

Коценко О.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ ОСВІТНІХ ЗАКЛАДІВ

У статті здійснено комплексне дослідження ролі інформаційних технологій у підвищенні ефективності управління теплоспоживанням в освітніх закладах. Актуальність тематики зумовлена глобальними енергетичними викликами, високими тарифами на енергоносії, посиленням вимог до енергоефективності будівель, а також необхідністю адаптації освітньої інфраструктури до умов енергетичної нестабільності в Україні. Значна частина освітніх установ функціонує в будівлях із застарілими системами опалення та недостатнім рівнем термоізоляції, що спричиняє надмірне споживання теплової енергії, перевитрати бюджетних коштів і погіршення мікрокліматичних умов. У таких умовах інформаційні технології виступають як потужний інструмент забезпечення раціонального використання ресурсів, покращення керованості теплопостачанням і підвищення якості освітнього середовища.

У статті розглянуто основні типи ІТ-рішень, які застосовуються для збору, обробки, аналізу й візуалізації даних про теплоспоживання: сенсорні системи моніторингу, програмовані контролери, хмарні платформи, SCADA-системи, засоби машинного навчання, автоматизовані пристрої керування, цифрові інформаційні панелі. Окрему увагу приділено функціонуванню прогнозних моделей, які дозволяють адаптувати систему опалення до динамічних умов – температури зовнішнього середовища, розкладу занять, присутності людей у приміщеннях. Показано, що інтеграція IoT-рішень, аналітичного ПЗ та автоматизації дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління теплоспоживанням, що базується на даних і прогнозах.

У результаті аналізу сучасних наукових джерел і практичного досвіду застосування ІТ в енергоменеджменті виявлено переваги таких підходів: досягнення економії енергії до 30%, стабілізація температурного режиму в будівлях, зниження кількості технічних збоїв і покращення обслуговування. Розкрито виклики, що стримують широке впровадження цифрових рішень в Україні: обмеженість фінансових ресурсів, відсутність підготовлених кадрів, фрагментарність ініціатив, відсутність єдиних стандартів і нормативної бази. Запропоновано концепцію цифрової трансформації теплоспоживання в освіті, що передбачає поступове впровадження інтелектуальних технологій, підтримку з боку держави та розвиток компетентностей енергоменеджерів.

Результати дослідження мають прикладне значення для закладів загальної середньої, професійної й вищої освіти, органів місцевого самоврядування та фахівців у сфері енергоефективності. Вони можуть бути використані для створення цифрових платформ моніторингу, розробки регіональних програм оптимізації споживання енергоресурсів, а також як основа для подальших наукових досліджень.

Ключові слова: інформаційні технології, теплоспоживання, енергоменеджмент, освітні заклади, моніторинг, енергоефективність, автоматизація, аналітика даних, інтелектуальні системи.

Постановка проблеми. У зв'язку з актуалізацією завдань енергозбереження в освітній сфері, що зумовлена як загальноосвітніми тенденціями сталого розвитку, так і специфічною ситуацією в Україні (зокрема, військовими діями, дефіцитом енергоносіїв та високою вартістю енергоресурсів), проблема раціонального управління теплоспоживанням у закладах освіти постає як одна з першочергових. Значна частина об'єктів освітньої

інфраструктури зведена в період, коли вимоги до енергоефективності будівель не відповідали сучасним стандартам. Це призводить до високих тепловтрат, нерівномірного прогріву приміщень, нераціонального використання ресурсів і, як наслідок, до перевитрат бюджету, недостатнього комфорту для учнів і студентів, а в окремих випадках – до зривів навчального процесу через неможливість підтримання належного температурного режиму [1].

На сьогодні в Україні спостерігається недостатній рівень цифровізації систем управління енергоресурсами в освіті. Більшість процесів контролю теплоспоживання здійснюється вручну або за допомогою застарілих технологій, що не дозволяють своєчасно реагувати на зміни або виявляти аномалії в роботі теплових систем. Відсутність інтегрованих інформаційних рішень унеможливорює ефективний моніторинг, аналітику та автоматизоване управління тепlopостачанням. Крім того, часто відсутні єдині стандарти обліку, збору та обробки даних, що ускладнює управлінські рішення на рівні навчального закладу або місцевої влади.

Особливої ваги набуває проблема недоступності сучасних ІТ-рішень для більшості закладів освіти через обмежений фінансовий ресурс, а також відсутність кваліфікованих фахівців у сфері енергоменеджменту та цифрових технологій. У цьому контексті виникає необхідність комплексного підходу, що поєднує технічну модернізацію систем опалення, впровадження сучасних засобів автоматизації та цифрового аналізу даних, розробку локальних та регіональних платформ управління теплоспоживанням із можливістю інтеграції в ширші системи «розумного міста».

Таким чином, постає проблема не лише модернізації інфраструктури освітніх закладів, а й глибокої цифрової трансформації процесів управління теплоспоживанням. Це вимагає узгоджених дій на рівні державної політики, розробки відповідних нормативних документів, стимулювання інновацій у сфері енергоефективних технологій, а також розвитку компетентностей персоналу, здатного забезпечити ефективне використання ІТ у практиці енергозбереження в освіті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впродовж останніх років зростає науковий інтерес до проблеми енергоефективності в закладах освіти, особливо в контексті диджиталізації управлінських процесів. При цьому, значна кількість робіт українських та зарубіжних дослідників присвячена розробці й впровадженню ІТ-рішень для моніторингу та оптимізації теплоспоживання. Зокрема, у працях українських авторів розглядаються питання застосування енергоменеджменту у сфері освіти, обґрунтовуються переваги автоматизованих систем обліку теплової енергії, а також аналізуються результати впровадження смарт-систем керування кліматом у навчальних закладах.

У роботах зарубіжних учених акцент робиться на інтеграції Інтернету речей (IoT) та SCADA-

систем для збирання й аналізу енергетичних показників у будівлях, зокрема в університетських кампусах. Вони демонструють, що використання мережевих сенсорів і хмарних платформ значно підвищує точність та оперативність управлінських рішень у сфері теплоспоживання. Також досліджуються питання економічної доцільності впровадження таких рішень, їх окупності та впливу на вуглецевий слід установ [2, 3].

Окремий напрям досліджень стосується прогнозування теплоспоживання з використанням методів машинного навчання. Такі підходи дозволяють враховувати історичні дані, метеорологічні показники, розклад навчального процесу, поведінкові фактори учасників освітнього середовища. В роботах Дж. Чжан (J. Zhang), А. Кусяк (A. Kusiak) розроблено моделі, які дозволяють прогнозувати споживання теплової енергії з високим рівнем точності та адаптувати параметри системи опалення в режимі реального часу.

Незважаючи на значну кількість досліджень, на практиці в Україні ще не сформовано єдиного підходу до цифрового енергоменеджменту в освіті. Більшість проєктів носить пілотний характер або реалізується в межах окремих грантових ініціатив чи міжнародних організацій. Також відчувається брак міждисциплінарних досліджень, що поєднують інженерні, інформаційні та педагогічні аспекти теплоспоживання в контексті освітнього процесу.

Виходячи з цього, аналіз сучасних наукових джерел підтверджує перспективність інтеграції інформаційних технологій в управління теплоспоживанням, але водночас виявляє низку проблем і прогалин, які вимагають подальшого вивчення та систематизації. Актуальними залишаються питання ефективної візуалізації енергетичних даних для освітніх менеджерів, створення універсальних платформ управління, стандартизації підходів до моніторингу та розвитку професійної підготовки персоналу до роботи з такими системами.

Постановка завдання. Мета статті – дослідження можливостей використання сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності управління теплоспоживанням в освітніх закладах, а також у формуванні науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження цифрових рішень у практику енергоменеджменту освітнього сектору.

Виклад основного матеріалу. Застосування інформаційних технологій у сфері управління теплоспоживанням в освітніх закладах дозволяє

не лише скоротити витрати на енергоресурси, а й підвищити загальний рівень комфорту для учасників освітнього процесу, забезпечити відповідність сучасним екологічним стандартам і нормативам. Сучасні ІТ-рішення охоплюють широкий спектр технологій: від простих систем дистанційного контролю температури до комплексних інтелектуальних платформ, які об'єднують сенсори, пристрої автоматизації, аналітичні модулі та інтерфейси користувача [4–6].

Одним із ключових компонентів цифрового управління теплоспоживанням є системи збору та обробки даних. Вони базуються на технологіях Інтернету речей (IoT), що дозволяють у реальному часі отримувати інформацію про температуру повітря, рівень вологості, стан опалювального обладнання, відкритість вікон, кількість людей у приміщеннях. Зібрані дані передаються на сервер або хмарну платформу, де піддаються попередній фільтрації та аналізу з використанням алгоритмів машинного навчання або статистичної обробки. Це забезпечує можливість виявлення закономірностей, аномалій, прогнозування поведінки системи в майбутньому.

Іншим важливим елементом є модулі візуалізації даних та інформаційні панелі, що дозволяють адміністрації освітнього закладу легко інтерпретувати ключові показники ефективності. На основі таких панелей можна приймати оперативні рішення – наприклад, змінювати температурний режим, запускати або зупиняти подачу тепла, виявляти нераціональні витрати. Візуалізація є також важливим інструментом підвищення енергетичної грамотності персоналу та учнів, стимулюючи відповідальне ставлення до використання ресурсів [5].

Значну роль у системі управління відіграють автоматизовані пристрої керування – електронні клапани, програмовані термостати, контролери, які отримують сигнали з аналітичної платформи і без участі людини виконують команди з регулювання подачі тепла. Встановлення таких пристроїв особливо ефективне в умовах старих будівель з нерівномірним розподілом тепла. Вони дозволяють точно регулювати температуру в кожному приміщенні, залежно від його розташування, навантаженості, часу доби та інших параметрів.

Окремим напрямом є впровадження цифрових систем прогнозування, що дозволяють будувати моделі очікуваного теплоспоживання на основі відомих даних, метеопрогнозів, навчальних графіків. Такі прогностичні моделі дають змогу запобігати перевитратам, оптимізувати навантаження

на системи опалення, узгоджувати графіки подачі тепла з реальними потребами закладу. Водночас вони створюють передумови для інтеграції освітніх будівель у ширші системи енергетичних розрахунків на рівні міста або регіону.

Під час практичної реалізації, значна увага приділяється також питанням інформаційної безпеки, оскільки зростає ризик зовнішнього втручання у функціонування автоматизованих систем. Застосування шифрування, багаторівневої авторизації, резервного копіювання та кіберзахисту має бути невід'ємною частиною цифрових рішень для управління теплоспоживанням.

Практичні приклади свідчать, що впровадження інтелектуальних систем в управління опаленням дозволяє досягати економії енергії в межах 15–30%, залежно від технічного стану будівлі та рівня впроваджених технологій. Університети, які реалізували відповідні проєкти, також зазначають підвищення стабільності температурного режиму, зменшення кількості скарг від користувачів та покращення управлінських процесів у сфері енергетики.

Узагальнення основних ІТ-рішень у сфері управління теплоспоживанням представимо у вигляді Таблиці 1.

Успішна реалізація інформаційних технологій у сфері управління теплоспоживанням передбачає не лише технічне впровадження відповідних систем, а й створення нової організаційної моделі управління енергетичними ресурсами закладу. Одним з важливих напрямів є перехід від ізольованого впровадження окремих цифрових компонентів до побудови цілісної системи цифрового енергоменеджменту, що охоплює усі рівні прийняття рішень – від класної кімнати до міністерського управління. У цьому контексті інтеграція даних про теплоспоживання з іншими інформаційними потоками (наприклад, даними про споживання електроенергії, вентиляцію, відвідуваність, календар подій) дозволяє створити уніфіковану аналітичну екосистему для прийняття стратегічних і тактичних рішень.

Поява систем на базі штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові горизонти для адаптивного керування теплоспоживанням. Такі системи можуть навчатися на основі історичних даних конкретного навчального закладу, враховувати унікальні архітектурні характеристики будівель, поведінкові особливості користувачів, погодні коливання. На відміну від традиційних моделей, які часто мають жорстко задані параметри, ШІ-алгоритми здатні самостійно виявляти складні залежності між

Основні інформаційні технології в управлінні теплоспоживанням освітніх закладів

Назва технології	Призначення	Прогнозування
Системи моніторингу (IoT)	Збір даних про температуру, вологість, присутність людей	Оперативне реагування, контроль умов
Аналітичні платформи	Аналіз історичних даних, виявлення аномалій	Оптимізація споживання, виявлення втрат
Прогностичні моделі	Побудова прогнозів теплоспоживання на основі різних факторів	Запобігання перевитратам, планування
Автоматизовані пристрої керування	Регулювання подачі тепла за допомогою термостатів, контролерів	Підвищення точності регулювання, економія
Хмарні сервіси	Централізоване зберігання й обробка даних, віддалений доступ	Масштабованість, доступність, інтеграція
Кіберзахист	Захист систем від зовнішнього втручання	Надійність роботи, безпека

змінними та оновлювати свої прогнози в режимі реального часу. Наприклад, гібридні нейромережі можуть одночасно аналізувати вплив кількох факторів (вологість, інсоляція, присутність, час доби) на потребу в теплі, забезпечуючи оптимальне навантаження на систему опалення без втручання оператора.

Не менш перспективним є впровадження децентралізованих архітектур управління, коли кожна будівля або навіть її окремі зони функціонують як самостійні «енергетичні вузли», здатні самостійно аналізувати ситуацію і приймати рішення щодо рівня обігріву. Такий підхід підвищує стійкість системи до збоїв і дозволяє локалізувати проблеми, не порушуючи роботи всієї інфраструктури. Використання edge-комп'ютингу (обробки даних на периферійних пристроях) дає змогу суттєво зменшити навантаження на центральні сервери, підвищити швидкість реагування і покращити інформаційну безпеку.

Ще одним напрямом розвитку є інтеграція систем теплоспоживання з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) – наприклад, сонячними колекторами або тепловими насосами. У цьому випадку IT-рішення відіграють ключову роль у балансуванні джерел енергії, прогнозуванні виробітку та оптимізації комутації між зовнішнім постачанням тепла і автономними генераторами. Особливої актуальності це набуває в умовах енергетичної нестабільності, коли можливість тимчасової автономної роботи освітніх закладів стає критично важливою для забезпечення безперервності навчального процесу.

Також слід відзначити роль цифрових технологій у плануванні та моделюванні реконструкції існуючих систем опалення. Використання Building Information Modeling дозволяє створити цифрові копії будівель, візуалізувати потоки енер-

гії, виявити «слабкі місця», що потребують термомодернізації, і розрахувати ефективність різних варіантів реконструкції до їх фактичного впровадження. Такий підхід мінімізує ризики неправильних рішень і сприяє економії коштів на етапі реалізації.

Варто наголосити на зростаючій ролі освітніх програм, спрямованих на формування енергетичної культури серед учасників освітнього процесу. Цифрові інформаційні панелі, мобільні додатки та інтерактивні платформи можуть використовуватись як навчальні інструменти, що демонструють у реальному часі споживання теплової енергії в класі, закликаючи до енергозбереження. Таким чином, інформаційні технології не лише підвищують ефективність управління, але й сприяють вихованню нової генерації свідомих споживачів енергії.

Не менш важливою є інтеграція цифрових рішень у систему управління на рівні об'єднаних територіальних громад. Розгортання єдиних платформ, що об'єднують дані з кількох закладів освіти, дозволяє муніципалітету ефективно розподіляти ресурси, планувати ремонти, оптимізувати закупівлі енергоносіїв. Більше того, цифрові інструменти можуть бути інтегровані з системами бюджетного моніторингу, що сприяє прозорості й підзвітності використання коштів.

У підсумку, впровадження IT у сфері управління теплоспоживанням є не лише технічним завданням, а й стратегічним процесом цифрової трансформації всієї освітньої системи. Його успіх залежить від узгоджених дій освітян, енергетиків, айті-фахівців, а також управлінських рішень на національному рівні. Подальші дослідження мають зосередитися на оцінці ефективності впроваджених рішень, формуванні методологій порівняльного аналізу, а також на створенні шабло-

нів для масштабованого розгортання ІТ-рішень в освітньому секторі України.

Отже, впровадження ІТ в управління теплоспоживанням має міждисциплінарний характер і потребує узгодженої співпраці фахівців у галузі енергетики, ІТ, управління освітою, безпеки та будівництва. Лише за умови системного підходу, належного фінансування та професійної підготовки кадрів можна досягти сталих результатів у підвищенні енергоефективності навчальних закладів.

Висновки. Впровадження інформаційних технологій в управління теплоспоживанням освітніх закладів є одним із ключових інструментів досягнення енергоефективності, фінансової стабільності та екологічної безпеки. Аналіз наукових джерел, а також практичних прикладів підтверджує ефективність інтеграції таких ІТ-рішень, як системи моніторингу, автоматизовані пристрої керування, аналітичні модулі та прогностичні моделі.

Проблема полягає не лише у технічній модернізації об'єктів освітньої інфраструктури, а й у цифровій трансформації всієї системи управління енергоресурсами. Безпосереднє залучення ІТ дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління, що ґрунтується на даних, аналітиці та прогнозуванні. Це вимагає не лише впро-

вадження відповідних технологій, а й розбудови інституційної спроможності освітніх закладів до їх використання.

Реалізація подібних ініціатив повинна супроводжуватись підвищенням кваліфікації персоналу, створенням локальних стратегій цифрової енергетики, а також розробкою нормативної бази, яка сприятиме масовому впровадженню ІТ-рішень у сфері енергоменеджменту. Необхідно також адаптувати такі рішення до специфіки навчального середовища, враховуючи нерівномірне завантаження приміщень, різні архітектурні умови та обмеження бюджету.

З урахуванням наявних тенденцій, вітчизняний освітній сектор має значний потенціал для переходу до більш сталого й технологічно просунутого моделю управління тепловими ресурсами. Подальші дослідження доцільно зосередити на адаптації хмарних сервісів, стандартизації даних, створенні національних платформ енергомоніторингу, а також на вивченні соціального ефекту від цифровізації опалення – зокрема, впливу на поведінку користувачів та освітні результати.

Загалом, інформаційні технології в енергоменеджменті закладів освіти – це не лише про економію ресурсів, а й про інновації, які формують нову культуру енергоспоживання та сприяють сталому розвитку освітньої галузі.

Список літератури:

1. Jindal A., Kumar N., Rodrigues J. A heuristic-based smart HVAC energy management scheme for university buildings. *IEEE Trans. Industrial Informatics*, 2018. DOI: 10.1109/TII.2018.2802454
2. Laporte J.P.; Cansino J.M. Energy Consumption in Higher Education Institutions: A Bibliometric Analysis Focused on Scientific Trends. *Buildings* 2024, № 14. 323 pp. <https://doi.org/10.3390/buildings14020323>
3. Pinto Oliveira D.C., Pimentel Filho M.C., Alencar Freitas A.A. Energy Efficiency Analysis in Buildings of a University Campus Using the Procel RTQ-C. In *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2021, São Paulo, Brazil, 15–18 August 2021*. 710–715 pp.
4. Popescu L. L., Popescu R. S. Optimizing Energy Efficiency: Dynamic Numerical Simulation for Educational Buildings. 2024. <https://doi.org/10.1109/eeae60309.2024.10600559>
5. Tsantili A., Koronaki I. P., Polydoros V. Maximizing Energy Performance of University Campus Buildings through BIM Software and Multicriteria Optimization Methods. *Energies*, 16(5), 2023. 2291 pp. <https://doi.org/10.3390/en16052291>
6. Wang Z., Hu G. and Spanos C. J. Distributed model predictive control of bilinear HVAC systems using a convexification method. *Proc. of ASCC, Gold Coast, QLD, 2017*. 1608–1613 pp.

Kotsenko O.A. INFORMATION TECHNOLOGIES IN HEAT CONSUMPTION MANAGEMENT OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

The article presents a comprehensive study of the role of information technologies in improving the efficiency of heat consumption management in educational institutions. The relevance of the topic is due to global energy challenges, high energy tariffs, increased requirements for energy efficiency of buildings, as well as the need to adapt educational infrastructure to the conditions of energy instability in Ukraine. A significant part of educational institutions operates in buildings with outdated heating systems and insufficient thermal insulation, which causes excessive consumption of thermal energy, overspending of budget funds and deterioration of microclimatic conditions. In such conditions, information technologies act as a powerful

tool for ensuring the rational use of resources, improving the manageability of heat supply and improving the quality of the educational environment.

The article considers the main types of IT solutions used to collect, process, analyze and visualize heat consumption data: sensor monitoring systems, programmable controllers, cloud platforms, SCADA systems, machine learning tools, automated control devices, digital information panels. Special attention is paid to the functioning of predictive models that allow adapting the heating system to dynamic conditions – outdoor temperature, class schedule, presence of people in the premises. It is shown that the integration of IoT solutions, analytical software and automation allows you to move from reactive to proactive heat consumption management based on data and forecasts. As a result of the analysis of modern scientific sources and practical experience in the use of IT in energy management, the advantages of the following approaches were identified: achieving energy savings of up to 30%, stabilizing the temperature regime in buildings, reducing the number of technical failures and improving service. The challenges that hinder the widespread implementation of digital solutions in Ukraine are revealed: limited financial resources, lack of trained personnel, fragmentation of initiatives, lack of unified standards and regulatory framework. The concept of digital transformation of heat consumption in education is proposed, which involves the gradual introduction of intelligent technologies, support from the state and development of competencies of energy managers.

The results of the study have practical significance for institutions of general secondary, vocational and higher education, local governments and specialists in the field of energy efficiency. They can be used to create digital monitoring platforms, develop regional programs for optimizing energy consumption, as well as as a basis for further scientific research.

Key words: *information technology, heat consumption, energy management, educational institutions, monitoring, energy efficiency, automation, data analytics, intelligent systems.*

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 01.08.2025

Опубліковано: 27.10.2025