

## Управління енергоспоживанням об'єктів комунальної енергетики

## Управление энергопотреблением объектов коммунальной энергетики

### Management of municipal facilities energy consumption

1. **Номер державної реєстрації теми - 0117U000469**
2. **Науковий керівник – д.т.н., проф. Дешко В.І., Дешко В.И., Deshko Valerii**

### 3. Суть розробки, основні результати. (укр.)

Визначені основні структурні схеми взаємовідносин між суб'єктами ринку теплової енергії та запропоновані відповідні моделі ринку теплової енергії залежно від рівня локалізації системи теплостачання. Проаналізовано ефективність роботи системи для двох альтернативних варіантів: монополія та конкуренція. Здійснено моделювання взаємодій учасників ринку, які використовують різні технології з виробництва теплової енергії, в умовах конкуренції.

Виконано порівняння п'яти методів розрахунку питомої енергопотреби на опалення та/або охолодження будівлі від укрупнених річних показників до деталізованих погодинних методів. Проведено аналіз використання різних кліматичних даних. Доведено, що розрахунки за динамічними методами (EnergyPlus, 5R1C) та за даними міжнародного файлу погоди IWEC надають результати з похибкою до 4-8% в режимі опалення та до 16-18% в режимі охолодження, рекомендовано використання останніх для: погодинного, добового аналізу енергопотреби на опалення, прогнозування рівня опалення в т.ч. у переривчастому режимі.

Розглянуті наявні системи централізованого опалення будинків та проаналізовано можливість встановлення лічильників індивідуального обліку теплової енергії в них на прикладі експериментального обчислювача на базі блоку Arduino Uno. Проведено дослідження та програмне моделювання гідрогазодинамічних і теплових моделей приладів опалення у SolidWorks Simulation з використанням тепловізійних вимірювань.

Вперше запропоновано та обґрунтовано врахування зміни умов комфортності при термомодернізації будівель шляхом застосування моделі теплового комфорту та розрахунку середньої радіаційної температури приміщення, що дає змогу знизити температуру повітря у приміщенні та рівень енергоспоживання. Створено математичну модель для аналізу показників енергоефективності системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції будівлі», яка дає змогу враховувати вплив стандартних параметрів теплового комфорту на споживання енергії по ланцюгу до первинного палива. Вперше модель людини включена у складну енергетичну систему будівлі.

Запропонована нова концепція автоматизації кліматичного обладнання центрального кондиціонера, в основу якої покладено синтез оптимальної багатовимірної системи керування із оцінкою комбінації температурних та вологісних показників мікроклімату та врахування взаємодії компонентів установки, що забезпечить ефективне керування обладнанням та використання енергоресурсів.

### (рос.)

Определены основные структурные схемы взаимоотношений между субъектами рынка тепловой энергии и предложены соответствующие модели рынка тепловой энергии в зависимости от уровня локализации системы теплоснабжения. Проанализирована эффективность работы системы для двух альтернативных вариантов: монополия и конкуренция. Осуществлено моделирование взаимодействий участников рынка, использующих различные технологии по производству тепловой энергии, в условиях конкуренции.

Выполнено сравнение пяти методов расчета удельного энергопотребления на отопление и/или охлаждение здания от укрупненных годовых показателей до детализированных почасовых методов. Проведен анализ использования различных климатических данных. Доказано, что расчеты по динамическим методами (EnergyPlus, 5R1C) и по данным международного файла погоды IWEC предоставляют результаты с погрешностью до 4-8% в режиме отопления и до 16-

18% в режиме охлаждения рекомендовано использование последних для: почасового, суточного анализа энергопотребления на отопление, прогнозирования уровня отопления, в т.ч. в прерывистом режиме.

Рассмотрены имеющиеся системы централизованного отопления домов и проанализирована возможность установки счетчиков индивидуального учета тепловой энергии в них на примере экспериментального вычислителя на базе блока Arduino Uno. Проведены исследования и программное моделирование гидрогазодинамических и тепловых моделей отопительных приборов SolidWorks Simulation с использованием тепловизионных измерений.

Впервые предложено и обосновано учет изменения условий комфортности при термомодернизации зданий путем применения модели теплового комфорта и расчета средней радиационной температуры, что позволяет снизить температуру воздуха в помещении и уровень энергопотребления. Создана математическая модель для анализа показателей энергоэффективности системы «источник теплоты - человек - ограждающие конструкции здания», которая позволяет учитывать влияние стандартных параметров теплового комфорта на потребление энергии по цепи к первичному топливу. Впервые модель человека включена в сложную энергетическую систему здания.

Предложена новая концепция автоматизации климатического оборудования центрального кондиционера, в основу которой положен синтез оптимальной многомерной системы управления с оценкой комбинации температурных и влажностных показателей микроклимата и учета взаимодействия компонентов установки, обеспечит эффективное управление оборудованием и использования энергоресурсов.

(англ.)

The main structural schemes of interrelations between the subjects of the thermal energy market are determined and the corresponding models of the thermal energy market are proposed depending on the localization level of the heat supply system. Effectiveness of the system was analyzed for two alternatives: monopoly and competition. Modeling the interaction of market participants was done using different technologies for the production of heat energy, in a competitive environment.

A comparison of five methods for calculating the specific building energy consumption for heating and / or cooling was made, starting from aggregated annual indicators to detailed hourly methods. The analysis of the various climatic data use was performed. It is proved that calculations using dynamic methods (EnergyPlus, 5R1C) and according to the international weather file IWEC provide results with an error of up to 4-8% in heating mode and up to 16-18% in cooling mode, which allows the use of the latter for: hourly, daily analysis of energy consumption for heating, prediction of the level of heating, incl. in intermittent mode.

The available systems of centralized heating of houses are considered and the possibility of installing individual heat meters in each apartment is analyzed. Experimental research was performed on the example of a calculator based on the Arduino Uno block. Heating devices thermal modeling was conducted in SolidWorks Simulation and using thermal imaging measurements

A new concept of climatic equipment automatization for central air conditioner has been proposed, based on the synthesis of an optimal multidimensional control system with an assessment of temperature and humidity indicators combination and consideration of plant components interaction, which will ensure efficient equipment management and energy use.

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

- Дешко В.І., Буяк Н.А., Суходуб І.О. Моделі теплового комфорту та енергоспоживання будівлі / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 69785, від 16.01.2017
- Дешко В.І., Буяк Н.А., Шовкалюк М.М. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти / Науковий твір, дата реєстр.16.01.2017, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 69784.
- Дешко В.І., Білоус І.Ю. Нелінійні багатofакторні регресійні залежності для прогнозування внутрішньої температури повітря в адміністративній будівлі та параметричний аналіз зовнішній та внутрішніх факторів впливу/ Науковий твір, дата реєстр.31.05.2018, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 79449.

- Карпенко Д.С. Комп'ютерна програма «Thermal Energy Market» / Науковий твір, дата реєстр.26.10.2018, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 82576.

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

Рівень розробки відповідає світовому рівню та немає аналогів в Україні. Дослідження теплового стану приміщень проведені з використанням динамічних моделей на базі європейських стандартів, програми EnergyPlus, новітніх наукових технологій у CFD моделюванні, сучасних підходів до визначення теплового комфорту людини.

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

Результати роботи є корисними для навчальних закладів та МОН України в цілому в частині розбудови системи управління процесами енергоспоживання, для державних органів з питань впровадження конкурентного ринку теплової енергії. Обсяг щорічних заощаджень енергоресурсів та коштів на їх оплату (на прикладі КПП ім. Ігоря Сікорського) може складати більше 2 млн. грн. Впровадження ринку теплової енергії може знизити ціну на теплову енергію для кінцевого споживача в середньому на 20% за умови якості та надійності тепlopостачання.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Результати роботи є корисними для МОН України та спрямовані на організацію системи управління процесами енергоспоживання; Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства при розробці стандартів з енергоефективності будівель, зокрема при співробітництві з ДП «НДІБК». Також результати роботи можуть зацікавити громадські організації, зокрема: Український фонд соціальних інвестицій, Інститут місцевого розвитку, Асоціація енергоефективних міст України тощо.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблено імітаційну модель ринку теплової енергії (PTE), на основі якої, проведено розрахунки технічних та економічних показників системи тепlopостачання при функціонуванні ринку. Розроблено авторське програмне забезпечення «Thermal Energy Market» для планування розвитку систем тепlopостачання в рамках PTE. Розроблені динамічні моделі основного кліматичного обладнання та інженерних систем будівлі. Запропонована нова концепція автоматизації кондиціонера, на основі синтезу системи керування із оцінкою комбінації температурних та вологісних показників мікроклімату та врахування взаємодії компонентів установки.

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

Результати роботи використані Українським фондом соціальних інвестицій; ДП «НДІ Будівельних конструкцій»; Сумський державний університет; Івано-Франківський університет нафти і газу; Держенергоефективності (під час підготовки програми атестації енергоаудиторів при проведенні енергетичної сертифікації будівель та підготовці відповідних навчальних курсів); Центром ресурсоефективного і більш чистого виробництва; при проведенні енергетичних обстежень будівель КПП ім. Ігоря Сікорського.

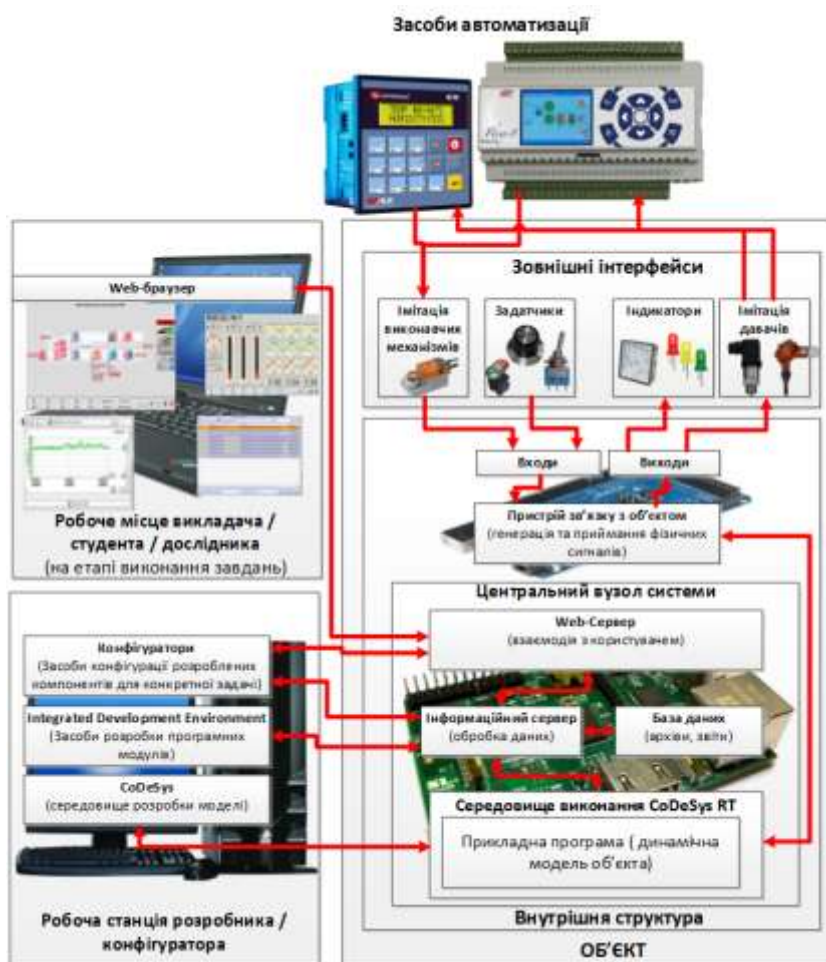
#### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

КПП ім. Ігоря Сікорського, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра теплотехніки та енергозбереження, (044) 204-82-50, [te@kpi.ua](mailto:te@kpi.ua)

#### **11. Фото розробки**



Спроекована система теплопостачання міста на основі існуючої в програмному забезпеченні «Thermal Energy Market»



Структурна схема дослідного полігону систем автоматичного керування

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

### Монографія:

1. Ефективність утилізації теплоти в системах вентиляції: монографія / Дешко В.І., Суходуб І.О. – К.: Видавництво ТОВ «Альфа-ПИК», 2017. – 168 с.

**Навчальний посібник у закордонному виданні:**

2. Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / Кулаков Г.Т., Ковриго Ю.М., Голінко І.М., Баган Т.Г., Бунке О.С. ISBN 978-985-06-2800-8, – Минск: Вишэйшая школа, 2017. – 238 с.

**Підручник:**

3. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 155 с.

**Статті у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus:**

1. Buyak N., Deshko V., Sukhodub I. Buildings energy use and human thermal comfort according to energy and exergy approach // Energy and building, Volume 146, 2017, Pages 172-181.
2. Deshko V., Bilous I., Sukhodub I. Building inside air temperature parametric study // Magazine of Civil Engineering, №08 (68), 2016, p. 65–75.
3. Bilous I.Yu., Deshko V.I., Sukhodub I.O. Parametric analysis of external and internal factors influence on building energy performance using non-linear multivariate regression models. Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 20. P. 327-336.
4. Deshko V.I., Bilous I.Yu. Mathematical Models for Determination of Specific Energy Need for Heating and Cooling of the Administrative Building. International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7 (4.3). P. 325-330.
5. V.I. Deshko, N.A. Buyak, I.O. Sukhodub. Influence of Subjective and Objective Thermal Comfort Parameters on Building Primary Fuel Energy Consumption. International Journal of Engineering & Technology. 7 (4.3) (2018) 383-386.
6. Olegs Linkevics, Anatolijs Mahnitko, Anatoly Zamulko, Valeriy Deshko and D.S. Karpenko. Evaluation of the district heating market efficiency as the function of its size and number of competing suppliers // 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). November 14-16, 2018.
7. Stepanets O. The analysis of influence of technical features implementation pid-regulator on the automatic control system dynamics / O. Stepanets, Yu. Mariiash // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2018. -№3/2(93). – pp. 60-69.
8. Voloschuk V.A. Advanced exergetic analysis of a heat pump providing space heating in built environment / Voloschuk V.A. // Energetika. – 2017. – 63 (3). - pp. 83-92

**Статті у закордонних журналах:**

1. Deshko V., Goncharuk S., Bilous I., Gurska Y. Buildings energy performance integrated research // The scientific heritage – 2017. – No 9 (9) P.1. – p. 63-68
2. Deshko V., Sukhodub I., Bilous I. Mathematical models for determination of energy need for heating. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2017. No.2. Pp. 45-51.
3. Deshko V., Sukhodub I., Yatsenko O. Comparison of building energy consumption by instrumental and calculation approaches. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2017. No.2. Pp. 74-80.
4. Deshko V., Sukhodub I., Phuc N. V. Determination of shortcuts in ventilation units with energy recovery. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2017. No.3. Pp. 150-157.
5. Deshko V., Buyak N. Building heating source choice using exergoeconomic approach. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2018. No.1. Pp. 150-157.
6. Deshko V., Sukhodub I., Bilous I. Mathematical models for determination of specific energy need for heating used in Ukraine. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2018. Vol. 1. P. 13-25.

7. Dешко V., Sukhodub I., Yatsenko O. Building thermal state and technical systems dynamic modeling. *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)*. 2018. Vol. 1. P. 36-46.
8. Stepanets O. Dispatching and digital solutions as a concept of urban infrastructure in a smart city / O. V. Stepanets, K. N. Nikolaieva, S. V. Lubitskyi, D. A. Kondratenko, D. A. Poputnikov // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. - 2018. – VI (18), Issue 158. – Pp. 76-80.
9. Степанець О.В. Огляд сучасних тенденцій імплементації енергозберігаючих рішень на прикладі теплопостачання інтелектуальних будівель / О.В. Степанець, К.А. Ніколаєва // *Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum* – 2017. – №7(43). – С. 54-61.
10. Саков Р.П. Вибір оптимальної моделі контролю доступу для SCADA-системи водогрійного котла / Р.П. Саков, Шулепа А.М. // *Nauka i Studia*. – 2017. - NR 8 (169) 2017. – 45-49 p. - ISSN 1561-6894.

**Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:**

1. Дешко В.І. Дослідження підходів до визначення теплового навантаження системи опалення / В.І. Дешко, І.О. Суходуб, О.І. Яценко // *Енергетика: економіка, технології, екологія* – 2017. – №2 – с. 52-60.
2. Дешко В.І., Замулко В.І., Карпенко Д.С., Оцінка ефективності функціонування локального ринку теплової енергії. *Проблеми загальної енергетики* 3 (50), 2017, С. 41-49.
3. Голінко І.М. Динамічна модель теплообміну для водяного калорифера у просторі станів / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // *Інформаційні системи, механіка та керування* – 2017. - № 15. - С.16-24
4. Волощук В.А. Поглиблений ексергетичний аналіз теплонасосної установки з проміжним теплообмінником утилізації енергії стічних вод / А.В. Волощук // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 11(1287). – С. 88–92.
5. Волощук В.А. Ексергоекономічний аналіз централізованої системи теплозабезпечення міського району / А.В. Волощук, О.Є. Никифорович // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. – Рівне, 2017. – Випуск 2(78). – С.42–52.
6. Новіков П.В. Fuzzy-контролер підтримання мікроклімату в приміщенні за значеннями індексу дискомфорту / П.В. Новіков, О.В. Степанець, Р.П. Саков // *Automation of Technological and Business Processes*.– 2017. – №9(4), с. 76-83.
7. Голінко І.М. Синтез оптимального цифрового регулятора для стохастичного об'єкта керування / І.М. Голінко // *Інформаційні системи, механіка та керування*. – 2017. № 16, С. 155–163.
8. Голінко І.М. Процедура синтезу багатовимірного регулятора для прецизійного кондиціонера із паровим зволожувачем / І.М. Голінко, І.Є. Галицька // *Інформаційні системи, механіка та керування*. – 2017. № 17, С. 80–89.
9. Шовкалюк М.М. Зіменко С.В. Аналіз тепловтрат через огороження з урахуванням різних методів оцінки теплозахисних властивостей // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2017. - №4 – с.73-83.
10. Басок Б.І., Дешко В.І., Гончарук С.М., Білоус І.Ю. Вплив сонячної радіації на тепловий стан будівлі. *Промислова теплоенергетика*. 2017. №7. С. 49.
11. Дешко В.І. Бази кліматології для визначення енергетичних характеристик будівель / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Г.О. Гетманчук // *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія»*. Випуск №4 Київ 2017. С 67-73.
12. Євтухов В.Я. Досвід реалізації комплексного проекту підвищення енергоефективності будівель соціальної сфери / Євтухов В.Я., Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. // *Новини енергетики*. – 2018. – №2. – с.7-15

13. Євтухов В.Я. Інформаційна та мотиваційна складові системи енергетичного менеджменту об'єктів галузі освіти / Євтухов В.Я., Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. // Новини енергетики. – 2018. – № 5. – с.10-23
  14. Шовкалюк М.М., Зіменко С.В. Використання моделювання під час енергетичних аудитів будівель / Молодий вчений. – 2018. - №8(60). – с. 344-352.
  15. Степанець О.В. Інтеграція технології Z-Wave в інформаційний простір промислової автоматизації за допомогою OPC UA / О.В. Степанець, Піргач В.Є. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки – 2018. – Т.29(68). – №3. – Ч.2. – С. 1-7.
  16. Піргач, Ю. С. Метод оптимізації "Grey Wolf" в задачах автоматизації систем вентиляції чистих приміщень / Ю. С. Піргач, А. В. Степанець // Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 37-44.
  17. Степанець О.В. Автоналаштування ПІД-регулятора на мінімум інтегрального зваженого в часі модульного критерію якості роботи / О.В. Степанець, Маріяш Ю.І. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки – 2018. – Т.29(68). – №1. – С. 31-36.
- 13. Надати ключові слова до розробки:** ринок теплової енергії, теплоспоживання, енергетичне моделювання будівель, енергоефективність будівель, тепловий комфорт, автоматизована система управління.