

## **Инжиниринговые аспекты функционирования системы энергоменеджмента объектов жилищно-общественной сферы**

## **Инжиниринговые аспекты функционирования системы энергоменеджмента объектов жилищно-общественной сферы**

## **Engineering aspects of the functioning of the energy management system of housing and public facilities**

### **1. Номер державної реєстрації - 0119U100670.**

2. Науковий керівник: д.т.н., проф. Дешко В.І., Дешко В. И., Deshko V. I.

### **3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)** Авторами продовжено попередні дослідження, що були спрямовані на створення науково-технічних рішень для розробки та впровадження систем енергетичного менеджменту в галузі освіти, методик енергетичного оцінювання та сертифікації будівель, типових структур систем контролю, обліку та керування, алгоритмічного та програмного забезпечення інформаційних систем управління процесами енерговикористання, виконання енергетичного моделювання репрезентативних приміщень будівлі або будівель простої конструкції з врахуванням впливу кліматичних параметрів, режимів роботи системи опалення та вентиляції. Розроблено комплекс, що поєднує динамічні моделі енергетичного стану будівлі і теплового комфорту людини, що дозволяє визначати динаміку зміни їх характеристик та взаємодії між ними. Створено багатофакторні нелінійні інерційні регресійні моделі для аналізу та прогнозування рівня опалення та температури повітря в будівлі. Удосконалено методику розрахунку природного повітрообміну в будівлях. Проведено енергетичне математичне моделювання будівель з врахуванням фактичного природного повітрообміну для різних типів віконних конструкцій.

Створено математичні моделі багатоповерхових будівель складної архітектурної форми, що дозволяє врахувати більш складні форми повітрообміну та енергетичної взаємодії між зонами з різною орієнтацією, рівнем теплового захисту та характеристиками інженерних систем; розроблено інструментарій для функціонування системи енергоменеджменту для кінцевих споживачів житлово-громадської сфери. Для уточнення параметрів моделювання та співставлення і верифікації результатів проведено енергетичні обстеження пілотних будівель з визначенням розосереджених локальних даних по умовах експлуатації, а саме комфортності, енергоспоживання та ін. Уточнено положення та методики організації систем енергоменеджменту, методи та моделі організації тепlopостачання з використанням локальних ринків теплової енергії.

Відповідно до вимог нещодавно прийнятих законів України, актуальним на сьогодні є підвищення якості управління енерговитратами будівлі і взаємозв'язок показів комерційного вузла обліку з витратами окремих споживачів будівлі. Розроблено рекомендації для створення первинної бази даних і подальшого управління енергоспоживанням багатоквартирних будівель, а також розподілу витрат між окремими споживачами залежно від технічних, експлуатаційних характеристик та соціальних факторів; технологію моніторингу енергоспоживання та моделі для прогнозування енергетичних характеристик будівель для оперативного контролю і реагування на зміну умов експлуатації.

**(рос.)** Авторами продолжены предыдущие исследования, которые были направлены на создание научно-технических решений для разработки и внедрения систем энергетического менеджмента в сфере образования, методик энергетической оценки и сертификации зданий, типовых структур систем контроля, учета и управления, алгоритмического и программного обеспечения информационных систем управления процессами энергопотребления,

выполнение энергетического моделирования репрезентативных помещений здания или зданий простой конструкции с учетом влияния климатических параметров, режимов работы системы отопления и вентиляции.

Разработан комплекс, сочетающий динамические модели энергетического состояния здания и теплового комфорта человека, позволяет определять динамику изменения их характеристик и взаимодействия между ними. Созданы многофакторные нелинейные инерционные регрессионные модели для анализа и прогнозирования уровня отопления и температуры воздуха в здании.

Созданы математические модели многоэтажных зданий сложной архитектурной формы, что позволяет учесть более сложные формы воздухообмена и энергетического взаимодействия между зонами с различной ориентацией, уровнем тепловой защиты и характеристиками инженерных систем; разработан инструментарий для функционирования системы энергоменеджмента для конечных потребителей жилищно-общественной сферы. Для уточнения параметров моделирования, сопоставления и верификации результатов проведены энергетические обследования пилотных зданий с определением рассредоточенных локальных данных по условиям эксплуатации, а именно комфортности, энергопотреблению и др.

Уточнены положения и методики организации систем энергоменеджмента, методы и модели организации теплоснабжения с использованием локальных рынков тепловой энергии.

В соответствии с требованиями недавно принятых законов Украины, актуальным на сегодня является повышение качества управления энергозатратами здания и взаимосвязь показаний коммерческого узла учета с расходами отдельных потребителей здания. Разработаны рекомендации для создания первичной базы данных и дальнейшего управления энергопотреблением многоквартирных зданий, а также распределения расходов между отдельными потребителями в зависимости от технических, эксплуатационных характеристик и социальных факторов; технологию мониторинга энергопотребления и модели для прогнозирования энергетических характеристик зданий для оперативного контроля и реагирования на изменения условий эксплуатации.

**(eng.)** The authors continued previous studies, which were aimed at creating scientific and technical solutions for the development and implementation of energy management systems in educational sector, methods of energy assessment and certification of buildings, typical structures of control, monitoring and management systems, algorithmic and software for information systems aimed at energy consumption processes management, performing energy modelling of representative premises or buildings of simple geometry, taking into account the influence of climatic parameters, operating modes of the heating and ventilation systems.

A complex has been developed that combines dynamic models of the building energy balances and the thermal comfort of a person, which makes it possible to determine the dynamics of changes in their characteristics and the interaction between them. Multifactorial nonlinear inertial regression models have been created to analyse and predict the heating energy demand and air temperature in a building.

Mathematical models of multi-storey buildings of complex architectural design have been created, which allows taking into account more complex forms of air exchange and energy interaction between zones with different orientations, the level of thermal protection and the characteristics of building technical systems; a toolkit for the functioning of the energy management system for end users of the housing and public sector has been developed. To clarify energy modelling parameters, compare and verify the results, energy surveys of pilot buildings were carried out with the definition of dispersed local data on operating conditions, namely, comfort, energy consumption, etc.

The provisions and methods for organizing energy management systems, methods and models for organizing heat supply using local heat energy markets have been improved.

In accordance with the requirements of the recently adopted laws of Ukraine, the task of improving the quality of building energy costs management and the relationship between the readings of the commercial metering unit and the energy costs for individual consumers of the building is of

high importance today. Recommendations for creating the primary database and further management of energy consumption in multi-apartment buildings have been developed, as well as the distribution of costs between individual consumers, depending on technical, operational characteristics and social factors; energy monitoring technology and models for predicting the buildings energy performance for operational control and response to changes in operating conditions.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності**

1. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. Оцінювання динаміки енергопотребности будівель з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту, на прикладі будівель масової забудови. *Свідотство про реєстрацію авторського права. № 99480; 03.09.2020 р.*

2. Дешко В.И., Белоус И.Ю., Буяк Н.А. Оценивание динамики энергопотребности зданий с учетом эксергетической модели теплового комфорта на примере зданий массовой застройки. *Свидетельство о регистрации авторского права. № 99480; 03.09.2020 г.*

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Створені математичні моделі відповідають світовому рівню наукових досліджень в сфері енергоефективності будівель, але в свою чергу будуть враховувати особливості вітчизняної будівельної теплофізики, фонду будівель і характеристик централізованого тепlopостачання, інженерних систем громадських та житлових будівель. Поєднання динамічних моделей енергетичного стану будівлі і теплового комфорту людини, дозволило отримати нові дані динаміки зміни їх характеристик та взаємодії, що опубліковано в рейтингових міжнародних виданнях. Створено багатофакторні нелінійні інерційні регресійні моделі для аналізу та прогнозування рівня опалення та температури повітря в будівлі, які дозволяють враховувати інерційні параметри будівля та історію зміни впливових параметрів. Проведено енергетичне моделювання будівель з врахуванням експлуатаційно-поведінкових особливостей мешканців/працівників, що дозволяє уточнити рівень енергетичної ефективності будівель.

Розвиток методів аналізу будівель як енергетичних систем ґрунтується на поєднанні та співставленні результатів, отриманих у єдиному полі міжнародної нормативної бази, але з урахуванням національної специфіки. У цьому контексті використання та розвиток на базі вітчизняних об'єктів і систем методів енергетичного аналізу та управління відповідає глобальним тенденціям.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

За експертними оцінками впровадження енергетичного менеджменту дозволить досягти без додаткових інвестицій від 5% до 8% економії енергоресурсів за рахунок впровадження енергоефективних заходів споживачами та до 20% – за рахунок налагодження енергоефективної експлуатації об'єктів. Зважаючи на це, потенційними замовниками є об'єкти житлово-громадської сфери не залежно від форми власності, органи центральної та місцевої виконавчої влади, комунальні підприємства, що забезпечує широкий ринок для впровадження науково-практичних результатів роботи.

#### **7. Потенційні користувачі**

Потенційними замовниками є державні адміністрації, об'єкти малої енергетики, промислові та комунальні підприємства, а також приватні підприємства, що забезпечує широкий ринок для впровадження науково-практичних результатів роботи.

1. Вищі заклади освіти України в частині підвищення ефективності управління процесами енерговикористання.

2. Міністерство освіти і науки України в частині організації системи управління процесами енерговикористання в галузі освіти.

3. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій в частині гармонізування української нормативної бази з питань оцінки енергоефективності будівель.

4. Громадські організації, зокрема: Український фонд соціальних інвестицій, Інститут місцевого розвитку, Асоціація енергоефективних міст України, Асоціація енергоаудиторів тощо.

5. Відділи державних адміністрацій, що займаються питаннями енергетичної ефективності та управління енергопостачанням.

Досвід взаємодії авторів із представниками реального сектору економіки, науково-практичною спільнотою, Держенергоефективності говорить, що розробка та впровадження новітніх технологій управління та автоматизації будівель та їх інженерного обладнання є нагальною потребою та має значний попит у промислових галузях та комунальному господарстві України.

## **8. Стан готовності розробки.**

1. Математичні моделі багатоповерхових будівель складної архітектурної форми, що дозволяють враховувати більш складні форми повітрообміну та енергетичної взаємодії між зонами з різною орієнтацією, рівнем теплового захисту та характеристиками інженерних систем;

2. Інструментарій для функціонування системи енергоменеджменту кінцевих споживачів житлово-громадської сфери.

3. Звіти з енергоаудиту за результатами проведення енергетичних обстежень пілотних будівель з визначенням розосереджених локальних даних по умовах експлуатації, а саме комфортності, енергоспоживання та ін. для уточнення параметрів моделювання та співставлення і верифікації результатів.

4. Методи та моделі організації теплопостачання з використанням локальних ринків теплової енергії.

5. Методики і рекомендації для створення первинної бази даних і подальшого управління енергоспоживанням різних типів багатоквартирних будівель, а також розподілу витрат між окремими споживачами залежно від технічних, експлуатаційних характеристик та соціальних факторів.

## **9. Існуючі результати впровадження.**

- Матеріали науково-дослідної роботи «Інжинірингові аспекти функціонування системи енергоменеджменту об'єктів житлово-громадської сфери» прийняті до використання ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій і Технічним комітетом з енергоефективності в будівництві Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України при розвитку вітчизняної нормативної бази в сфері підвищення енергоефективності будівель та її гармонізації з європейськими та міжнародними підходами, зокрема при удосконаленні підходів до оцінки та аналізу енергетичної ефективності будівель.

- Дослідження та напрацювання за науково-дослідною роботою покладені в основу створеної системи віддаленого енергомоніторингу об'єктів КПІ ім. Ігоря Сікорського

- динамічні моделі функціонування різних джерел енергії для енергозабезпечення підприємства впроваджені на ДП «Державтотранспроєкт»

- матеріали науково-дослідної роботи «Інжинірингові аспекти функціонування системи енергоменеджменту об'єктів житлово-громадської сфери» використані Громадською організацією «Школа енергоефективності» при розробці навчальних матеріалів проекту GIZ «Енергоефективність у громадах II» до курсу «Енергоменеджмент та енергоаудит у лікарнях».

## **10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

Кафедра теплотехніки та енергозбереження Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, тел.: 406-82-50/406-86-43, e-mail: <http://te.kpi.ua>

## **11. Фото розробки.**

## 12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.

### Монографії:

1. Ексергетичний аналіз систем створення теплового комфорту у будівлях [електронний ресурс]: монографія / >В. І. Дешко,< В.А. Волощук, >Н. А. Буж< – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 296 с.

### Розділи в монографіях мовами ЄС:

1. Deshko, V.I., Bilous, I.Yu., Sukhodub, I.O., Shovkaliuk, M.M., EFFICIENCY OF USING ENERGY IN THE HOUSING SECTOR. Chapter I. Experimental and calculation research of distribution of building thermal state characteristics for educational building in Kyiv Under the general editorship of A.M. Pavlenko. Politechnika Świętokrzyska. Kielce, 2020, Pp. 7 - 87.

<http://www.jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2020/09/EFFICIENCY-OF-USING-ENERGY-IN-THE-HOUSING-SECTOR.pdf>

2. Deshko V.I., Karpenko D.S. Management of technological processes in energy technologies. Analysis of aspects and simulation modeling of the thermal energy market in Ukraine. Under the general editorship of A.M. Pavlenko. Politechnika Swietokrzyska. Kielce 2019, P. 7-49

### Підручники та навчальні посібники:

1. І.Ю. Білоус, М.М. Шовкалюк. Методи енергетичного аналізу в теплотехнологіях: Збірник задач. навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 38 с., <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35006?mode=full>

2. Прикладні задачі енергозбереження: вибрані розділи. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. М. Шовкалюк, І. Ю. Білоус. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,77 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 80 с. – Назва з екрана. – Доступ : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36932>

### Перелік опублікованих за темою статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus:

1. Deshko V., Buyak N., Bilous I., Voloshchuk V. “Reference state and exergy based dynamics analysis of energy performance of the “heat source - human–building envelope” system”, Energy, Vol. 200, 2020. doi: [10.1016/j.energy.2020.117534](https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117534)

2. Bilous, I.Yu.,Deshko, V.I.,Sukhodub, I.O. Building energy modeling using hourly infiltration rate. Magazine of Civil Engineering. 2020. 96(4). Pp. 27–41.ISSN 2071–0305DOI:10.18720/MCE.96.3, <https://engstroy.spbstu.ru/article/2020.96.3/>

3. Deshko V., Bilous I., Vynogradov-Saltykov V., Shovkaliuk M., Hetmanchuk H. Integrated Approaches to Determination of CO2 Concentration and Air Rate Exchange in Educational Institution. Rocznik Ochrona Środowiska, Volume 22, 2020. Pp. 82-104.

### Перелік опублікованих англomовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus:

1. Functional Structure of the Local Thermal Energy Market in District Heating Deshko, V., Karpenko, D. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2019 - Proceedings, 2019, с. 343-346, 8764211 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85069917304&origin=resultslist>

2. Deshko V., Voloschuk V., Buyak N. Reference state for the evaluation of ECOS 2019 - 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 23-28 June 2019. Wroclaw - Poland, 2019, с. 2287-2300 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85079611383&origin=resultslist>

3. Scenario Analysis for Increasing Efficiency Level of the Autonomous Generation Object in Central Heat Supply Mahnitko, A., Veremiichuk, Y., Deshko, V., Karpenko, D. 2019 IEEE 60th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical

4. The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings Deshko, V., Bilous, I., Buyak, N., Shevchenko, O. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings, 2020, с. 201-205, 9160270  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092164581&origin=resultslist>

5. Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption Deshko, V., Bilous, I.Yu., Shovkaliuk M., Hurieiev M. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings, 2020, с. 196-200, 9160046  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092194160&origin=resultslist>

*Перелік опублікованих статей, у журналах що входять до переліку фахових видань:*

1. Deshko V., Bilous I., Buyak N. DYNAMIC MODELING OF ENERGY NEED FOR HEATING AND THERMAL COMFORT DEPENDENCE ON BUILDING ENVELOPE CHARACTERISTICS. *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)* , 2019. Vol.1.

2. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Максименко О.Е. СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ. Науковий журнал «Технічні науки та технології». 2019. №1. С. 267-277.

3. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. РОЗРАХУНОК ПОГОДИННОЇ ПРИРОДНОЇ КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОПОТРЕБУ БУДІВЕЛЬ В ДИНАМІЧНИХ СІТКОВИХ МОДЕЛЯХ. Науково-технічний, виробничий та інформаційно-аналітичний журнал «Наука та будівництво». 2019. №2.

4. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. РОЗРАХУНОК ПОГОДИННОЇ ПРИРОДНОЇ КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ В БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЛЯХ В УМОВАХ МІНЛИВОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2019. №2.

5. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буюк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В. ВПЛИВ ТЕПЛОІНЕРЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОГОРОДЖЕНЬ НА УМОВИ КОМФОРТНОСТІ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ЕНЕРГООЩАДНИХ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ В БУДІВЛЯХ. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. 2019. №2.

6. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буюк Н.А. ВПЛИВ ПЕРЕРИВЧАСТИХ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ НА ДИНАМІКУ ЕНЕРГОПОТРЕБИ ТА УМОВИ КОМФОРТНОСТІ БУДІВЕЛЬ З РІЗНИМ РІВНЕМ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ. Наукові вісті НТУУ КПІ. 2019. №4. С. 7-16.

7. V.I. Deshko, O.M. Shevchenko, M.M. Shovkaliyuk. APPROACH TO THE ENERGY EVALUATION OF THE SOCIAL FACILITIES OF UKRAINE AT THE TIME OF THE ENERGY EFFICIENCY MEASURES IMPLEMENTATION / *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)*, 2019. Vol.2 P.

8. О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень / О.М.Шевченко, М.М.Шовкалюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2019. - №4 (136). – с.97-105

9. Дешко В.І., Суходуб І.О., Сердечний П.Ю. Використання енергетичного моделювання будівель при розробці проектів з підвищення енергоефективності. ВІСНИК КНУТД №4 (136), 2019. с.86-96. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.4.9>

10. В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Н.А. Буюк, М.В. Гурєєв. ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕНЕРГОПОТРЕБИ БУДІВЕЛЬ МАСОВОЇ ЗАБУДОВИ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ. Енергетика та автоматика. №1. 2020. Ст. 77

11. Buyak N., Deshko V., Bilous I., Gureev M., Holubenko O. ASSESSMENT OF THE WINDOW REPLACEMENT INFLUENCE ON BUILDING ENERGY CONSUMPTION AND

HUMAN THERMAL COMFORT ON THE BASIS OF DYNAMIC MODELING. Refrigeration Engineering and Technology, 55(5-6). 2020. С. 282-292.

12. О.М.Шевченко, М.М.Шовкалюк. Розробка інвестиційних проєктів підвищення енергоефективності студмістечка КПІ та інтеграція у освітній процес / О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. –2020.

13. В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, В.О. Винорадов-Салтиков, І.О. Суходуб, О.І. Яценко. Експериментальне дослідження якості повітря та повітрообміну в закладах освіти та житлових будівлях. Вісник КНУТД. 2020, № 4 (147).

*Свідоцтва авторського права:*

1. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. Оцінювання динаміки енергопотреби будівель з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту, на прикладі будівель масової забудови *Свідотство про реєстрацію авторського права*. № 99480; 03.09.2020 р.

*Дисертації:*

1. Білоус І.Ю. «Оцінювання енергоефективності будівлі в умовах динамічної зміни характеристик середовища», спеціальність 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси», науковий керівник Дешко В.І., КПІ ім. Ігоря Сікорського 2019 р.

2. Карпенко Д.С. «Розроблення наукових засад впровадження ринків теплової енергії в системах теплопостачання», спеціальність 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси», науковий керівник Дешко В.І., КПІ ім. Ігоря Сікорського 2020 р.

### **13. Надати ключові слова до розробки**

РИНОК ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ, ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, КОМУНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ, ЖИТЛОВО-ГРОМАДСЬКА СФЕРА, ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ