасним глобальним трендам розвитку концепцій «Smart Building», «Smart Industry» та «Smart Campus» [7, 8, 9].

Огляд літературних джерел. Сучасні дослідження вказують на потребу впровадження інтегрованих систем енергетичного управління, які базуються на постійному моніторингу, точному прогнозуванні та адаптивному моделюванні енергетичних процесів [1, 2, 10].

Ця проблема є особливо актуальною для освітніх установ, які мають значний потенціал до зниження енергоспоживання, а також для промислових об'єктів, де оптимізація технологічних процесів може забезпечити відчутний економічний ефект.

Результати проведених досліджень свідчать про те, що житловий фонд, особливо у країнах з пострадянською архітектурною спадщиною, має високу енерговитратність через великі теплові втрати, застарілі системи опалення, відсутність автоматизованого контролю та обмежену участь споживачів у регулюванні енергопопиту [5, 7, 11]. Промислові підприємства, зі свого боку, стикаються з проблемами втрат енергії у виробничих процесах, низькою ефективністю застарілого обладнання, браком інтелектуального моніторингу та нестачею системного підходу до енергоменеджменту [13, 14, 15].

У низці досліджень [7, 13, 16] підкреслюється важливість комплексного підходу до підвищення енергоефективності житлово-комунального сектору та промисловості, який охоплює технологічні, організаційні та фінансові аспекти діяльності підприємств. Так, наприклад, світові тенденції енергоспоживання в промисловому секторі основними напрямками впровадження енергозберігаючих рішень направлені на оптимізацію електроспоживання, включаючи модернізацію електроприводів, систем освітлення, рекуперацію тепла та ефективні компресорні установки тощо.

Окрему увагу, при цьому необхідно приділити організаційно-технічним аспектам енергозбереження, зокрема необхідності впровадження цифрових технологій, а саме Інтернету речей для промисловості (IIoT), великих даних (Big Data) та цифрових двійників. Ці рішення забезпечують оперативний моніторинг, аналіз і оптимізацію споживання енергії у режимі реального часу [15, 17, 18].

В той же час, у контексті енергоменеджменту важливу роль відіграє прогнозування енергоспоживання будівель. Так, наші дослідження [7, 13], а також роботи інших авторів [18, 19, 20], підтверджують його ефективність для оптимізації планування ресурсів, зниження витрат та загального підвищення енергоефективності об'єктів. При цьому прогнозування має кілька важливих переваг – планування ресурсів, зменшення витрат, оцінка енергоощадних заходів, адаптація до змінних умов та інтеграція з «розумними».

Ключовим чинником точного та адаптивного прогнозування є зворотний зв'язок щодо енергоспоживання. Ефективні механізми зворотного зв'язку дозволяють не лише уточнювати прогнози, але й активно змінювати поведінку споживачів або керуючих систем у реальному часі.

Застосування подібних рішень дає змогу не лише скоротити енергоспоживання електричної та теплової енергії на 10–15 %, але досягти економії на рівні 3 – 5 %. Однак без

додаткових мотиваційних заходів ефективність таких рішень може знижуватися з часом [3, 6, 8].

Мета дослідження полягає у підвищенні енергоефективності будівель закладів освіти (навчальних корпусів, гуртожитків тощо) шляхом впровадження цифрових технологій для моніторингу, прогнозування та моделювання енергоспоживання з урахуванням різних факторів (кліматичних, технічних та поведінкових тощо).

Матеріали та методи дослідження. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» передбачає обов'язкове впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕНМ) в будівлях державної та комунальної форми власності, зокрема й в освітніх установах [21].

Ключовим нормативним документом у цій сфері є ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту» [21], що відповідає міжнародному стандарту ISO 50001:2018. Стандарт визначає вимоги до створення, впровадження, підтримки та вдосконалення СЕНМ, яка дає змогу систематично знижувати енергоспоживання та оптимізувати використання енергоресурсів. Основою стандарту становить цикл PDCA (Plan – Do – Check – Act), який включає (рис. 1): Plan (Планування) – аналіз енергоспоживання закладу, визначення цілей, формування енергетичної політики; Do (Виконання) – реалізація заходів для підвищення енергоефективності; Check (Перевірка) – моніторинг і контроль ефективності виконаних дій; Act (Удосконалення) – коригування та вдосконалення системи на основі отриманих результатів.

Для освітніх закладів впровадження СЕНМ є актуальним інструментом підвищення енергоефективності та забезпечення сталого використання енергоресурсів. Це не лише сприяє зменшенню експлуатаційних витрат, а й відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та законодавства у сфері енергозбереження.

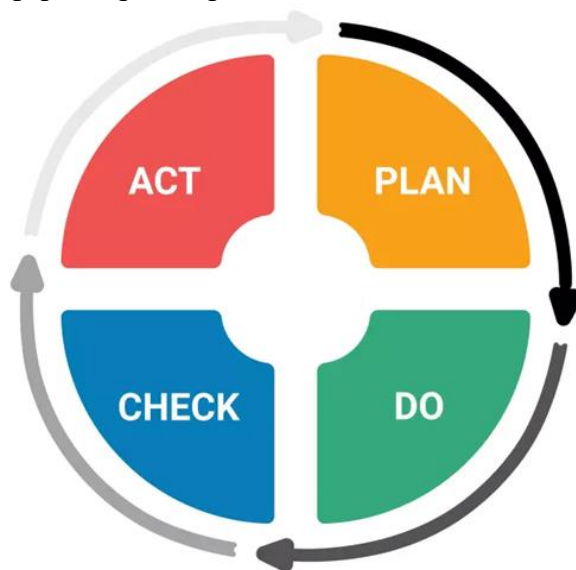


Рис. 1. Цикл «PDCA» згідно ДСТУ ISO 50001:2020

Варто зазначити, що в НУБіП України вже накопичено практичний досвід із впровадження, налаштування та експлуатації систем енергомоніторингу в навчальних корпусах. Зокрема, у 8^{му} навчальному корпусі було реалізовано сучасну автоматизовану систему збору енергетичних даних, яка включає встановлення спеціалізованого обладнання — щита збору даних та комплекту вимірювальних приладів (рис. 2).

Система забезпечує цілодобовий моніторинг та автоматичне зчитування показників споживання електроенергії, теплової енергії та води в реальному часі, тобто система сама не лише виявляє перевитрати ресурсів, але й оперативно реагує на відхилення, оптимізуючи енергоспоживання та підвищуючи ефективність роботи інженерних систем. Крім того, вона здійснює контроль температури теплоносія як на подачі, так і на звороті системи опалення, що дозволяє об'єктивно оцінювати ефективність її роботи.



Рис. 2. Загальний вигляд автоматизованої системи збору даних

Зібрані дані автоматично передаються до центрального серверу або хмарної платформи, де обробляються, аналізуються та використовуються для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Це дозволяє оперативно виявляти випадки перевитрат, збоїв в роботі обладнання чи відхилення від нормативних режимів. На основі аналізу формується візуалізація, звіти та сигнали тривоги, що можуть використовуватись адміністрацією корпусу або енергоменеджером для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності.

Такий підхід демонструє практичну ефективність цифрового енергоменеджменту, створює основу для масштабування на інші корпуси університету, а також може використовуватись у навчальному процесі для підготовки фахівців у сфері енергоефективності. Крім того, система має освітнє та наукове значення – дані з неї використовуються у навчальному процесі для вивчення принципів енергоменеджменту, проведення лабораторних робіт, написання наукових досліджень з енергоефективності (магістерських, PhD тощо).

Результати дослідження та їх обговорення. У наявній системі енергомоніторингу університету реалізовано функцію автоматичної побудови графіків споживання енергоресурсів у режимі реального часу. Це дозволяє не лише оперативно відстежувати енергоспоживання, але й аналізувати поведінкові закономірності, що формуються у навчальних корпусах і гуртожитках [7, 23, 24].

Перед впровадженням автоматизованої системи енергомоніторингу в університеті було проведено низку досліджень, що охоплювали:

- вивчення динаміки енергоспоживання в різних типах будівель університету (навчальні корпуси, гуртожитки, лабораторні приміщення);
- аналіз існуючих систем обліку та виявлення їх недоліків, включаючи несвоєчасне зчитування показників та обмежену можливість аналізу;
- моделювання оптимальних режимів енергоспоживання залежно від розкладу занять та щільності перебування людей у приміщеннях;
- оцінку потенціалу енергозбереження шляхом автоматизації обліку та регулювання подачі ресурсів.

Результати цих досліджень стали підґрунтям для розробки технічного завдання та вибору архітектури системи моніторингу, яка згодом була реалізована в кількох корпусах, зокрема і у 8^{му} навчальному корпусі.

Так, наприклад, на рис. 3 наведено графік споживання теплової енергії 8^м корпусом НУБіП України за період з 1 березня по 30 квітня 2025 року. Завдяки автоматизованій системі енергомоніторингу видно, що у вечірній та нічний час, коли в будівлі навчального

корпусу перебуває мінімальна кількість людей, контролер автоматично знижує подачу тепла до оптимального мінімуму. Це свідчить про ефективну роботу системи управління теплопостачанням, яка адаптується до змін умов експлуатації будівлі. Такий підхід дозволяє не лише зменшити витрати на теплоенергію в певний період доби, але й покращити загальний рівень енергоефективності, знижуючи навантаження на інфраструктуру та вплив на довкілля.

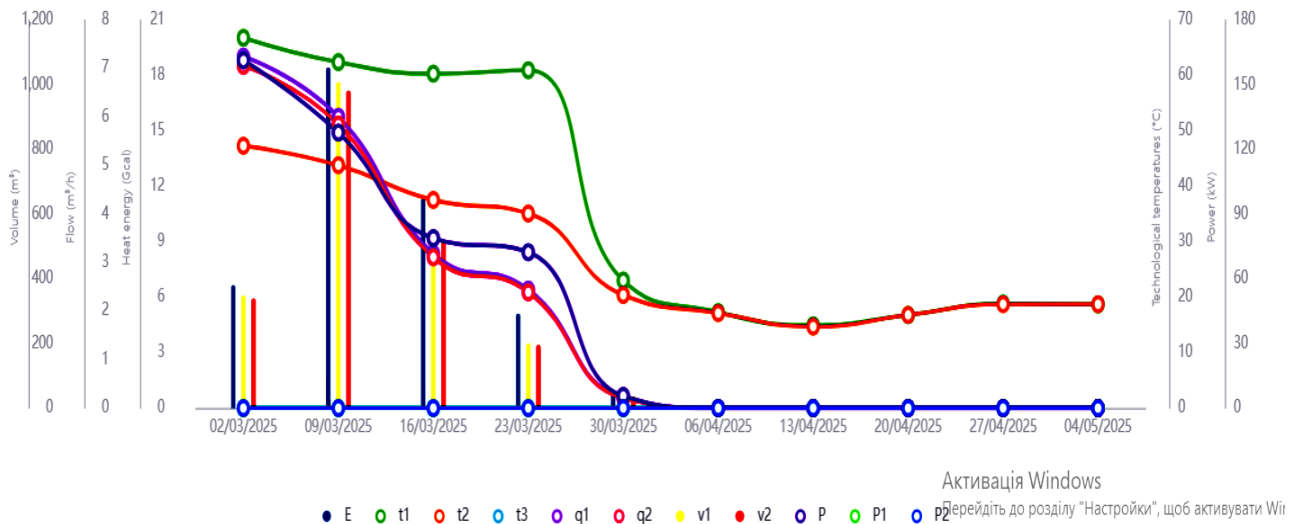


Рис 3. Графік споживання теплової енергії і графіки температур (зовнішній, подавальний та зворотний трубопроводи)

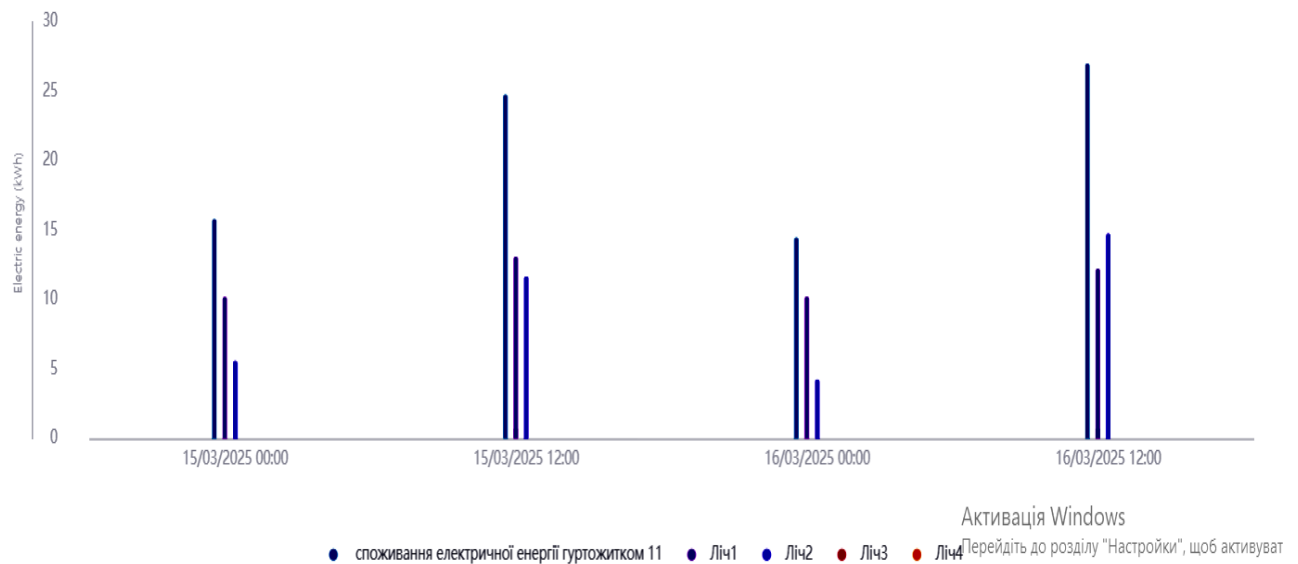


Рис. 4. Графік споживання електричної енергії в гуртожитку №11

Аналогічну ситуацію можемо спостерігати і при аналізі графіка споживання енергоресурсів (споживання електроенергії рис. 4 та теплова енергія рис. 5) у гуртожитках на прикладі гуртожитку №11 НУБіП України (рис. 4). Так зокрема, ввечері після 18:00, спостерігається різке зростання споживання різних видів енергоресурсів, це пов'язано з тим, що основна кількість мешканців гуртожитку в цей час повертаються і починають інтенсивно використовувати різні побутові електроприлади, вмикають освітлення, готують їжу та користуються комп'ютерами та телевізорами. Пікові значення стабільно фіксуються у

вечірні години, що дозволяє точно визначити періоди максимального навантаження на енергосистему.

При цьому аналіз таких графіків дає можливість коригуванню режимів роботи систем постачання ресурсів, плануванню заходів з енергозбереження, зменшенню навантаження на мережу в пікові години, більш раціональному використуванню обладнання та підвищенню стабільності та надійності енергозабезпечення.

Таким чином, інтеграція аналітичних інструментів у систему енергомоніторингу забезпечує не лише прозорість та контроль, але й високу ефективність управління енергоресурсами, що є ключовим чинником у забезпеченні сталої роботи освітніх установ у сучасних умовах.

Висновки.

1. У результаті проведеного дослідження встановлено, що впровадження сучасних цифрових рішень у сфері енергоменеджменту, зокрема систем автоматизованого моніторингу, прогнозування та моделювання дозволяє значно підвищити ефективність управління енергоресурсами в освітніх установах.

2. Інтеграція цифрових інструментів (моделі прогнозування, адаптивні системи контролю, інтелектуальний моніторинг) сприяє зниженню енергоспоживання на 10–15% завдяки можливості аналізу споживання в реальному часі та оперативного реагування на відхилення.

3. Проведені дослідження в НУБіП України підтвердили ефективність впроваджених технічних рішень, які базуються на реальному аналізі режимів роботи будівель, ритму перебування користувачів та погодних умов.

4. Моделювання сценаріїв енергоспоживання дає змогу завчасно планувати модернізаційні заходи, оцінювати їх ефективність і мінімізувати енергетичні та фінансові ризики.

5. Зворотний зв'язок із користувачами (через інтерфейси, дисплеї, звіти тощо) дозволяє не лише оптимізувати споживання, але й сформуванню культуру раціонального використання енергоресурсів у навчальному середовищі.

6. Використання системи в освітньому процесі забезпечує підготовку фахівців нового покоління, здатних працювати з сучасними енергетичними системами, що є важливою частиною реалізації концепції Smart University.

Список використаних джерел

1. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. – Київ, 2017. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555 (дата звернення: 09.08.2025).

2. Костін Ю., Шведкий В. Моделювання потреб внутрішніх ринків для забезпечення електроенергією в умовах нестабільного зовнішнього соціально-економічного та політичного середовища в Україні // *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach*. 2022. № 15. С. 143–162. DOI: <https://doi.org/10.54264/0054>

3. Lysenko O., Kuznietsov M., Hutsol T., Mudryk K., Herbut P., Vieira F. M. C., Mykhailova L., Sorokin D., Shevtsova A. Modeling a hybrid power system with intermediate energy storage // *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 3. Art. 1461. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en16031461>.

4. Li R., Satchwell A. J., Finn D., Christensen H., Kummert M., Le Dréau J., Lopes R. A., Madsen H., Salom J., Henze G., Wittchen K. Ten questions concerning energy flexibility in buildings // *Building and Environment*. 2022. Vol. 223. Art. 109461. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109461>.

5. Yan D., Hong T., Dong B., Mahdavi A., D'Oca S., Gaetani I., Feng X. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 156. P. 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.084>.

6. Fumo N. A review on the basics of building energy estimation // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 31. P. 53–60. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.040>.

7. Радько І.П., Наливайко В.А., Окушко О.В., Енергоефективність – один з головних чинників конкурентоспроможності університету / Сучасний стан та перспективи розвитку

електротехнічних систем: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті ВВ Овчарова (Мелітополь, 15 квітня – 29 квітня 2021 р.) / Мелітополь: ТДАТУ, 2021, 104–105. – Режим доступу: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8412c53f-fe3f-4051-a1ef-693f56292191/content>.

8. Іноземцев Г. Б., Козирський В. В., Окушко О. В. Методи енергозбереження в системах електропостачання. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 189 с.

9. Hong T., Chen Y., Belafi Z., D'Oca S. Occupant behavior models: A critical review of implementation and representation approaches in building performance simulation programs // Building Simulation. 2018. Vol. 11. P. 1–14.– DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0396-6>

10. Nalyvaiko V., Radko I., Zhylytsov A., Okushko O., Mishchenko A., Antypov I. Investigation of termomodernized building's microclimate with renewable energy // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 154. Art. 07011. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407011>.

11. Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Günay H. B., Tahmasebi F., Mahdavi A. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges // Energy and Buildings. 2015. Vol. 107. P. 264–278.– DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>

12. Pérez Lombard L., Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information // Energy and Buildings. 2008. Vol. 40, No. 3. P. 394–398. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>

13. Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В., Міщенко А. В., Антипов Є. О. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах // Науковий вісник НУБіП України. 2018. № 283. С. 275–280. URL http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2018_283_37.

14. Darby S. The effectiveness of feedback on energy consumption: A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays. Oxford : Environmental Change Institute, University of Oxford, 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/238785702_The_Effectiveness_of_Feedback_on_Energy_Consumption

15. Жильцов А. В., Лут М. Т., Наливайко В. А., Радько І. П., Міщенко А. В., Антипов Є. О., Окушко О. В. Автоматизовані модульні теплові пункти для систем теплопостачання ВНЗ : монографія. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2021. 365 с.

16. Радько І. П., Лут М. Т., Наливайко В. А., Окушко О. В. Розробка проекту теплового пункту навчального корпусу НУБіП України // Енергетика і автоматика. 2018. № 3. С. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.31548/energiya2018.03.086>.

17. rban K. L., Scheller F., Bruckner T. Suitability assessment of models in the industrial energy system design // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 137. Art. 110400. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110400>

18. Shaikh P. H., Nor N. B. M., Nallagownden P., Elamvazuthi I., Ibrahim T. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 34. P. 409–429. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.027>

19. Pan Y. et al. Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies // Advances in Applied Energy. 2023. Vol. 10. Art. 100135. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100135>

20. Amasyali K., El-Gohary N. M. A review of data-driven building energy consumption prediction studies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 81. P. 1192–1205. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>

21. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII // Відомості Верховної Ради України. 2017. № 33..

22. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 34 с.

23. Радько І. П., Наливайко В. А., Міщенко А. В., Окушко О. В., Антипов Є. О. Регулювання подачі теплоносіїв як засіб підвищення енергоефективності // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті : матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 259–262. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/dd35a2aa-bebd-4a93-8a91-6cb0ff520230/content>

24. Радько І., Окушко О., Наливайко В. Впровадження засобів для позиційного регулювання теплоспоживання // Системні дослідження в енергетиці. 2023. № 3(74). С. 15–24.– DOI: <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.015>

SMART CAMPUS: IMPLEMENTATION OF ENERGY INNOVATIONS IN THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT

O. Okushko, I. Radko, V. Nalivayko

Abstract. The article considers approaches to increasing the energy efficiency of higher education institutions in the context of digitalization using the example of the implementation of the Smart Campus concept at the National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine. The main attention is paid to the use of automated energy monitoring systems that provide continuous control of electricity and heat consumption in real time.

The possibilities of using the collected data for modeling and forecasting energy consumption, taking into account technical, climatic and behavioral factors, are analyzed. It is shown that the integration of digital tools allows you to identify inefficient operating modes of engineering systems, optimize loads and reduce energy consumption.

The results of studies of the dynamics of energy consumption in educational buildings and dormitories are presented, which demonstrate the adaptability of the system to changes in operating conditions and user stay modes. The effectiveness of the use of analytical and predictive models to improve the quality of energy management and reduce energy and financial risks is substantiated.

It was established that the implementation of energy monitoring systems contributes to reducing energy consumption, increasing the energy efficiency of buildings and forming a culture of rational use of resources. The educational and scientific value of the system as a tool for training specialists in the field of energy management and digital energy technologies is also emphasized.

Keywords: energy efficiency, energy monitoring, energy consumption modeling, energy resources, digital management, higher education institution, energy management, accounting system

References

1. Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine. Energy Strategy of Ukraine for the Period Until 2035. (2017). Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555.
2. Kostin, Y., & Shvedkyi, V. (2022). Modeliuvannia potreb vnutrishnikh rynkiv dlia zabezpechennia elektroenerhiiu v umovakh nestabilnoho zovnishnoho sotsialno-ekonomichnoho ta politychnoho seredovyshcha v Ukraini [Modeling the needs of internal markets for electricity supply under unstable external socio-economic and political conditions in Ukraine]. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach*, (15). – DOI: <https://doi.org/10.54264/0054>
3. Lysenko, O., Kuznietsov, M., Hutsol, T., Mudryk, K., Herbut, P., Vieira, F. M. C., Mykhailova, L., Sorokin, D., & Shevtsova, A. (2023). Modeling a hybrid power system with intermediate energy storage. *Energies*, 16(3), 1461. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en16031461>.
4. Li, R., Satchwell, A. J., Finn, Toke, D., Christensen, H., Kummert, M., Le Dréau, J., Lopes, R.A., Madsen, H., Salom, J., Henze, G., Wittchen, K. (2022). Ten questions concerning energy flexibility in buildings. *Building and Environment*, Vol. 223, September, 109461. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109461>.
5. Yan, D., Hong, T., Dong, B., Mahdavi, A., D'Oca, S., Gaetani, I., & Feng, X. (2017). IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 156, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.084>
6. Fumo, N. (2014, March) *A Review on the Basics of Building Energy Estimation, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 31, p.p. 53-60. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.040>
7. Radko, I. P., Nalyvaiko, V. A., & Okushko, O. V. (2021). Energy efficiency is one of the main factors of university competitiveness. In *Current state and prospects for the development of electrical engineering systems: Materials of the III All-Ukrainian scientific and practical online conference in memory of V. V. Ovcharov* (pp. 104–105). TSATU. Retrieved from: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8412c53f-fe3f-4051-a1ef-693f56292191/content>.
8. Inozemtsev, H.B., Kozyrskyi, V.V, Okushko O.V. (2016). Metody enerhozberezhennia v systemakh elektropostachannia [Energy saving methods in power supply systems] / K.: TsP «Kompyrnt».
9. Hong, T.; Chen, Y.; Belafi, Z.; D'Oca, S. (2017). *Occupant behavior models: A critical review of implementation and representation approaches in building performance simulation programs*, *Building Simulation*, Vol. 11, p.p. 1–14, (2018). – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0396-6>

10. Nalyvaiko, V., Radko, I., Zhyltsov, A., Okushko, O., Mishchenko, A., & Antypov, I. (2020). Investigation of termomodernized building's microclimate with renewable energy. *E3S Web of Conferences*, 154, 07011. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407011>.
11. Radko, I. P., Nalyvaiko, V. A., Mishchenko, A. V., Okushko, O. V., & Antypov, Y. O. (2019). Rehuliuвання podachi teplonosiv yak zasib pidvyshchennia enerhoefektyvnosti [Regulation of coolant supply as a means of increasing energy efficiency]. In *Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti: Materialy XX mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 259–262). Interservice.
12. Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 3, pp. 394–398. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
13. Radko, I. P., Nalyvaiko, V. A., Okushko, O. V., Mishchenko, A. V., & Antypov, Y. O. (2018). Pidvyshchennia zakhodiv z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia u vyshchych navchalnykh zakladakh [Increasing energy efficiency and energy conservation measures in higher education institutions]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy*, (283), 275–280. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2018_283_37
14. Darby, S. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption: A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays, *Environmental Change Institute, University of Oxford*, https://www.researchgate.net/publication/238785702_The_Effectiveness_of_Feedback_on_Energy_Consumption
15. Zhyltsov, A.V., Lut, M.T., Nalyvaiko, V.A., Radko, I.P., Mishchenko, A.V., Antypov, Ye.O., Okushko, O.V. (2021). Avtomatyzovani modulni teplovi punkty dlia system teplopostachannia VNZ [Monohrafiia] , [Automated modular heat points for university heat supply systems], Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy.
16. Radko, I.P., Lut, M.T., Nalyvaiko, V.A., Okushko, O.V. (2018). Rozrobka proektu teplovoho punktu navchalnogo korpusu NUBIP Ukrainy [Development of a project for a heating station for the educational building of the NULES of Ukraine]., *Enerhetyka i avtomatyka*, №3, 86 – 94. DOI: <https://doi.org/10.31548/energiya2018.03.086>.
17. Urban, K. L.; Scheller, F.; Bruckner, T. (2021). Suitability assessment of models in the industrial energy system design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 137, Article 110400. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110400>
18. Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 409–429. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.027>
19. Pan, Y. et al. (2023). Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies, *Advances in Applied Energy*, Vol. 10, Article 100135. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100135>
20. Amasyali, K., El-Gohary, N. M. (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, p.p. 1192-1205. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>
21. Law of Ukraine "On Energy Efficiency of Buildings": Law of Ukraine dated 22.06.2017 (2017) *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*.
22. DSTU ISO 50001:2020 Energy management systems. Requirements and guidance for use (ISO 50001:2018, IDT). (2020).
23. Radko, I. P., Nalyvaiko, V. A., Mishchenko, A. V., Okushko, O. V., & Antypov, Y. O. (2019). Regulation of coolant supply as a means of increasing energy efficiency. In *Renewable energy and energy efficiency in the 21st century: Materials of the XX International Scientific and Practical Conference* (pp. 259–262). Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/dd35a2aa-bebd-4a93-8a91-6cb0ff520230/content>
24. Radko, I., Okushko, O., Nalyvaiko, V. (2023). Vprovadzhennia zasobiv dlia pozytsiinoho rehuliuвання teplospozhyvannia [Introduction of means for positional regulation of heat consumption]// *Systemni doslidzhennia v enerhetytsi*, № 3(74), 15–24. DOI: <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.015>