

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№ 3 – 2016

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія

Науковий журнал

№ 3 (45) - 2016

Виходить 4 рази на рік
Заснований у березні 2000 року

Лібералізовані ринки енергії
Енергетична ефективність та енергозбереження
Енергетичні системи та комплекси
Технології та обладнання в енергетиці
Системні еколого-енергетичні дослідження

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2016

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники

головного редактора – С.П. Денисюк, О.С. Яндульський, Є.М. Письменний

Відповідальний секретар – О.О. Закладний

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: А.О. Авраменко, Б.І. Басок, О.Ф. Буткевич, О.О. Вовк,
(Україна) А.В. Волошко, Г.О. Воропаєв, В.І. Дешко, В.Я. Жуйков,
С.О. Кудря, А.В. Носовський, М.Я. Островерхов,
С.М. Пересада, В.А. Попов, К.К. Ткачук, В.О. Туз,
О.Ю. Черноусенко, С.П. Шевчук, В.Ф. Шинкаренко

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Ричард Стржелецькі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), П.Я. Екель (*Папський католицький університет Мінас Жерайс, Бразилія*), А.В. Кузнецов (*Університет штату Північна Кароліна, США*), В.І. Олещук (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*), О.В. Кузнецов (*Університет прикладних наук, Німеччина*), Карлос Ф. Пфайфер (*Університетський коледж Південно-Східної Норвегії*), А. Башкіс (*Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва*), Опітс Йоахім (*Інститут енергетики м. Хамм, Німеччина*), В.І. Олещук (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*), В.М. Постолатий (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*)

Технічний секретар Н.О. Кравчук.

Веб-сайт журналу <http://energy.kpi.ua>

Журнал зареєстровано Реєстраційний номер свідоцтва про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 4135 від 30.03.2000р.

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до Постанови Президії ВАК України від 1 липня 2010р. № 1-05/5. Журнал включено до баз даних «Наукова періодика України» НБУВ, Google Scholar, WorldCat, BASE, OpenAIRE, РІНЦ, Джерело, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, електронного архіву наукових матеріалів ELAKPI. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (протокол № 12 від 5 грудня 2016 р.).

Коректор В.Г. Смоляр.

Комп'ютерна верстка П.О. Замковий. Відповідальний за випуск видання Н.О.Кравчук.

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Адреса редакції 03056, Україна, м.Київ, вул.Борщагівська, 115, к.315,
тел. (38-044) 406-85-14, e-mail: kravkpi@ukr.net

Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського ВПІ ВПК «Політехніка»,
м.Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15.

Увага! Передрукування матеріалів іншими виданнями можливе лише з дозволу редакційної колегії журналу **ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія**

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE
“IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

POWER ENGINEERING

economics, technique, ecology

ENERHETYKA:
ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya

The Scientific Journal

№ 3 (45) - 2016

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

Liberalized energy market
Energy efficiency and energy saving
Energy systems and complexes
Energy technologies and equipment
Environmental and energy system research

Kyiv

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

2016

<i>Editor-in-chief-</i>	Yu.I. Yakimenko
<i>Deputy editors-in-chief-</i>	S.P. Denysiuk, O.S. Yandulskyi, E.M. Pysmennyi
<i>Deputy</i>	O.O. Zakladnyi
EDITORIAL BOARD: (Ukraine)	A.O. Avramenko, B.I. Basok, O.F. Butkevych, O.O. Vovk, A.V. Voloshko, G. Voropaiev, V.I. Deshko, V.Ya. Zhuykov, S.O. Kudrya, A.V. Nosovsky, M.Ya. Ostroverkhov, S.M. Peresada, V.A. Popov, K.K. Tkachuk, V.O. Tuz, O. Yu. Chernousenko, S.P. Shevchuk, V.F. Shinkarenko
FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:	E. Handschin (<i>Institute of Power Systems and Power Economics of Dortmund Technical University, Germany</i>), Richard Strzelecki (<i>Electro technical Institute, Warsaw, Poland</i>), P.Y. Ekel (<i>Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil</i>), A.V. Kuznetsov (<i>North Caroline State University, USA</i>), V. Oleschuk (<i>Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova</i>), O. Kuznetsov (<i>University of Applied sciences, Germany</i>), Carlos F. Pfeiffer (<i>University College of Southeast Norway</i>), A. Baskys (<i>Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania</i>), Opitz H. Joachim (<i>EIH Energy Institute Hamm, Germany</i>), V. Postolati (<i>Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova</i>).
Technical secretary	N.O. Kravchuk
Website of the journal	http://energy.kpi.ua
Journal was registered	Certificate of State Registration Printed Media series KB №4135 dated 30 March 2000

The Journal was registered by HAK of Ukraine as an occupational edition. Resolution of HAK of Ukraine dated 1 July 2010 № 1-05/5. The Journal is included in databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar, WorldCat, BASE, OpenAIRE, RSCI, Djerelo, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, electronic archive of research materials ELAKPI. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (protocol № 12 on December 5, 2016).

Proofreading V.G. Smoliar.
Desktop publishing P.O. Zamkoviyy. Responsible for the publication N.O. Kravchuk.

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Address of editorial office 03056, Ukraine, Kyiv, 115 Borschagivska str., office 315
tel. (38-044) 406-85-14, e-mail: kravkpi@ukr.net
The publisher Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute IPP PPC "Politehnika",
Kyiv, 14 Polytechnique str., b. 15.

Attention! Reprint material in other publications only with the permission of editorial board of the journal **POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology**

© Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2016

ЗМІСТ

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ

- О.В. Кириленко, І.В. Блінов, С.Є. Танкевич.** Побудова бізнес-інформаційних моделей організації енергетичного менеджменту при впровадженні нової моделі ринку електроенергії України..... 7
- Г.І. Сторожилова, Я.М. Демчик.** Вплив параметрів моделі на точність прогнозування електроспоживання на об'єктах енергоринку..... 15

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

- С.П. Денисюк, О.В. Коцар, Х-Д. Хаазис, І. Довбішук.** Підвищення ефективності транспортно-логістичної галузі. Енергоефективність складських приміщень 22
- Б.І. Басок, С.М. Гончарук, О.М. Лисенко, А.О. Луїна, Л.В. Олійник.** Енергетичне обстеження будівлі та дослідження її системи теплоспоживання..... 40
- В.П. Калинин, В.П. Розен, С.П. Шевчук, А.В. Мейта.** Энергоэффективное управление мехатронным комплексом «дробилка-мельница» с использованием искусственных нейронных сетей 45

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

- В.О. Костюк, Т.М. Базюк.** Прикладні задачі застосування гібридних моделей для оптимізації локальних електропостачальних систем з власною генерацією 51
- Д.Г. Дерев'янюк, Д.С. Горенко.** Особливості побудови та функціонування віртуальних електростанцій в умовах розвитку ОЕС України 61

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

- Б.В. Циганенко, В.В. Кирик.** Метод визначення місця встановлення резервних перемичок розподільної електричної мережі..... 70
- С.В. Казанський, В.І. Моссаковський, А.В. Яковенко.** Динамічне 3D-моделювання теплового стану силових оливних трансформаторів..... 76
- Е.А. Кондратьева, Ю.Ю. Ковецкая, А.В. Кравчук, А.И. Скицко, Т.В. Сорокина.** Теплообмен при течении воды сверхкритического давления в канале с обогреваемыми стержнями в нестационарном режиме с изменением мощности..... 83

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- А.А. Маліновський, М.Й. Олійник, А.З. Музичак.** Екологічна складова термомодернізації бюджетних та житлових будинків 90
- В.І. Дешко, І.Ю. Білоус.** Моделювання режимів опалення приміщень..... 97
- Ю.В. Березовський.** Вплив нових технічних рішень на проектування екологічно безпечної продукції з використанням лляної сировини 104
- Вимоги до оформлення статей..... 114

CONTENTS

LIBERALIZED ENERGY MARKET

- O. Kyrylenko, I. Blinov, S. Tankevych.** Business information modeling of energy management when implementing the new model of electricity market in Ukraine 7
- G. Storojilova, J. Demchik.** Effect on parameters model forecasting accuracy power consumption at the facility energy market..... 15

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

- S. Denysiuk, A. Kotsar, X-D. Haasis, I. Dovbishuk.** Improving the efficiency of transport logistics. Energy warehouses 22
- B. Basok, S. Goncharuk, O. Lysenko, A. Lunina, L. Oliynyk.** Energy audit of building and research of its heat system 40
- V. Kalinchyk, V. Rozen, S. Shevchuk, O. Meyta.** Energy efficient control for mechatronic complex "shredder-mill" with artificial neural networks 45

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

- V. Kostiuk, T. Baziuk.** Applied problems of hybrid modeling applications to optimize the local electricity supply systems equipped with own generating facilities 51
- D. Derevianko, D. Horenko.** Main features of construction and operation of virtual power plants while the development of UES of Ukraine 61

ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- B. Tsyhanenko, V. Kyryk.** Method of location of establishment of reserve bridges of distributive electric network..... 70
- S. Kazanskiy, V. Mossakovskiy, A. Yakovenko.** Dynamic 3D-simulation of thermal modes of oil power transformers..... 76
- E. Kondratieva, Yu. Kovetskaya, A. Kravchuk, A. Skitsko, T. Sorokina.** Heat transfer of supercritical pressure water in the channel with heated rods in unsteady regime with change of power..... 83

ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

- A. Malinowski, M. Oliynyk, A. Muzychak.** Ecological component thermomodernization of budget and residential buildings..... 90
- V. Deshko, I. Bilous.** Modeling of heating space mode 97
- Y. Berezovsky.** The influence of new technical solutions on designing environmentally safe products by using of flax raw material..... 104

ЛІБЕРАЛІЗОВАНИ РИНКИ ЕНЕРГІЇ LIBERALIZED ENERGY MARKET

УДК 621.311

О.В. Кириленко, акад. НАН України, І.В. Блінов, канд. техн. наук, С.Є. Танкевич, канд. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України

ПОБУДОВА БІЗНЕС-ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ НОВОЇ МОДЕЛІ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Впровадження нової моделі ринку електроенергії в Україні потребує розв'язання низки техніко-економічних та технологічних задач. Важливою передумовою для цього є організація інформаційного обміну даними та документами між учасниками нової моделі ринку. Для його організації необхідно визначити основні нормативні та керівні документи у цій сфері, побудувати відповідні бізнес-інформаційні моделі для розуміння всіх процесів, а також визначитись із моделлю керування даними на ринку електроенергії. Тому, в статті проаналізовано та визначено низку нормативних та керуючих документів, що є необхідними для реалізації та опису інформаційного обміну на ринку електроенергії. Визначені основні принципи побудови сучасних бізнес-інформаційних моделей, наведено конкретні приклади їх побудови. Досліджені та проаналізовані основні можливі моделі керування даними на ринку електроенергії та запропоновано найбільш прийнятний та перспективний варіант з урахуванням особливостей української моделі ринку електроенергії. Бібл. 34, рис. 5.

Ключові слова: ринок електроенергії, бізнес-інформаційні моделі, інформаційний обмін, керування даними.

Вступ. Важливою передумовою впровадження нової моделі ринку електроенергії в Україні є забезпечення організації енергетичного менеджменту та впровадження автоматизованих систем керування нових сегментів ринку електроенергії, таких як ринок двосторонніх договорів, ринок на добу наперед, балансуючий ринок. Функціонування нової моделі ринку неможливе без впровадження систем урегулювання небалансів учасників ринку та комерційного обліку електроенергії. Вочевидь, що запровадження таких систем потребує нормативного врегулювання питань організації інформаційного обміну електронними даними та документами на ринку електроенергії України, що здійснюється з метою забезпечення розрахунків (ведення торговельних, технологічних та бізнес-операцій). Це, в свою чергу, обумовлює необхідність розробки сучасних принципів інформаційного обміну та нових бізнес-інформаційних моделей, що потребують впровадження міжнародних нормативних документів, а також адаптації документів, які діють в Європейському енергетичному секторі, з метою врахування особливостей функціонування ринку електроенергії України.

Метою статті є визначення вимог до реалізації інформаційного обміну на ринку електроенергії України на основі формування принципів побудови сучасних бізнес-інформаційних моделей, визначення основних керівних та нормативних документів з організації інформаційного обміну, а також дослідження та вибору моделі керування даними на ринку при впровадженні нової моделі ринку електроенергії України.

Стандартизація у сфері інформаційного обміну на ринку електроенергії. Загальні положення з організації інформаційного обміну електронним даними та документами на ринку електроенергії України на основі яких має бути побудовано сучасні принципи інформаційного обміну та побудовані бізнес-інформаційні моделі взаємодії учасників ринку електроенергії України мають базуватися на рекомендаціях стандартів та технічних специфікаціях Міжнародної електротехнічної комісії. Зокрема, мова йде про багаточастинний стандарт IEC 62325 [1]. Окремі частини цього нормативного документу прийняті в Україні як національні й містять технологічно незалежні загальні рекомендації, що застосовуються для електронного бізнесу на енергетичних ринках, організація якого базується на Інтернет-технологіях. До основних питань, що висвітлені в стандарті відносяться: опис специфічного оточення енергетичного ринку; опис специфічних вимог енергетичного ринку до електронного бізнесу; приклад структури енергетичного ринку; введення до методології моделювання; приклади конфігурації комунікаційних мереж; загальну оцінку безпеки комунікацій.

Зазначена серія стандартів охоплює особливості побудови архітектури систем електронного бізнесу на ринку електроенергії та використання телекомунікаційних мереж, а також визначає основні бізнес-сфери, процеси в межах цих сфер та ролі залучених учасників ринку. Інформаційні системи забезпечення технічних процесів виробництва, передачі та розподілу електроенергії мають надавати можливість підтримувати ринкові транзакції та гарантувати надійну та безпечну роботу енергосистеми, включаючи обмін енергією, балансування виробництва і навантаження в режимі реального часу. Інформаційні системи, що реалізують та підтримують виконання бізнес-процесів на ринку, мають тісно взаємодіяти з технічними системами. Зазначимо, що інтеграція прикладних задач на рівні центрів керування має будуватися на основі стандартів [2 - 5].

Основні принципи побудови та вимоги до бізнес-інформаційних моделей. Впровадження електронного бізнесу на енергетичному ринку потребує забезпечення загального розуміння учасників ринку про правове регулювання, вимоги, бізнес-правила та бізнес-процеси. При цьому побудова бізнес-інформаційних моделей та опис бізнес-процесів має містити ідентифікацію та визначення ролей учасників ринку, бізнес-сфер, бізнес-процесів у бізнес-сферах, бізнес-взаємодій та бізнес-транзакції, інформацію про послуги, необхідні для електронного бізнесу. Це загальне розуміння має бути відображене у вигляді бізнес-інформаційних моделей окремих сегментів ринку з використанням формалізованої методології моделювання електронного бізнесу, яка є, або має бути незалежною від існуючої комунікаційної технології електронного бізнесу.

Відповідно до вимог багаточастинного стандарту IEC 62325, на ринку електроенергії України має використовуватися UMM (методологія моделювання UN/CEFACT) [6] для опису Представлення бізнес-операцій (Business Operational View - BOV) ISO/IEC 14662 стандарту еталонної моделі відкритого електронного обміну даними. Таку методологію слід використовувати з ebXML – технологією побудови електронного бізнесу.

З урахуванням процесів гармонізації моделей функціонування ринків електроенергії в Європі та Світі необхідною є формалізація моделі ринку електроенергії України відповідно до ebIX UML Моделі Європейського енергетичного ринку – [7; 8]. Основні бізнес-сфери та бізнес-процеси на ринку електроенергії України мають бути гармонізовані із європейською моделлю ринку електроенергії та відповідати рекомендаціям стандарту IEC 62325, в якому визначаються бізнес-сфери, процеси в межах цих сфер та ролі залучених учасників ринку.

Побудова такої моделі дозволяє проаналізувати існуючі в Україні та Європі ролі та області ринку електроенергії та гармонізувати поняття, що використовуються в Україні із загальноживаними в Європі. Крім того, така модель є своєрідним путівником користувача ринку, що є зрозумілим описом моделі ринку, який містить текстовий опис моделі, таблиці, малюнки і графіки, а також може містити загальний опис нормативно-правової бази.

Розглянемо основні складові побудови бізнес-інформаційної моделі визначені на основі рекомендацій стандарту IEC 62325-102, що впроваджений в Україні як національний, та регламентуючих документів ENTSO-E на прикладі сегменту ринку електроенергії «на добу наперед». На рисунку 1 наведено діаграму концептуальної схеми бізнес-інформаційної моделі ринку електроенергії «на добу наперед». В концептуальній моделі відображаються взаємодії між ринком електроенергії «на добу наперед» та ролями учасників (акторами) цього сегменту ринку, причому зазначений сегмент може розглядатися не тільки як абстрактний опис певних взаємовідносин, але також і як первинна архітектура інформаційно-технологічної системи керування роботою ринку електроенергії «на добу наперед».

Для більш детального представлення сутності ролей на рисунку 1 наведено включення одних ролей до типу інших ролей, причому направлене відношення від однієї ролі до іншої вказує на те, що кожна роль, від якої спрямовується таке відношення, включає функціональні можливості ролі, до якої спрямовується це відношення. Так, наприклад, показано, що учасниками ринку «на добу наперед» можуть бути лише учасники ринку електроенергії.

Для виділення певних областей процесів в цьому сегменті або процесів в областях процесів, відображення взаємовідносин між ролями учасників, процесами/областями процесів та їх функціями використовуються UML-діаграми варіантів використання (рис. 2). Цей тип діаграм дозволяє визначити перелік операцій, які має виконувати система керування сегментом ринку «на добу наперед», тому часто зазначений тип діаграм називають діаграмами функцій, оскільки на основі набору таких діаграм в подальшому створюється список вимог до інформаційної системи сегменту.

Слід відзначити, що для відображення зв'язку ролі з «варіантом використання» (Use case) певного процесу в UML використовуються асоціації. В діаграмах варіантів використання асоціації слугують для позначення специфіки поведінки ролі стосовно певного процесу, тобто асоціація відображає семантичні особливості взаємодії ролей учасників та процесів (в рамках області процесів) в графічній системі рольової моделі.

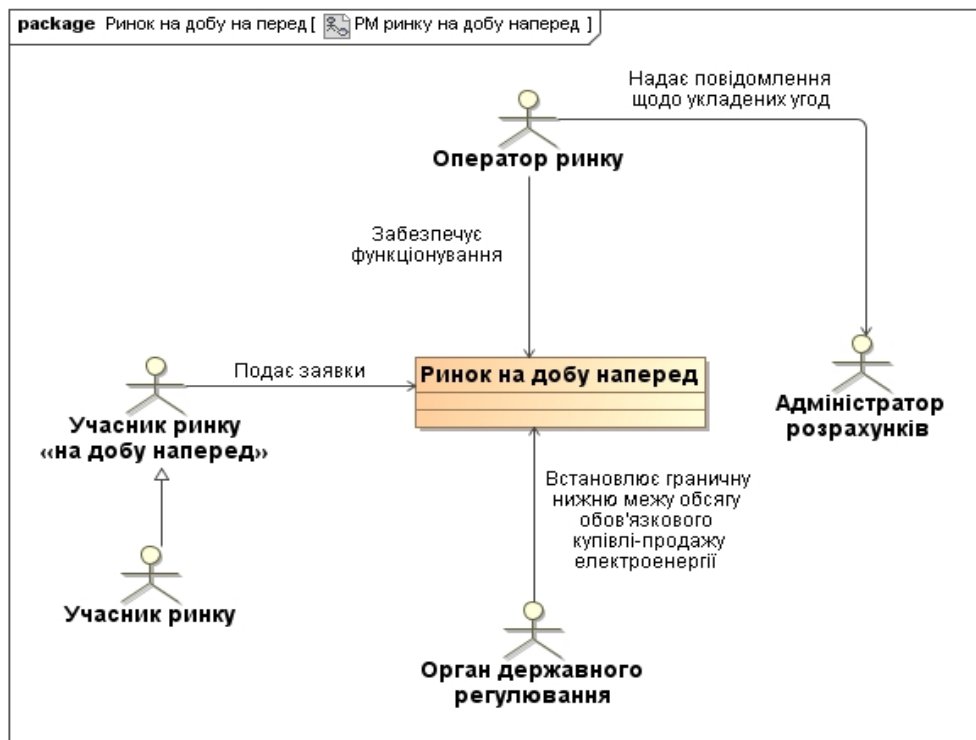


Рисунок 1 – Схема бізнес-інформаційної моделі ринку електроенергії «на добу наперед»

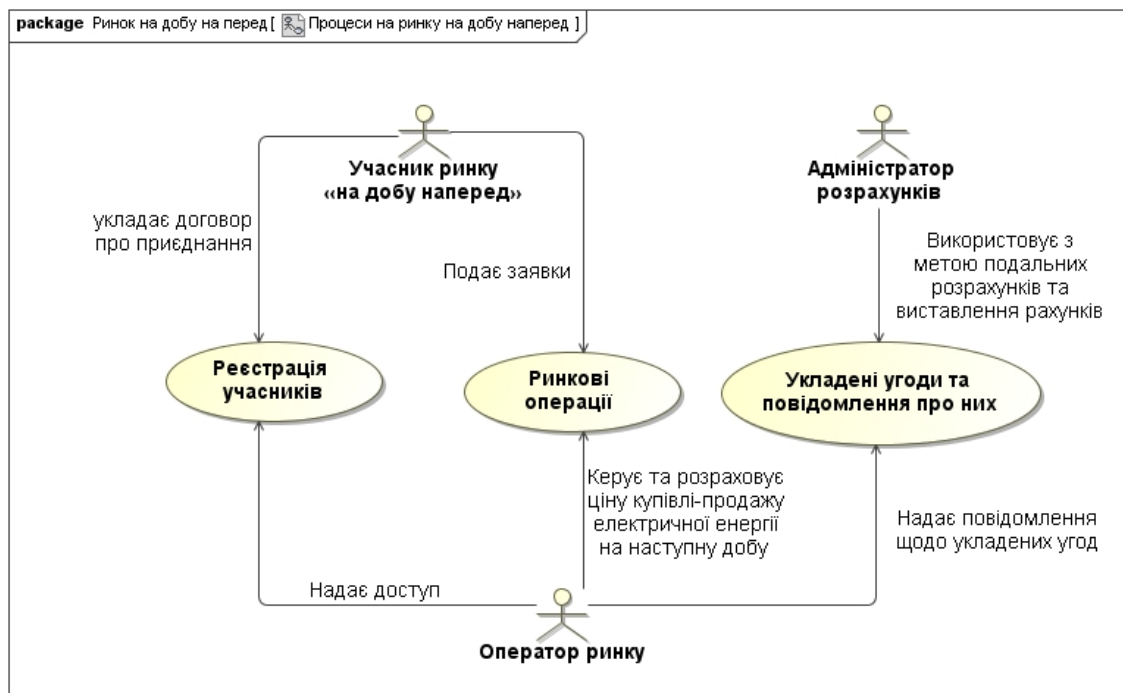


Рисунок 2 – Діаграма варіантів використання ринку «на добу наперед»

При моделюванні процесів певної області процесів виникає необхідність деталізувати особливості алгоритмічної або логічної реалізації як процесів у відповідному сегменті ринку електроенергії, так і операцій у відповідній інформаційній системі. Для цього використовуються блок-схеми або структурні схеми алгоритмів, які акцентують увагу на послідовностях виконання певних дій, та елементарних операцій, які в сукупності призводять до досягнення бажаного результату. В якості таких блок-схем та алгоритмів при побудові рольових моделей передбачено використання діаграм дій. Діаграми дій використовуються для візуалізації особливостей реалізації певних процесів та взаємодій між учасниками

ринку в середині процесів, хоча такі діаграми також доцільно використовувати при описі певних дій в області процесів на рівні з діаграмами варіантів використання. На рисунку 3 наведено діаграму дій області процесів «Реєстрація учасників ринку на добу наперед». Слід відзначити, що у процесі взаємодії між ролями генеруються події, що передаються інформаційно-технологічній системі керування сегментом та іншим ролям учасників. Такими подіями є запити на виконання певних бізнес-дій або відповіді на такі запити. У якості системи позначень до складу мови UML та методології UMM входять діаграми послідовностей дії (рис. 4), з використанням яких можна проілюструвати взаємодії між ролями та взаємодії, які при цьому ініціюються. Діаграма послідовностей дії є схемою, яка для певного «сценарію» поведінки ролей учасників в рамках області процесів відображає події, що генеруються ролями, а також їх порядок.

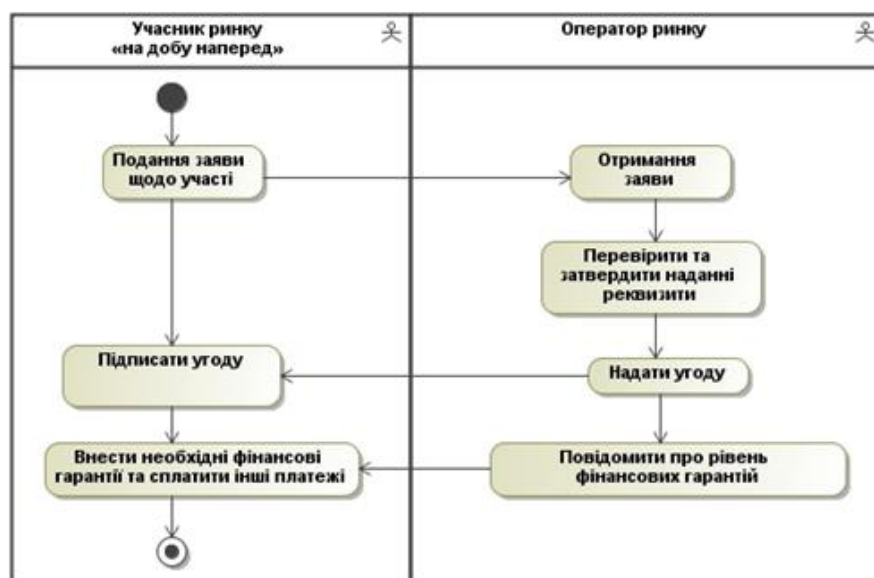


Рисунок 3 – Діаграма дій області процесів «Реєстрація учасників ринку на добу наперед»

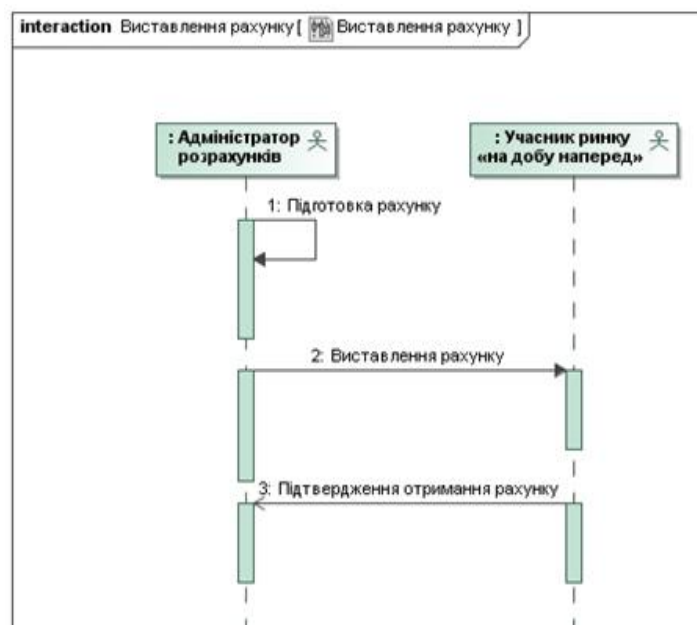


Рисунок 4 – Діаграма послідовності дій «Виставлення рахунку»

При побудові бізнес-інформаційної моделі для опису і взаємовідносин між інформаційними повідомленнями та електронного документообігу в рамках певної області процесів, сегменту або ринку електроенергії в цілому, використовують діаграми класів на основі яких будуються відповідні електронні документи, формат яких має відповідати вимогам EDIFACT [25] (UN/EDIFACT) та XML для структурованої побудови інформаційного обміну між учасниками ринку.

Для побудови комплексної системи інформаційного обміну для різних сегментів та складових нової моделі ринку електроенергії України необхідною є адаптація багатьох основних європейських регламентуючих документів та побудова на їх основі відповідних бізнес-інформаційних моделей.

Зокрема мова іде про реалізацію в Україні моделей щодо:

- зміни постачальника та переміщення користувача на ринку електроенергії;
- керування даними вимірювання;
- інформаційного обміну між учасниками ринку під час планування графіків роботи;
- інформаційного обміну між учасниками ринку під час урегулювання небалансів;
- інформаційного обміну між учасниками ринку під час розподілення пропускної спроможності.

Зазначимо, що загальний процес енергетичного менеджменту на ринку електроенергії зокрема містить такі основні етапи, як «планування» та «врегулювання небалансів». Наприклад, реалізація бізнес-інформаційних моделей з інформаційного обміну між учасниками ринку при плануванні графіків роботи має виконуватись відповідно до керівництва з впровадження системи складання графіків (ENTSO-E ESS) [9]. Зазначений документ створено з метою стандартизації інформаційного обміну між учасниками ринку на європейському внутрішньому ринку електроенергії в процесі планування. Вторинною метою цього документу є надання постачальникам програмного забезпечення порад щодо створення програм з обміну графіками між всіма задіяними учасниками ринку “на добу наперед” та внутрішньодобового ринку. Етап «врегулювання небалансів» має бути реалізований на основі керівництва з до впровадження процесів урегулювання небалансів (ENTSO-ESP) [10], який містить керівні настанови та рекомендації виробникам програмного забезпечення щодо реалізації підсистем, пов’язаних з обміном інформацією (графіки урегулювання, директиви, узагальнені дані вимірювань та звіти з небалансів і т.д.) між учасниками ринку електроенергії в процесі урегулювання небалансів.

При практичній реалізації процесів пов’язаних із розподіленням пропускної спроможності слід базуватися на процесах інформаційного обміну, визначених в керівництві по впровадженню системи ENTSO-E Capacity Allocation [11].

Нормативне регулювання в Україні питань зміни постачальника та переміщення користувача на ринку електроенергії передбачає провадження та адаптацію в Україні документів, які також базуються на методології моделювання UN/CEFACT’s, а саме:

- бізнес-вимоги для процесу зміни постачальника, бізнес-вимоги для процесу переміщення користувача [12, 13];
- бізнес-вимоги для процесу зміни сторони, відповідальної за баланс, бізнес-вимоги для процесу зміни сторони, відповідальної за дані вимірювання; бізнес-вимоги для процесу закінчення виконання функцій сторони, відповідальної за дані вимірювань [14 - 16];
- бізнес-вимоги для процесу зміни відповідального за пропускну здатність мереж [17];
- бізнес-вимоги для процесу запиту характеристик точки вимірювання, бізнес-вимоги для процесу попереднього запиту характеристик точки вимірювання, бізнес-інформаційна модель для процесу повідомлення характеристик точки вимірювання, бізнес-вимоги для процесу повідомлення характеристик точки вимірювання [18 - 21];
- бізнес-інформаційна модель для процесу зміни постачальника, бізнес-інформаційна модель для процесу закінчення постачання, бізнес-вимоги для процесу закінчення постачання [22 - 24].

В свою чергу нормативне регулювання питань управління даними вимірювань на ринку електроенергії України передбачає провадження наступних документів:

- бізнес-вимоги для процесу збору даних вимірювання, бізнес-інформаційна модель для процесу збору даних вимірювання [25, 26];
- бізнес-вимоги для процесу визначення показів лічильника, бізнес-інформаційна модель для процесу визначення показів лічильника [27, 28];
- бізнес-вимоги для процесу вимірювання з метою врегулювання небалансу, бізнес-інформаційна модель для процесу вимірювання з метою врегулювання небалансу [29, 30];
- бізнес-вимоги для процесу вимірювання з метою маркування [31];
- бізнес-вимоги для процесу вимірювання з метою узгодження небалансів, бізнес-інформаційна модель для процесу вимірювання з метою узгодження небалансів [32, 33];
- бізнес-вимоги для процесу вимірювання з метою здійснення білінгу [34].

Моделі керування даними на ринку електроенергії. Важливою складовою впровадження нової моделі ринку є дослідження та аналіз основних можливих моделей керування даними на ринку електроенергії для визначення найбільш перспективної та доцільної моделі з урахуванням поточного стану розвитку ринку електроенергії України. Керування даними включає в себе процеси отримання, валідації, зберігання, захисту, обробки та отримання як комерційних так і технологічних даних. Є декілька підходів до керування даними. В широкому розумінні, існує два підходи: децентралізований та централізований (рис. 5). В централізованому підході одна сторона є відповідальною за керування даними, що може також

збирати, зберігати, обробляти та надавати доступ до цих даних. В децентралізованому підході кілька різних сторін можуть бути включені у цей процес.

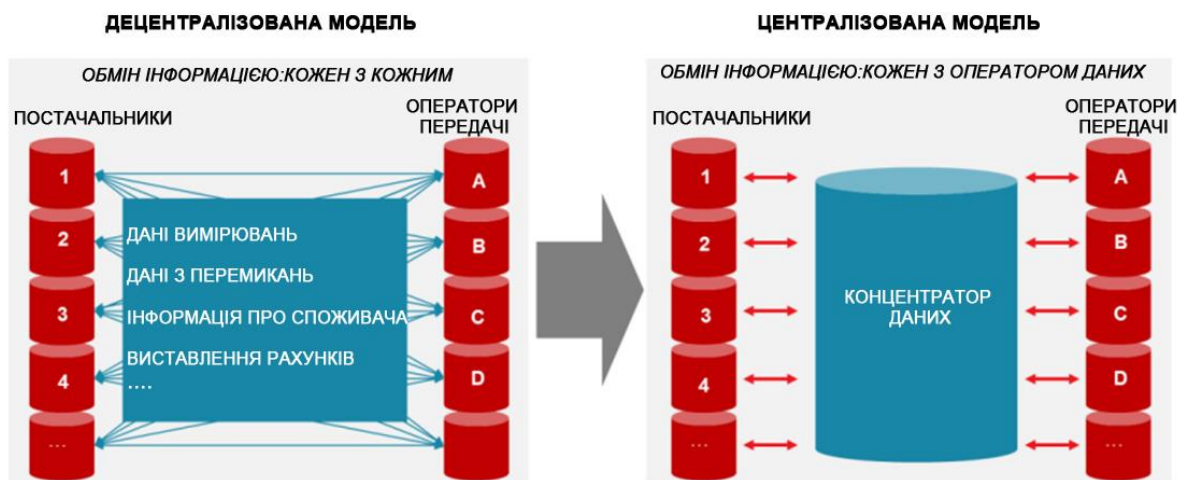


Рисунок 5 – Підходи до керування даними на ринку електроенергії

Найбільш поширений підхід, який в даний час застосовується і є перспективним поєднує в собі централізований доступ до даних разом із децентралізованим їх зберіганням. Така модель застосовується у Австрії, Бельгії, Голландії, Іспанії та у Великій Британії. Проте, такий підхід не є єдиним вірним рішенням. Наприклад, Данія та Норвегія (Nordpool) мають централізований підхід до доступу до даних та до їх зберігання.

Сьогодні розглядаються такі три основні варіанти:

- системний оператор виступає посередником на ринку та організує доступ до даних, виконуючи роль оператора даних. При цьому сховища даних знаходяться у інших сторін;
- посередником (оператором даних) на ринку є сторона (системний оператор, оператор ринку, адміністратор розрахунків, окрема організація) яка керує, як інформаційним обміном, так і центральним сховищем (концентратором) даних;
- вводяться сторони відповідальні за точки доступу до даних. В даному випадку немає центрального сховища даних, а є кілька сторін які організують зберігання та доступ до даних.

Також можуть існувати рішення, що поєднують в собі елементи цих моделей. З огляду на проведені дослідження та перспективи впровадження в Україні нової системи керування даними на ринку електроенергії визначено доцільним впровадження саме централізованої моделі в частині створення оператора даних. Перевагою централізованої моделі є полегшена верифікація та організація обміну даними, як наслідок можливість зменшення інвестиційних витрат на впровадження такої системи та спрощення реалізації такого проекту.

Висновки. Таким чином, однією з передумов впровадження в Україні нової моделі ринку електроенергії для забезпечення її ефективного функціонування є впровадження низки міжнародних стандартів, зокрема стандартів серії IEC 62325 «Інфраструктура комунікацій на енергетичному ринку», а також європейських нормативних та регламентуючих документів ENTSO-E та бізнес-інформаційних моделей eBIX, перелік більшості з яких наведено у посиланнях. Визначено, що при розробленні основних положень щодо обміну даними між учасниками ринку електроенергії доцільно базуватися на моделі реалізації обміну даними на ринку електроенергії з використанням централізованого сховища даних, що відповідає визначенням Європейською комісією основним моделям керування даними. Розробка та впровадження бізнес-інформаційних моделей дозволить, в свою чергу, створити керівні принципи та основу для забезпечення функціонування нових сегментів ринку електроенергії з урахуванням технологічних особливостей функціонування ОЕС України та правил ринку електроенергії України.

Список використаної літератури

1. Framework for energy market communications: IEC 62325. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard);
2. Telecontrol equipment and systems: IEC 60870. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard);
3. Communication networks and systems for power utility automation: IEC 61850. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard);

4. Energy management system application program interface (EMS-API): IEC 61970. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard);
5. Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management: IEC 61968. – International Electrotechnical Commission. – (International Standard);
6. ENTSO-E's Modelling Methodology (EMM). [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>;
7. ebIX UML Model for the European Energy Market. [Online] <http://www.ebix.org/dropbox/EEM2011.A.zip>;
8. Harmonised Electricity Role Model. [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>;
9. ENTSO-E Scheduling System ESS - Version 4 Release 1. [Online] https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/edi/library/schedulev4r1/documentation/urn-entsoe-eu-wgedi-ess-implementationguide-4-1.pdf;
10. ENTSO-E Settlement Process Version 1 Release 2. [Online] https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/edi/library/settlementv1r2/documentation/settlement-guide-v1r2.pdf;
11. ENTSO-E Capacity Allocation and Nomination System (ECAN). Implementation Guide // ENTSO-E. – 2011 – Version 5.0. – P. 217. [Online] https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/edi/library/ecan-v5r0/ecan-guide-v5r0.pdf;
12. ebIX Business Requirements for Change of Supplier v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Change_of_Supplier_v3r2A_20140223.pdf;
13. ebIX Business Requirements for Customer Move v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Customer_Move_v3r2A_20140223.pdf;
14. ebIX Business Requirements for Change of Balance Responsible Party v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Change_of_Balance_Responsible_Party_v3r2A_20140223.pdf;
15. ebIX Business Requirements for Change of Metered Data Responsible v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Change_of_Metered_Data_Responsible_v3r2A_20140223.pdf;
16. ebIX Business Requirements for End of Metered Data Responsible v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_End_of_Metered_Data_Responsible_v3r2A_20140223.pdf;
17. ebIX Business Requirements for Change of Transport Capacity Responsible v3r2B. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Change_of_Transport_Capacity_Responsible.pdf;
18. ebIX Business Requirements for Request MP Characteristics v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Request_MP_Characteristics_v3r2A_20140223.pdf;
19. ebIX Business Requirements for Upfront request for Metering Point Characteristics v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Upfront_request_for_Metering_Point_Characteristics_v3r2A_20140223.pdf;
20. ebIX Business Information Model for Notify MP characteristics 2011A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Information_Model_for_Notify_MP_characteristics_v3r1B_20120401_2011A.pdf;
21. ebIX Business Requirements for Notify MP Characteristics v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Notify_MP_Characteristics_v3r2A_20140223.pdf;
22. ebIX Business Information Model for Change of Supplier 2011A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Information_Model_for_Change_of_Supplier_v3r1B_20120401_2011A.pdf;
23. ebIX Business Information Model for End of supply 2011A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Information_Model_for_End_of_supply_v3r1B_20120401_2011A.pdf;
24. ebIX Business Requirements for End of supply v3r2A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_End_of_supply_v3r2A_20140223.pdf;
25. ebIX Business Requirements for Measure Collected Data 2r0E. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Measure_Collected_Data_2r0E.pdf;
26. ebIX Business Information Model for Measure Collected Data 2011.A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebix_business_information_model_for_measure_collected_data_2011.a.pdf;
27. ebIX Business Requirements for Measure Determine Meter Read 2.0.B. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebix_business_requirements_for_measure_determine_meter_read_2.0.b.pdf;

28. ebIX Business information Model for Measure Determine Meter Read 2011.A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebix_business_information_model_for_measure_determine_meter_read_2011.a.pdf;

29. ebIX Business Requirements for Measure for Imbalance Settlement 2r0E. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Measure_for_Imbalance_Settlement_2r0E.pdf;

30. ebIX Business Information Model for Measure for Imbalance Settlement 2011.A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebix_business_information_model_for_measure_for_imbalance_settlement_2011.a.pdf;

31. ebIX Business Requirements for Measure for Labeling 1r0A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Measure_for_Labeling_1r0A.pdf;

32. ebIX Business Requirements for Measure for Reconciliation 2r0C. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Measure_for_Reconciliation_2r0C.pdf;

33. ebIX Business Information Model for Measure for Reconciliation 2011.A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Information_Model_for_Measure_for_Reconciliation_2011.A.pdf;

34. ebIX Business Requirements for Measure for Billing 2r0A. [Online] http://www.ebix.org/dropbox/ebIX_Business_Requirements_for_Measure_for_Billing_2r0A.pdf;

O. Kyrylenko, I. Blinov, S. Tankevych

**Institute of Electrodynamics of National Academy of Science of Ukraine
BUSINESS INFORMATION MODELING OF ENERGY MANAGEMENT WHEN IMPLEMENTING
THE NEW MODEL OF ELECTRICITY MARKET IN UKRAINE**

It is necessary to solve a number of technical, economic and technological problems for the implementation of a new model of the electricity market in Ukraine. An important prerequisite for this is the exchange of data and documents among participants of the new market model. For its organization it is necessary to define the basic regulations and guidelines in this area, build relevant business information models for understanding of all the processes and determine the model of data management in the electricity market. Therefore, in the article a number of regulations and control of documents that are necessary for implementation and describing of the information exchange in the electricity market are analyzed and identified. The basic principles of modern business information modeling are defined, and exact examples of their construction are described. The most appropriate and promising model of data management is proposed which allowing for the Ukrainian electricity market model. References 34, figure 5.

Key words: electricity market, business information model, information exchange, data management.

УДК 621.311

А.В. Кириленко, акад. НАН Украины, **И.В. Блинов**, канд. техн. наук, **С.Е. Танкевич**, канд. техн. наук

**Институт электродинамики НАН Украины
ПОСТРОЕНИЕ БИЗНЕС-ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВОЙ МОДЕЛИ РЫНКА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ УКРАИНЫ**

Внедрение новой модели рынка электроэнергии в Украине требует решения ряда технико-экономических и технологических задач. Важной предпосылкой для этого является организация информационного обмена данными и документами между участниками новой модели рынка. Для его организации необходимо определить основные нормативные и руководящие документы в этой сфере, построить соответствующие бизнес-информационные модели для понимания всех процессов, а также определиться с моделью управления данными на рынке электроэнергии. Поэтому, в статье проанализирован и определен список нормативных и руководящих документов, которые необходимы для реализации и описания информационного обмена на рынке электроэнергии. Определены основные принципы построения современных бизнес-информационных моделей, приведены конкретные примеры их построения. Исследованы и проанализированы основные возможные модели управления данными на рынке электроэнергии и предложен наиболее приемлемый и перспективный вариант с учетом особенностей украинской модели рынка электроэнергии. Библ. 34, рис. 5.

Ключевые слова: рынок электроэнергии, бизнес-информационные модели, информационный обмен, управление данными.

Надійшла 17.10.2016

Received 17.10.2016

Г.І. Сторожилова, канд. техн. наук, доц., Я.М. Демчик, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ТОЧНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ЕНЕРГОРИНКУ

В роботі розглянуто, яким чином параметри методів прогнозування впливають на подальший прогноз електроспоживання. В процесі дослідження використано модель експоненціального згладжування першого порядку, модель Хольта, модель Вінтера та модель Бокса-Дженкінса. Застосовані методи вибору параметрів, які впливають на прогнозування, дозволили зробити висновки щодо поведінки точності прогнозування в залежності від параметрів моделей. Стаття може суттєво вплинути на правильність вибору як параметрів моделей, так і методу прогнозування електричної енергії. Дослідження дозволить у виробничому процесі здійснювати прогноз електроспоживання промислових об'єктів.

Ключові слова: експоненціальне згладжування, модель Бокса-Дженкінса, модель Хольта, модель Вінтера, коефіцієнт згладжування, тренда, сезонності, параметри моделі.

Вступ. Суттєвий вплив на величину спожитої електроенергії має структура конкретного підприємства, особливості його роботи та одним із важливих методів є вибір методу прогнозування. Для точності визначення прогнозних величин електричної енергії потрібно правильно вибирати метод прогнозування та коефіцієнти, які впливають на подальшу точність прогнозування електричного споживання. Управління електроенергетикою промислових підприємств є важливим як для виробника електричної енергії, так і для її споживача [1, 2]. Для виробництва електроенергії прогнозування електроспоживання є суттєвим для вирішення задач оптимізації поставки і резервування електроенергії, проведення профілактичних робіт і забезпечення безпеки функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС). Споживачу прогноз важливий для зниження похибки і зменшення ціни з оплати штрафів у разі перевищення лімітів по потужності і з переплатою за заявлену і не використану потужність, а також з невикористанням технологічного обладнання в випадку дефіциту потужності в ЕЕС [1]. У зв'язку з цим за тривалий час в енергетичній сфері було створено велику кількість методів прогнозування електроспоживання [3-5]. Більшість методів прогнозування можна використовувати для короткострокового та середньострокового періоду прогнозування (дні, тижні та місяці). Таким чином, розглядаються такі проблеми: по-перше, чи можливо за допомогою відомих методів описати статистичний ряд і з прогнозувати його з заданою точністю; по-друге, якщо використані методи прогнозування дають хороший прогноз, встановити вплив коефіцієнтів на точність прогнозування; по-третє, показати на прикладі практичні результати дослідження [6]. В якості методів дослідження було вибрано модифікації методу експоненціального згладжування та методу Бокса-Дженкінса, а в якості методів вибору коефіцієнтів було вибрано методи оптимізації: випадкового пошуку та метод покоординатного спуску.

Постановка проблеми. Збільшення точності прогнозування електроспоживання на об'єктах енергоринку в залежності від методу прогнозування та їх коефіцієнтів. Зниження похибки при прогнозуванні електроенергії за рахунок дослідження закономірності при виборі методу розрахунку коефіцієнтів згладжування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням прогнозування електроспоживання об'єктів енергоринку займалися такі провідні українські вчені, як П.О. Черненко, А.В. Праховник, В.П. Розен, М.М. Кулик. Серед іноземних дослідників теоретичними та практичними питаннями енергетичного прогнозування Й. Дікман, Й. Хорн, М.В. Кондрашова, В.М. Васильєв. Дослідження вищеперелічених вчених створили умови для подальшої роботи над удосконаленням методів прогнозування. В статті [7] розглянуто методи експоненціального згладжування та його модифікації, і зроблено висновок, яким чином поводить себе прогноз у залежності від методу прогнозування та коефіцієнту згладжування. В статті [6] також проведено порівняльний аналіз методів Бокса-Дженкінса та експоненціального згладжування.

Мета дослідження. Метою проведених досліджень є розробка початкових умов, за яких вибір методу прогнозування та коефіцієнту згладжування буде скорочений в часі за рахунок зведених таблиць, в яких показано залежність точності, та зменшення похибки прогнозування.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Експоненціальне згладжування.

Метод є простим варіантом самонавчальної моделі. Обчислення виконуються ітеративно.

Експоненціальне згладжування ряду здійснюється за рекурентною формулою[7]:

$$S_t = \alpha x_{t-1} + (1 - \alpha) S_{t-1}, \quad (1)$$

де, $0 < \alpha < 1$ параметр згладжування.

Експоненціальну середню S_t можна виразити через значення часового ряду.

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) (\alpha x_{t-1} + (1 - \alpha) S_{t-2}) = \alpha \sum_{i=0}^{t-1} (1 - \alpha)^i x_{t-i} + (1 - \alpha)^t S_0, \quad (2)$$

Якщо горизонт прогнозування d дуже великий то для розв'язання задачі прогнозування вибираємо модель Брауна [11]:

$$\hat{y}_{t+d} = \alpha x_t + (1 - \alpha) \hat{y}_{t-1}, \quad (3)$$

Модель Хольта або експоненціального згладжування з лінійним трендом – родоначальник методів адаптивного прогнозування [7]:

$$\hat{y}'_{t+d} = a_t + d b_{t-1}, \quad (4)$$

де, a_t – прогноз, очищений від тренда; b_t – параметр лінійного тренда.

$$a_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) (a_{t-1} - b_{t-1}), \quad (5)$$

$$b_t = \beta (a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta) b_{t-1}, \quad (6)$$

Модель Хольта-Вінтера або метод Вінтера, [7]:

Розрахунок експоненціально згладженого ряду:

$$L_t = \alpha Y_t / S_{t-s} + (1 + \alpha) (L_{t-1} + T_{t-1}), \quad (7)$$

Визначення значення тренда:

$$T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1}, \quad (8)$$

Оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma Y_t / L_t + (1 - \gamma) S_{t-s}, \quad (9)$$

Проводиться прогноз:

$$Y_{t-p} = (L_{t+p} + p T_t) S_{t-s+p}, \quad (10)$$

де, L_t – згладжувана величина на момент розрахунку; α – коефіцієнт згладжування ряду; S_{t-s} – коефіцієнт сезонності попереднього ряду; Y_t – значення періода; L_{t-1} – згладжування величина за попередній період; T_{t-1} – значення тренда за попередній період; T_t – значення тренда на момент розрахунку;

β – коефіцієнт згладжування тренда; S_t – коефіцієнт сезонності на момент розрахунку; γ – коефіцієнт згладжування сезонності; Y_{t-p} – прогноз по моделі Хольта-Вінтерса на p періодів вперед; p – порядковий номер на який робимо прогноз; S_{t-s+p} – коефіцієнт сезонності за цей же період в останньому сезоні.

Таким чином, з одної сторони, потрібно збільшувати статистичний ряд та більш правильно вибирати коефіцієнти згладжування. Таким чином пошук компромісних значень α , β , γ складає задачу оптимізації моделі. Однією з важливих складових являється вибір коефіцієнта який впливає на похибку прогнозування і в подальшому на точність прогнозу.

Метод випадкового пошуку ефективний із використанням ЕОМ для розв'язання задач оптимізації.

В основу методу покладено генерування випадкових чисел, які мають рівномірний розподіл в інтервалі $[0, 1]$. Випадкові числа отримані на ЕОМ називаються псевдовипадковими числами.

Генерують числа α , β , γ , від 0 до 1. Визначають модельні значення:

Серед множини значень коефіцієнтів знаходять рішення α , β , γ за якими функція цілі приймає високу точність значення.

Розглянемо метод нульового порядку, що знайшов широке використання в автоматизованих системах керування – метод покоординатного спуску. Відповідно до цього методу напрямком спуску вибирають паралельно координатним осям. Спочатку роблять спуск уздовж осі α , потім – уздовж осі β , і т.д. аж до осі γ .

Позначимо через l_i вектор, у якого всі компоненти крім i -го є нульовими. Нехай $x_j^{(0)}$ – початкова точка і a – довжина кроку. Обчислюємо значення функції $F(x)$ за формулою $x_j = x_j^{(0)} + a l_1$, і перевіряємо виконання нерівності:

$$F(x_j^{(0)} + a l_2) < F(x_j^{(0)}), \quad (11)$$

яка може бути представленою та іншим чином:

$$F(\alpha^{(0)} + a, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}) < F(\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо умова (11) виконується, тобто значення цільової функції зменшилося, то вважають крок успішним і приймаємо:

$$x_j^{(1)} = x_j^{(0)} + a l_1 = (\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо умова (11) не виконується, то здійснюємо крок у протилежному напрямку, тобто перевіряємо умову:

$$F(x_j^{(0)} - a l_1) < F(x_j^{(0)}). \quad (12)$$

У випадку виконання умови (2.3) вважають, що:

$$x_j^{(1)} = x_j^{(0)} - a l_1 = (\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо ж обидві умови (11) і (12) не виконуються, то вважають $x_j^{(1)} = x_j^{(2)}$

Другий крок виконуємо аналогічним чином, але вздовж осі β . У результаті перегляду всіх n координатних осей буде визначена точка $x_j^{(k)}$. На цьому завершується перший цикл перегляду змінних (перша ітерація). Якщо на кожному кроці жодна з умов виду (11) чи (12) не виконувалася, то варто зменшити довжину кроку і здійснити наступну ітерацію за новим значенням довжини кроку.

Звичайно ітераційний процес продовжують доти, поки не буде виконана умова:

$$\left| F(x_j^{(k+1)}) - F(x_j^{(k)}) \right| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

де ε – додатне число, що характеризує точність розв'язання, величина якого задається на початку розрахунків.

Необхідно відзначити, що ознакою завершення розрахунків може бути не лише умова (13). У тому випадку, якщо по змісту розв'язуваної задачі змінювати довжину кроку a не можна, то ознакою зупинки на деякому циклі перегляду може бути і умова $x_j^{(n)} = x_j^{(0)}$.

Існує кілька модифікацій методу покоординатного спуска. Одна з них полягає в наступному.

Метод покоординатного спуска застосовується й у тому випадку, якщо на змінні накладаються обмеження типу $x_j \geq b_i$ чи $x_j \leq b_i$. Перевірка дотримання останніх легко реалізується на довільному кроці оптимізації.

Процес розв'язання задачі на основі методу покоординатного спуска, з довжиною кроку $a = 0,1$, крім значень змінних на кожному кроці оптимізації наводиться інформація про відповідні значення цільової функції втрат $F(x_j^{(k)})$, а також про результативність кроку (успішний – "+" чи не успішний – "-").

Метод Бокса-Дженкінса.

ARIMA або модель Бокса-Дженкінса – інтегрована модель авторегресії – змінного середнього модель і методологія аналізу часового ряду. Являється розширенням моделей ARMA для нестационарних часових рядів, які можна зробити стаціонарним взяттям різниці деякого порядку від вихідного часового ряду. Модель ARIMA (p, d, q) означає, що різниці часового ряду порядку d підкоряється моделі ARIMA (p, q) [10].

Модель ARIMA (p, d, q) для нестационарного часового ряду X_t має вигляд:

$$\Delta^d X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} \varepsilon_t \quad (14)$$

де ε_t – стаціонарний часовий ряд;

c, a_i, b_j – параметри моделі,

Δ^d – лператор різниці часового ряду порядку d .

Також дана модель інтерпритується як ARIMA ($p+d, q$) модель з d одиничними корнями. При $d=0$ маємо звичайні ARIMA-моделі.

Підхід ARIMA до часових рядах полягає в тому, що в першу чергу оцінюється стаціонарність ряду. Далі при необхідності ряд перетворюється взяттям різниці відповідного порядку і вже для перетвореної моделі будується деяка ARMA-модель, оскільки передбачається, що отриманий процес є стаціонарним, на відміну від вихідного нестационарного процесу.

Результати роботи В роботі розглянуто 4 методи прогнозування при яких змінювалися параметри моделей та робився аналіз даних прогнозування.

Метод простого експоненціального згладжування метод Хольта та метод Вінтера вибрано 15 найкращих результатів. Методи простого експоненціального згладжування та метод Хольта не показали результатів прогнозування з похибкою меншою ніж 30%. В таблиці 1 показано залежність коефіцієнта згладжування, коефіцієнта тренда та коефіцієнта сезонності які вибираються випадковим пошуком від похибки прогнозування. Це дало змогу досягнути похибки в 16% при параметрах коефіцієнта згладжування 0,1 коефіцієнта тренда 0,8 та коефіцієнта сезонності 1,0.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця коефіцієнтів згладжування, тренда та сезонності з похибкою (метод випадкового пошуку коефіцієнтів)

Параметри	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,9	1,0	0,2	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0	0,4	0,8	0,9
	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Похибка	0,27	0,25	0,21	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20	0,21	0,19	0,18	0,18	0,26	0,16	0,19

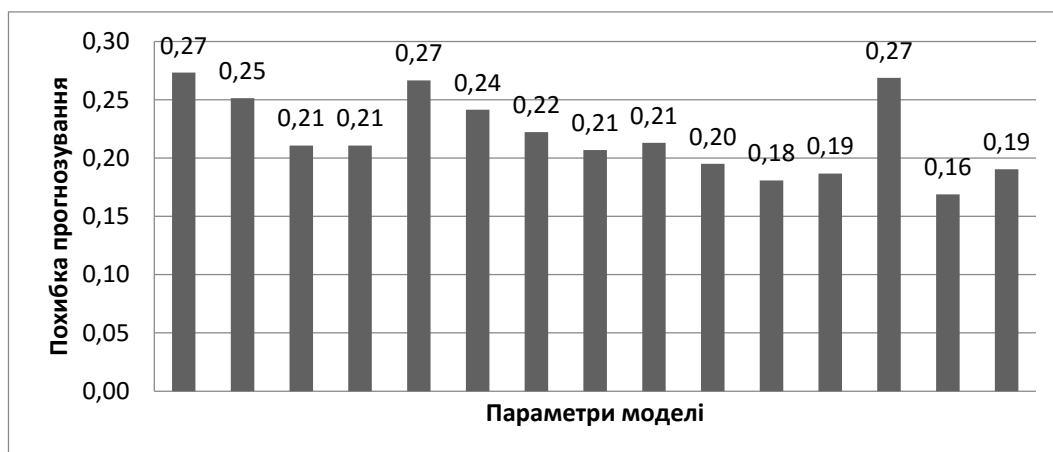


Рисунок 1 – Порівняльний графік параметрів прогнозування та похибки прогнозування потужності

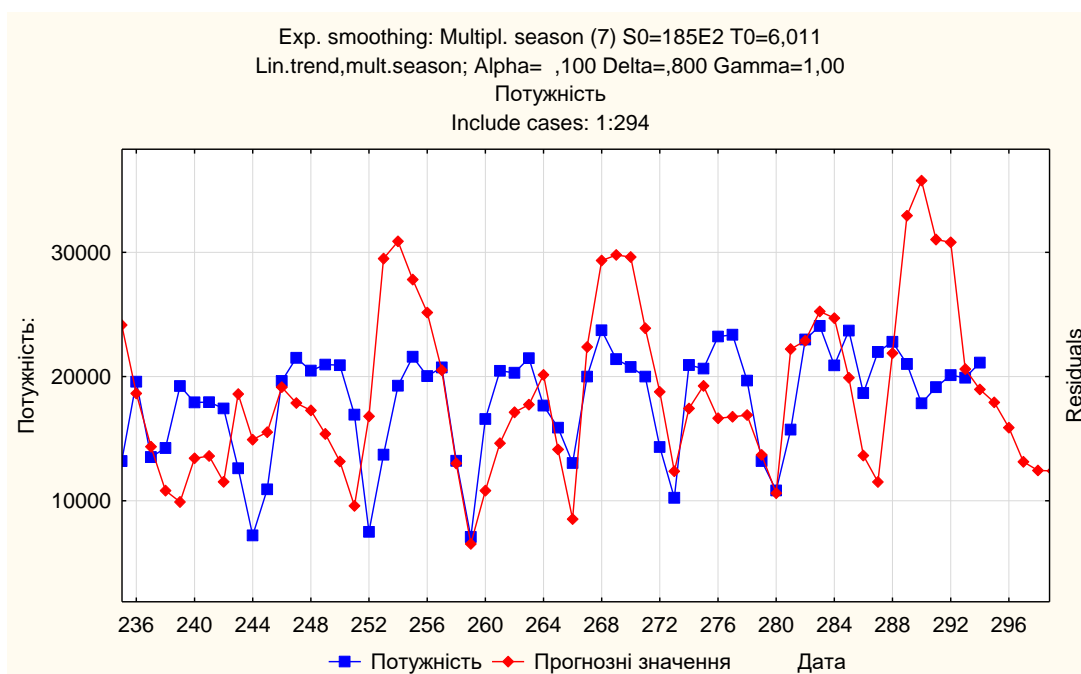


Рисунок 2 – Графік прогнозних та дійсних даних потужності

В табл. 2 показано залежність коефіцієнта згладжування, коефіцієнта тренда та коефіцієнта сезонності які вибираються випадковим пошуком від похибки прогнозування. Це дало змогу досягнути найкращої точності в 81% при параметрах коефіцієнта згладжування 0,1 коефіцієнта тренда 1,0 та коефіцієнта сезонності 0,9.

Таблиця 2. Порівняльна таблиця коефіцієнтів згладжування, тренда та сезонності з похибкою (покоординатний пошук коефіцієнтів)

Параметри моделі	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,9	1,0	0,2	0,3	0,7	0,8	1,0
	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
Похибка	0,27	0,25	0,21	0,21	0,27	0,20	0,19

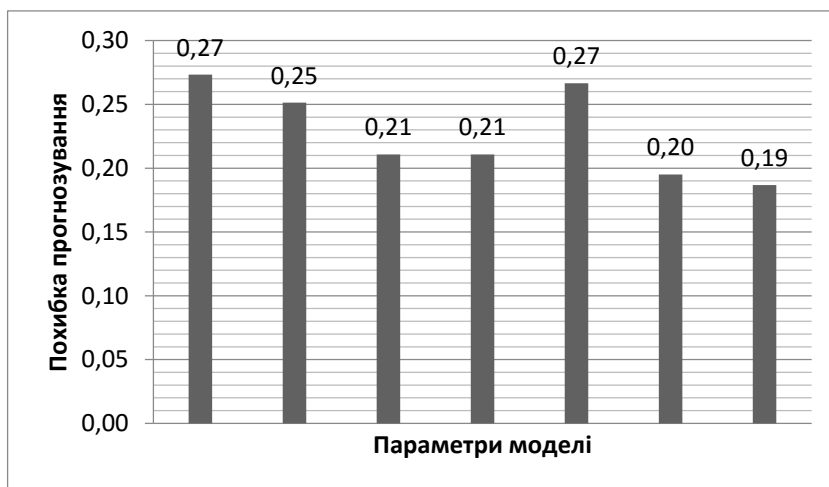


Рисунок 3 - Порівняльний графік параметрів прогнозування та похибки прогнозування потужності

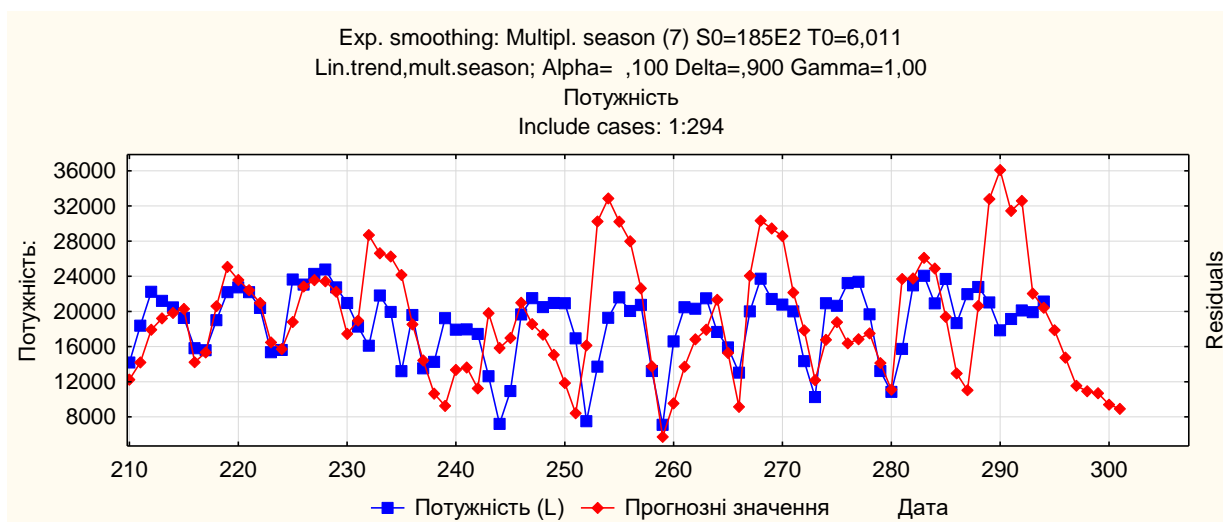


Рисунок 4 – Графік прогнозних та дійсних значень потужності

При прогнозуванні даних, модель Бокса-Дженкінса показала найкращий результат по часу та похибку прогнозування в 19%.

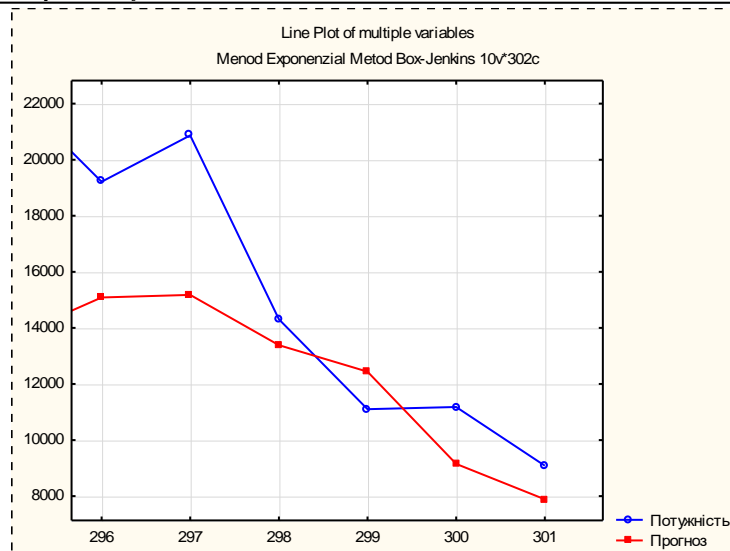


Рисунок 5 – Графік прогнозних та дійсних значень потужності

На рисунку 5 показано результати моделювання методом Бокса-Дженкінса. Аналіз графіка дозволяє зробити висновок результатами прогнозування досягнуто похибки в 19%. Але як видно з графіка прогнозних та дійсних значень модель працює з запізненням.

Висновки:

1. Дослідження показало, що моделі прогнозування дозволяють робити точний прогноз за короткий час, при цьому похибка прогнозування досягається близько 10%.
2. Методи вибору параметрів показали, що випадковий пошук дозволяє робити прогноз з високою точністю, але пошук параметрів моделей затратний в часі. При використанні методу покоординатного спуску отримуємо швидкий результат прогнозування, але при цьому точність прогнозування знижується.
3. Метод Бокса-Дженкінса дозволяє прогнозувати в короткий термін і з похибкою прогнозування близькою 19%.

Список використаної літератури

1. Прогнозирование электропотребления: современные методы и пример исследования / [Л. А. Большов, М. Ф. Каневский, Е. А. Савельева та ін.]. // Известия академии наук. Энергетика. – 2004. – №6. – С. 74–93.
2. Васильев Д. А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий / Д. А. Васильев, В. А. Иващенко. // Управление большими системами. – 2012. – №34. – С. 254–266.
3. Кулик М. М. Прогнозування графіків електричних навантажень об'єднаної енергосистеми на довгострокову перспективу / М. М. Кулик, С. В. Дубовський, П. П. Корбін. // Проблеми загальної енергетики. – 2004. – №10. – С. 7–11.
4. Арзамасцев Д. А. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес, А. Л. Мызин. – Свердловск: УПИ, 1976. – 146 с.
5. Веников В. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. Учебник для вузов. / В. А. Веников, В. Г. Журавлев, Т. А. Филипова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
6. Кондрашова Н. В. Сравнительный анализ методов сглаживания и МГУА для прогнозирования временных рядов / Н. В. Кондрашова, Н. В. Павлов. // УСиМ. – 2009. – С. 84–101.
7. Алексеева И. Ю. Метод экспоненциального сглаживания линии тренда временного ряда в сочетании с методом индексов сезонности при краткосрочном прогнозировании электропотребления / И. Ю. Алексеева, В. П. Степанов, А. С. Ведерников. // Вестн. Самар. гос. тех. ун-та сер. тех науки. – 2008. – №1. – С. 137–143.
8. Седов А. В. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства / А. В. Седов, И. И. Надтока. – Ростов-н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 2002. – 170 с.
9. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. Учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
10. Пашкеев С. Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. Учебное пособие для вузов. / С. Д. Пашкеев. – М.: Связь, 1976.

**EFFECT ON PARAMETERS MODEL FORECASTING ACCURACY POWER CONSUMPTION
AT THE FACILITY ENERGY MARKET**

We consider how the parameters affect the methods of forecasting future electricity consumption forecast. The study used a model of exponential smoothing of the first order, the model Holt, Winter model and model Box-Jenkins. The applied methods of selecting options that affect forecasting allow conclusions on the behavior prediction accuracy depending on the model parameters. The article can significantly affect how the right choice of the models and methods of forecasting electricity. The study will allow the production process to carry electricity consumption forecast industrial facilities.

Keywords: exponential smoothing, Box-Jenkins model, model Holt, model Winter, smoothing factor, trend, seasonality, model parameters.

References

1. elektropotrebleniya prediction: Modern Methods and Example Studies / [L. A. Bolshov, MF Kanevskyy, EA Savelyeva et al.]. // Proceedings of the Academy of Sciences. Energetika. - 2004. - №6. - P. 74-93.
2. Vasilyev DA Models avtomatyzirovannoho prediction of industrial enterprises electric nahruzok / DA Vasilyev, VA Yvaschenko. Big // Management systems .. - 2012. - №34. - S. 254-266.
3. Kulik MN Prediction schedules of electrical loads integrated power system for the long term / M. Kulyk, SV Dubovskoy, PP Corbin. // Problems of Energy. - 2004. - №10. - P. 7-11.
4. Arzamastsev DA Models and methods optimization enerhosystem development. / DA Arzamastsev, AV Lypes, AL Мызын. - Sverdlovsk: UPY, 1976. - 146 p.
5. Venykov VA Optimization enerhosystem regimes and power plants. Textbook for Universities. / VA Venykov, VG Zhuravlev, TA Filipova. - M.: Energoatomizdat, 1990. - 352 p.
6. Kondrashov NV Comparative analysis methods and shlazhyvaniya GMDH for forecasting ordinary vremennykh / NV Kondrashov, NV Pavlov. Uusimaa // .. - 2009. - S. 84-101.
7. Alekseeva I. Yu method eksponentsyalnoho shlazhyvaniya LINE trend temporarily in rjada The combination with yndeksov by seasonal forecasting at kratkosrochnom elektropotrebleniya / AI Alekseeva Yu, VP Stepanov, A. Vedernikov. // Vestn. Samar.hos. those. University Press sir. tech science. - 2008. - №1. - S. 137-143.
8. Sedov AV control system, raspoznavaniya and forecasting elektropotrebleniya: models, methods, algorithms and sredstva / AV Sedov, I. I. Nadtoka. - Rostov n / D: Publishing House of Rostov University Press, 2002. - 170 p.
9. Lukashin Y. Adaptivnye forecasting methods kratkosrochnoho vremennykh private. Uchebnoe posobyе / YP Lukashin. - M.: Finance and Statistics, 2003. - 416 p.
10. Pashkeev SD, machine optimization methods in communication technician. Uchebnoe posobyе for universities. / SD Pashkeev. - M.: Communications, 1976.

УДК 621.311 621.31:51

Г.И. Сторожилова, канд. техн. наук, доц., Я.М. Демчик, асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГОРЫНКА**

В работе рассмотрено, каким образом параметры методов прогнозирования влияют на дальнейший прогноз электропотребления. В процессе исследования использована модель экспоненциального сглаживания первого порядка, модель Хольта, модель Винтера и модель Бокса-Дженкинса. Примененные методы выбора параметров влияющих на прогнозирование позволили сделать выводы по поведению точности прогнозирования в зависимости от параметров моделей. Статья может существенно повлиять на правильность выбора в качестве параметров моделей так и метода прогнозирования электрической энергии. Исследование позволит осуществлять прогноз электропотребления промышленных объектов в производственном процессе.

Ключевые слова: экспоненциальное сглаживание, модель Бокса-Дженкинса, модель Хольта, модель Винтера, коэффициент сглаживания, тренда, сезонности, параметры модели.

Надійшла 24.10.2016

Received 24.10.2016

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.311+658.26

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., О.В. Коцар, канд. техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Х-Д. Хаазис, доктор, проф., І. Довбішук, доктор,
Університет Бремена, Німеччина

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ГАЛУЗІ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

У статті розглянуто розвиток транспортно-логістичної галузі, особливості формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури із визначенням ролі портів у морських транспортних перевезеннях та виділенням процесу енергоефективності складських приміщень як одного із основних завдань модернізації транспортно-логістичної галузі. Оцінено типи складів та їх класифікацію, основні напрямки розвитку складської інфраструктури, визначено, що віднесення складів до одного із класів обумовлює різні вихідні вимоги до їх модернізації та здійснення заходів підвищення енергоефективності.

Показано, що при оцінці якості складів у логістичній галузі, в першу чергу, враховується енергоефективність приміщень; енергоефективні складські комплекси мають характеризуватися суттєвим зниженням витрат і викидів у навколишнє середовище, а також застосуванням технологій, які дозволяють знижувати споживання природних ресурсів і негативний вплив на навколишнє середовище, що розглядаються як фактори сталого розвитку ланцюгів постачань великих компаній; підвищення енергетичної ефективності в логістичних системах, зокрема, складських приміщеннях, вимагає модернізації програм розвитку компетенції експертів з енергоаудиту, енергетичного менеджменту, підготовки та підвищення кваліфікації кадрів.

Проаналізовано сучасний європейський досвід щодо вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичної галузі, зокрема, особливості підвищення ефективності функціонування складів за рахунок енергоефективності будівель, а рівень енергоефективності має визначатися у відповідності до вимог актів законодавства ЄС, Енергетичного Співтовариства. Розглянуто вплив процесу автоматизації, моніторингу та управління будівлями на рівень їх енергоефективності згідно європейського регіонального стандарту EN 15232: 2007 «Енергоефективність будівель. Методи визначення впливу автоматизації, керування і експлуатації будівлі».

Ключові слова: транспортно-логістична галузь, енергоефективність, логістична система, підвищення енергетичної ефективності, складське приміщення, автоматизація, моніторинг та управління будівлями.

Вступ

Транспорт є однією з найбільших системоутворюючих галузей, що мають тісні зв'язки з усіма елементами економіки і соціальної сфери. По мірі зростання обсягів виробництва і підвищення рівня життя населення значення транспорту і його роль як системоутворюючого фактора будуть тільки зростати. Зростання ресурсомісткості перевезень і транспортних витрат обумовлює підвищення транспортних тарифів. Аналіз світових тенденцій розвитку транспорту показує, що жодна країна не здатна контролювати ризики власної економіки, не маючи сильних транспортних позицій.

Глобалізація світової економіки вплинула на активний розвиток мережі міжнародних транспортних коридорів (МТК). МТК – складна технологічна система, що концентрує на генеральних напрямках транспорт загального користування (залізничний, автомобільний, морський, трубопровідний) та телекомунікації [14, 23, 26].

Основою сучасної Європейської транспортної системи є транспортні коридори [9]. Європейська економічна комісія ООН прийняла таке визначення міжнародного транспортного коридору: «Міжнародний транспортний коридор – це частина національної або міжнародної транспортної системи, яка забезпечує значні міжнародні вантажні та пасажирські перевезення між окремими географічними районами, включає в себе рухомий склад і стаціонарне обладнання всіх видів транспорту, що працюють на даному напрямку, а також сукупність технологічних, організаційних та правових умов здійснення цих

перевезень». Сучасний розвиток ідеї транспортних коридорів полягає в концепції інтермодальних і мультимодальних коридорів. Інтермодальний коридор – це взаємодія наступних транспортних складових: залізничний, автодорожній, морський, річковий, трубопровідний, авіатранспорт, об'єднання супутніх інфраструктурних елементів – під'їзних шляхів, митниць прикордонних постів, складів і т.д.

Доступ до безпечних і якісних транспортних послуг визначає ефективність роботи і розвитку виробництва, бізнесу і соціальної сфери. Транспорт розглядається як активний чинник формування конкурентоспроможності товарів і послуг національної економіки; відкритість національного транспортного ринку висуває нові вимоги до комплексного розвитку транспортної інфраструктури. Призначення міжнародних транспортних коридорів – здійснювати експортні, імпорتنі й транзитні переміщення вантажів та пасажирів за оптимальними маршрутами в найкоротший термін з мінімальними втратами. Це зумовлює їх вплив на промислову, продовольчу, демографічну та екологічну безпеку України.

На початку другого десятиліття XXI ст. українська економіка опинилася перед системним викликом, характер і якість якого визначаються поєднанням трьох фундаментальних факторів.

Перший фактор – посилення глобальної конкуренції, яка охоплює ринки товарів, послуг, капіталу та інших факторів економічного зростання. Почалася структурна перебудова світового господарства, пов'язана зі зміною балансу між економічними центрами, зростанням ролі регіональних економічних союзів, очікуваним поширенням нових технологій. Це обумовлює зміну національних і світових вантажів та пасажиропотоків, зростання вимог до якості транспортного обслуговування, безпеки і стабільності транспортної системи, необхідність істотного підвищення конкурентоспроможності української транспортної системи. Другий фактор – зростання ролі людського капіталу в соціально-економічному розвитку, адже рівень конкурентоспроможності сучасної інноваційної економіки все більшою мірою визначається якістю професійних кадрів. Третій фактор – вичерпання джерел експортно-сировинного типу розвитку.

Україна, маючи найвищий транзитний рейтинг у Європі, потребує поетапної реалізації інституціональних перетворень у транспортному секторі економіки. На відміну від розвинутих країн, Україна значно відстає в створенні власних та участі у міжнародних транспортних коридорах, що негативно впливає на формування її національної конкурентоспроможності та вітчизняних промислових підприємств [1]. Важливим на сьогодні є створення енергозберігаючої систем транспортування, розподілу і споживання тепла і електроенергії; підвищення надійності енергопостачання; підняття на новий рівень загальної якості сервісу; отримання доступу до інформації по енергоспоживанню в режимі реального часу; керування витратами енергії.

Найважливіше значення при створенні стійкої транспортної системи має проведення послідовної політики підвищення технічної і технологічної безпеки об'єктів транспортної інфраструктури і транспортних засобів. Насамперед це стосується створенню конкурентоспроможних на світовому рівні транспортних коридорів на базі технічно і технологічно інтегрованої транспортно-логістичної інфраструктури, за рахунок підвищення їх ефективності, у т.ч. енергетичної. Постає задача інтеграції у світовий транспортний простір і реалізація транзитного потенціалу України. Її успішне вирішення означатиме розширення доступу українських постачальників транспортних послуг на зарубіжні ринки, посилення ролі України у формуванні міжнародної транспортної політики і перетворення експорту транспортних послуг в один з найбільших джерел доходів країни.

Як наслідок, набуває актуальності, як одне з першочергових завдань, процес підвищення енергоефективності транспортно-логістичної галузі, зокрема, у складських приміщеннях. Як більш комплексна ця проблема може бути розглянута при створенні транспортно-логістичних схем в системі морських перевезень, де постає поєднання низки організаційно-технологічних рішень, як на горизонтальному, так і вертикальному рівні. Вирішення такої проблеми є особливо нагальним для України, оскільки її транзитні морські можливості практично не задіяні, а технології та обладнання є застарілими та потребують модернізації, зокрема, з точки зору підвищення енергоефективності.

1. Розвиток транспортно-логістичної галузі

Транспортно-логістична система країни – це «кровоносна» артерія, від якості, швидкості, безпеки та ефективності роботи якої, залежить функціонування країни в цілому. Сучасна логістика будується за принципом: «Потрібний товар – необхідної якості і кількості в заданий час і з мінімальними витратами» [18, 21, 23]. Так, 20–70% від загальних витрат на логістику доводиться на транспортування вантажів. У ціні товарів транспортування займає різну частку в залежності від типу і вартості перевезеного товару: 2–3% для електроніки; 5–6% для продуктів харчування; 7–12% для машин і устаткування; 40–60% для сировинної продукції; 80–85% для мінерально-будівельних матеріалів. В окремих випадках транспортування доходить до 300% від вартості товару.

До основних завдань логістики складування відносяться: розміщення складської мережі; складування і підготовка вантажу до постачання (виробничі та інші послуги); управління товарними запасами; організація складських поставок.

Пострадянський транспортно-логістичний простір було орієнтовано на завдання обслуговування директивної економіки, і не відповідає пріоритетам ринкової економіки, інтересам бізнесу (покупців і продавців логістичних послуг) та реаліям сучасної глобальної економіки. Тому в Україні має місце серйозне відставання у всіх областях логістики, логістичний сервіс не відповідає світовим стандартам. Як приклад, наведемо характеристики обсягів перевезення вантажів за видами транспорту (табл.1) та характеристика структура перевезень вантажів морським транспортом (табл. 2) в Україні [8, 12]. Сьогодні морські порти України втрачають свій вантажопотік [8]. Головною причиною є економічні проблеми.

Таблиця 1 –Перевезення вантажів за видами транспорту (млн. т)

	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Транспорт	1529	1805	1765	1887	1853	1837	1623	1474
залізничний	357	450	433	469	457	444	386	350
морський	6,3	8	4	4	4	3	3	3
річковий	8,3	13	7	6	4	3	3	3
автомобільний – усього	939	1121	1168	1253	1260	1261	1131	1021
у тому числі								
автопідприємства	99	106	99	118	122	126	131	109
авіаційний	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
трубопровідний	218	213	153	155	128	126	100	97

Таблиця 2 – Структура перевезень вантажів морським транспортом (відсотків)

	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Усі вантажі	100	100	100	100	100	100	100	100
За видами вантажів								
нафта і нафтопродукти	5,4	0,1	6,1	6,6	7,3	5,5	2,8	2,2
вугілля	4,3	1,2	1,1	0,5	0,5	0,5	–	0,9
кокс	1,4	0,4	–	0,1	1,2	0,6	0,5	0,2
руда різна	16,4	8,8	5,1	3,7	2,0	1,9	4,0	27,1
будівельні	15,3	21,1	17,3	21,4	14,5	13,5	4,2	3,3
хімічні і мінеральні добрива	3,2	2,5	1,1	2,9	2,5	2,6	1,5	1,0
лісові	4,1	3,0	0,7	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
папір	1,6	0,3	0,0	0,1	0,1	–	0,1	0,1
метали різні	15,9	23,8	13,2	9,7	14,5	24,4	41,5	35,5
хлібні	3,9	12,4	16,1	18,1	15,2	5,0	4,7	3,3
вантажі в контейнерах	11,6	9,1	2,3	2,5	1,5	2,0	0,8	0,9
інші вантажі	16,9	17,3	37,0	34,0	40,4	43,7	39,7	25,3
За видами сполучення								
закордонного	83,0	73,9	72,7	71,7	72,2	79,0	85,0	62,1
каботажного	17,0	26,1	27,3	28,3	27,8	21,0	15,0	37,9

Питання раціонального використання та розподілу ресурсів є одним з основних в логістиці [3, 9, 18, 20, 22, 27]. Знизити енергоспоживання при організації руху вантажопотоку можливо при сучасному логістичному підході до керування ланцюгами поставок. Стратегічна мета логістичного керування ланцюгами поставок – ресурсозбереження, мінімізація витрат на матеріали, паливо і енергію. Сучасним рішенням підвищення енергоефективності транспортно-логістичного комплексу при організації вантажоперевезень є обслуговування вантажопотоку в системі виробник – логістичний центр – споживач.

Формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури дозволить:

- впровадити енергозберігаючі технології за рахунок управління ланцюгами поставок на основі концепції «зеленої логістики»;
- вирішити проблему взаємодії різних видів транспорту і підвищити якість комплексного обслуговування вантажопотоків;

- знизити собівартість перевезень вантажів за рахунок зниження енергоспоживання;
- зменшити забруднення навколишнього середовища в результаті зменшення обсягу транспортної роботи, що припадає на одиницю перевезеного вантажу.

Ключовим у питанні формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури постає вибір оптимального місця розміщення логістичного центру з точки зору логістичних витрат, прибутку і економічного енергоспоживання в процесі обслуговування вантажопотоку. Оптимальне місце розміщення логістичного центру сприятиме енерго- і ресурсозбереженню в транспортній галузі за рахунок скорочення порожніх пробігів, витрат на паливо, підвищення ступеня використання вантажопідйомності та вантажомісткості транспортного засобу, а також дозволить створити умови для застосування енергоефективних видів транспорту і транспортних засобів, тим самим знизити енергоємність перевезення.

Більшість існуючих підходів оптимізації розміщення логістичних об'єктів дозволяють визначити оптимальне місце розміщення елементів транспортно-логістичної інфраструктури з урахуванням транспортних витрат, процесів виробництва та накопичення продукції, її складування при безумовній реалізації політики енергоефективності на кожному ієрархічному рівні.

2. Роль портів у транспортно-логістичній галузі

Інфраструктурні об'єкти можуть функціонувати в умовах обмеженої конкуренції в результаті наявності природних монополій, державного регулювання або концесій [5]. Такі інвестиції можуть бути капіталомісткими і включати матеріальні активи, які повинні функціонувати і експлуатуватися протягом тривалого терміну. Розвиток портів розглядається як каталізатор, що дозволяє стимулювати економічну активність і створювати робочі місця. Наприклад, у Великобританії, хоча вона вже і не є великим центром товарної торгівлі, в 2011 році завдяки наданню морських послуг було створено 262,7 тис. робочих місць, а вартість послуг склала 13,8 млрд. фунтів стерлінгів. Морські порти зарубіжної Європи давно вже стали концентрацією таких функцій морського господарства як судноплавство, суднобудування, судноремонт та рибальство. Поряд з ними розвивалася і промисловість. Виникла специфічна портова промисловість, до якої прийнято відносити: нафтопереробку і нафтохімію; чорну і кольорову металургію; теплову електроенергетику.

Отже, у міру розвитку контейнеризації та транспортування генеральних вантажів, в морських портах виникли перевантажувальні пункти – термінали, а до складу «портової промисловості» увійшли й підприємства окремих галузей. Все це призвело до формування портово-промислових комплексів, в яких до 4/5 території використовується для промислових і складських цілей. Серед них виділяються комплекси, які переробляють сировину і паливо, що надходить, як кажуть, «біля причалу», і комплекси, які розподіляють частину продукції по інших районах.

Історично в Західній Європі сформувалися два головних морських і, відповідно, портових фланги – північний і південний. До північного флангу відносяться порти Балтійського, Північного морів, Ла-Маншу. Здебільшого вони розташовані в естуаріях (естуарій – однорукавне, лійкоподібне гирло річки, що розширюється в напрямку моря або океану) і гирлах річок та поєднують функції морських і річкових портів, що забезпечує хороші зв'язки з хінтерландом (хінтерланд – район, що прилеглий або тяжіє до промислового, торгового центру, порту і т.п.). Наприклад, понад половину вантажів, які складають морський вантажообіг Роттердама, транспортується до нього по річках і каналах.

Вирішальне значення має спеціалізація морських портів через створення так званих "ешелонованих портів", коли портова система буде включати віддалені залізничні вузли і транспортно-логістичні комплекси.

В Європі тенденції в області розвитку портів пов'язані головним чином з будівництвом нових терміналів в діючих портах, а не з будівництвом абсолютно нових об'єктів. Ще в 2003 році ЮНКТАД розробила концепцію керування ланцюгами постачання для застосування в секторі транзитних перевезень, яка, імітуючи складальні лінії в машинобудівній промисловості, дозволяє створювати кластерні об'єднання і налагоджувати ефективну співпрацю в рамках транзитних коридорів в інтересах підвищення якості транзитних операцій. Перспективним напрямком є Концепція конвеєра в морських перевезеннях [19, 24].

У свою чергу, концепцію конвеєра для організації регулярного транспортного обслуговування можна перенести з морських перевезень в систему наземних транзитних перевезень [5, 6, 11]. Внутрішньоконтинентальні термінали стали невід'ємним елементом транспортної системи, особливо в районах стикування внутрішніх і міжнародних перевезень, які в значній мірі залежать від торгівлі. Функціональна спеціалізація внутрішньоконтинентальних терміналів пов'язана з утворенням кластерних груп, що займаються логістичною діяльністю. Аналіз функціонування найбільших світових морських портів показує, що їх можливості щодо подальшого нарощування обсягів перевезень, у тому числі й контейнерних, практично вичерпані. Виходом зі сформованої ситуації є будівництво «сухих» портів. «Сухий» порт – це сукупність складів тимчасового зберігання, допоміжних будівель, споруд,

автомобільних і залізничних шляхів, майданчиків, розташованих за межами території морського порту, що пов'язані між собою і морським портом єдиним технологічним процесом і електронної інформаційної системою для здійснення вантажних операцій з товарами і їх тимчасовим зберіганням під митним контролем [6].

Як приклад комплексних перетворень при модернізації морських портів можна вказати на Програму інноваційного розвитку ВАТ «Мурманський морський торговельний порт» на період 2011–2015 р. [8]. У свою чергу, Програма підвищення енергоефективності ВАТ "Мурманський морський торговельний порт" на 2010 – 2014 роки (складова Програми інноваційного розвитку) встановлює цільові показники енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, визначає необхідні умови для здійснення заходів, спрямованих на забезпечення енергозбереження. Технічні заходи з енергозбереження, економії ресурсів і зниження собівартості продукції включають такі заходи: закінчення будівництва та введення в експлуатацію вугільної котельні; заміна теплотрас (заміна підземних теплових комунікацій на нові зовнішньої прокладки з сучасними ізоляційними матеріалами); вдосконалення системи тепlopостачання (модернізація системи тепlopостачання у зв'язку зі зміною конфігурації теплової мережі і введенням нових потужностей); установка теплообмінників в теплових пунктах (розроблена програма по заміні елеваторних теплових вузлів на нові із застосуванням пластинчастих теплообмінників); проведення контролю за тепловими втратами будівель і споруд (модернізація огорожувальних конструкцій будівель); проведення контролю за надходженням і обліку надходження енергоресурсів; впровадження систем автоматичного обліку інформації про споживання електроенергії (АСУТП і АСКОЕ); заміна ламп розжарювання; модернізація і установка нового кранового обладнання.

Проведений аналіз показав, що розвиток методології підвищення енергетичної ефективності в логістичних системах, зокрема, складських приміщеннях, вимагає модернізації програм розвитку компетенцій експертів з енергоаудиту, енергетичного та екологічного менеджменту, підготовки та підвищення кваліфікації кадрів з наступним залученням їх на взаємовигідних засадах до реалізації корпоративної політики, орієнтованої на енергоефективність, високу культуру енерговикористання, ініціативи зі стійкого розвитку складів, розподільних центрів і логістичних систем в цілому, зокрема, в ланцюгах морських поставок, суттєво підвищить очікувані рівні зниження енерговитрат.

Більш детально зупинимося на забезпеченні енергоефективності складських приміщень.

3. Структура складів та їх класифікація

Склади є одним з найважливіших елементів логістичних систем [18–22, 26, 27]. На всіх стадіях руху матеріальної продукції (МП), починаючи від первинного джерела сировини і закінчуючи кінцевим споживачем, існує об'єктивна необхідність у спеціально облаштованих місцях для утримання запасів. Цим пояснюється наявність великої кількості різноманітних видів складів. Рух МП через склад збільшує вартість товару, що пов'язано з відповідними витратами.

Основним завданням є вибір розмірів складів, щоб з урахуванням прогнозованого зміни потоків вантажу об'єкт, його площі і об'єми, використовувалися з найбільшою ефективністю.

Основні функції складу: перетворення виробничого асортименту в споживчий відповідно до попиту; складування і зберігання дозволяє вирівнювати тимчасову різницю між випуском (надходженням) продукції та її споживанням і дає можливість здійснювати безперервне виробництво і постачання на базі створюваних товарних запасів; перетворення МП; скорочення витрат на перевезення; надання послуг (надання клієнтам різних послуг, які забезпечують фірмі високий рівень обслуговування споживачів).

Мета складування – надавати підтримку все ширшому переліку логістичних функцій, забезпечуючи комбінацію високого рівня обслуговування споживачів і низьких витрат. Для цього необхідним є виконання низки завдань, наприклад: надійне зберігання МП в необхідних умовах і з мінімальними пошкодженнями; забезпечення високого рівня обслуговування споживачів; мінімізація витрат при високій якості операцій; ефективний контроль за переміщенням матеріалів; швидке виконання складських операцій; можливість зберігання всього асортименту необхідних матеріалів; забезпечення безпечних умов роботи та ін.

Склади можуть відрізнятися за розмірами, конструкції, ступеня механізації складських операцій, з вигляду складування, за функціональним призначенням. Як приклад наведемо класифікацію складів компаній Knight Frank [22, 27].

Складські приміщення класу А+: 1) сучасна одноповерхова складська будівля з легких металоконструкцій і сендвіч-панелей, переважно прямокутної форми без колон або з кроком колон не менше 12 м і з відстанню між прольотами не менше 24 м; 2) площа забудови 40–45%; 3) рівна бетонна підлога з антипиловим покриттям, з навантаженням не менше 5 т / м², на рівні 1,20 м від землі; 4) високі стелі не менше 13 м, що дозволяють установку багаторівневого стелажного обладнання (6–7 ярусів); 5) регульований температурний режим; 6) наявність системи пожежної сигналізації та автоматичної системи пожежогасіння; 7) наявність системи вентиляції; 8) система охоронної сигналізації та система відеоспостереження; 9) автономна електропідстанція та тепловий вузол; 10) наявність достатньої кількості

автоматичних воріт докового типу (dock shelters) з вантажно-розвантажувальними майданчиками регульованої висоти (dock levelers) (не менше 1 на 500 м²); 11) наявність майданчиків для відстою великовантажних автомобілів і паркування легкових автомобілів; 12) наявність майданчиків для маневрування великовантажних автомобілів; 13) наявність офісних приміщень при складі; 14) наявність допоміжних приміщень при складі; 15) наявність системи обліку та контролю доступу співробітників; 16) оптико-волоконні телекомунікації; 17) огорожена та така, що цілодобово охороняється, освітлена впорядкована територія; 18) розташування поблизу центральних магістралей; 19) професійна система керування; 20) досвідчений девелопер; 21) залізнична гілка.

Складські приміщення класу А: 1) сучасна одноповерхова складська будівля з легких металоконструкцій і сендвіч-панелей, переважно прямокутної форми без колон або з кроком колон не менше 9 м і з відстанню між прольотами не менше 24 м; 2) площа забудови 45–55%; 3) рівна бетонна підлога з антипилісовим покриттям, з навантаженням не менше 5 т / м², на рівні 1,20 м від землі; 4) високі стелі не менше 10 м, що дозволяють установку багаторівневого стележного обладнання; 5) регульований температурний режим; 6) система вентиляції; 7) наявність системи пожежної сигналізації та автоматичної системи пожежогасіння; 8) система охоронної сигналізації та система відеоспостереження; 9) наявність достатньої кількості автоматичних воріт докового типу (dock shelters) з вантажно-розвантажувальними майданчиками регульованої висоти (dock levelers), (не менше 1 на 700 м²); 10) наявність майданчиків для відстою великовантажних автомобілів і паркування легкових автомобілів; 11) наявність майданчиків для маневрування великовантажних автомобілів; 12) наявність офісних приміщень при складі; 13) наявність допоміжних приміщень при складі; 14) оптико-волоконні телекомунікації; 15) огорожена та така, що цілодобово охороняється, освітлена впорядкована територія; 16) розташування поблизу центральних магістралей; 17) професійна система керування; 18) досвідчений девелопер; 19) наявність системи обліку та контролю доступу співробітників; 20) автономна електропідстанція та тепловий вузол; 21) залізнична гілка.

Складські приміщення класу В+: 1) одноповерхова складська будівля, переважно прямокутної форми, новозбудована або реконструйована; 2) площа забудови 45–55%; 3) рівна бетонна підлога з антипилісовим покриттям, з навантаженням не менше 5 т / м², на рівні 1,20 м від землі; 4) висота стель від 8 м; 5) регульований температурний режим; 6) наявність системи пожежної сигналізації та автоматичної системи пожежогасіння; 7) наявність достатньої кількості автоматичних воріт докового типу (dock shelters) з вантажно-розвантажувальними майданчиками регульованої висоти (dock levelers), (не менше 1 на 1000 м²); 8) система охоронної сигналізації та система відеоспостереження; 9) система вентиляції; 10) пандус для розвантаження автотранспорту; 11) наявність майданчиків для відстою та маневрування великовантажних автомобілів; 12) наявність офісних приміщень при складі; 13) наявність допоміжних приміщень при складі; 14) оптико-волоконні телекомунікації; 15) огорожена і цілодобово охороняється, освітлена впорядкована територія; 16) розташування поблизу центральних магістралей; 17) професійна система керування; 18) досвідчений девелопер; 19) наявність системи обліку та контролю доступу співробітників; 20) автономна електропідстанція та тепловий вузол; 21) залізнична гілка.

Складські приміщення класу В:

1) одно-, двоповерхова складська будівля, переважно прямокутної форми, новозбудована або реконструйована; 2) у разі двоповерхової будівлі має бути достатня кількість вантажних ліфтів / підйомників, вантажопідйомністю не менше 3 т (не менше 1 на 2000 м²); 3) висота стель від 6 м; 4) підлога – асфальт або бетон без покриття; 5) система опалення; 6) пожежна сигналізація і система пожежогасіння; 7) пандус для розвантаження автотранспорту; 8) наявність майданчиків для відстою та маневрування великовантажних автомобілів; 9) охорона по периметру території; 10) телекомунікації; 11) система охоронної сигналізації та система відеоспостереження; 12) наявність допоміжних приміщень при складі; 13) система вентиляції; 14) офісні приміщення при складі; 15) наявність системи обліку та контролю доступу співробітників; 16) автономна електропідстанція та тепловий вузол; 17) залізнична гілка.

Складські приміщення класу С: 1) капітальне виробниче приміщення або утеплений ангар; 2) висота стель від 4 м; 3) підлога – асфальт або бетонна плітка, бетон без покриття; 4) у разі багатоповерхового будови в наявність вантажних ліфтів / підйомників; 5) ворота на нульовій позначці; 6) наявність майданчиків для відстою та маневрування великовантажних автомобілів; 7) система вентиляції; 8) система опалення; 9) пожежна сигналізація і система пожежогасіння; 10) офісні приміщення при складі; 11) залізнична гілка; 12) пожежна сигналізація і система пожежогасіння; 13) пандус для розвантаження автотранспорту; 14) охорона по периметру території; 15) телекомунікації; 16) наявність допоміжних приміщень при складі.

Складські приміщення класу D: 1) підвальні приміщення або об'єкти ГО, неопалювальні виробничі приміщення або ангари; 2) наявність майданчиків для відстою та маневрування великовантажних автомобілів; 3) пожежна сигналізація і система пожежогасіння; 4) система опалення; 5) система вентиляції; 6) офісні приміщення при складі; 7) залізнична гілка; 8) телекомунікації; 9) охорона по периметру території.

Віднесення складів до одного із класів (наприклад, згідно класифікації компанії Knight Frank) обумовлює різні вихідні вимоги до їх модернізації та здійснення заходів підвищення енергоефективності.

Наведені елементи класифікації складів дають загальне уявлення про вид і структуру складських об'єктів (споруд), де необхідно впроваджувати заходи з енергозбереження та енергоефективності.

4. Енергоефективність складських приміщень – європейський підхід

Розглянемо основні напрямки розвитку складської інфраструктури з точки зору підвищення ефективності їх функціонування [28]. Важливим є системний підхід як якісна організація ефективного управління всіма складськими, логістичними та суміжними бізнес-процесами. Завдання, які вирішуються в складській інфраструктурі:

- інформаційна інтеграція територіально розподілених складів, складських комплексів з метою функціонування в рамках єдиної логістичної системи;
- повний контроль, облік і аудит логістичних, складських процесів в режимі реального часу, проектування і всебічний консалтинг;
- ефективне керування людськими ресурсами, мотивація і операційний контроль роботи;
- зниження витрат за рахунок вибору адекватної моделі керування технологічними процесами складів, складських комплексів, розподільних, дистриб'юторських центрів;
- взаємодія складських бізнес-процесів з корпоративними системами.

На складі першочергова увага має приділятися оптимізації та підвищенню ефективності роботи складських технологічних процесів; збільшенню пропускної спроможності складу і ліквідності активів підприємства; зниженню витрат на зберігання і обробку товарно-матеріальних цінностей; забезпеченню повноти виконання замовлень; керуванню енергоефективністю складу.

При оцінці якості складів у логістичній галузі, у першу чергу, враховується енергоефективність приміщень [18, 19, 23–28].

Європейська директива енергетичної ефективності будівель (EPBD) встановила мінімальні стандарти споживання енергії у всіх приміщеннях, у тому числі складських. За результатами розрахунків кожному приміщенню присвоюється сертифікат EPC (Energy Performance Certificates), за допомогою якого енергоефективність порівнюється з мінімальними стандартами. EPBD продовжує вносити зміни до вимоги щодо зменшення викидів CO₂ при використанні ресурсів. Близько 40% загального обсягу споживання енергії припадає на будівлі, тому застосування енергозберігаючих технологій всередині будівель є важливою частиною виконання цілей Кіотського протоколу.

Охарактеризуємо вимоги директиви по енергетичну ефективність будівель 2010/31 / ЄС «Energy Performance of Buildings Directive» (EPBD) [17–19]. Директива EPBD передбачає п'ять блоків нормативних документів, головний з яких визначає методи розрахунку енергоємності будівель по річним витратам теплової та електричної енергії, первинного палива та емісії в атмосферу парникових газів (CO₂) від спалювання палива:

Блок 1 – Показники енергоємності будівель по споживанню теплової, електричної енергії, первинного палива та емісії CO₂ в атмосферу;

Блок 2 – Розрахункова потужність інженерних систем будівель;

Блок 3 – Методи визначення річного енергоспоживання інженерними системами;

Блок 4 – Методи визначення рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій, параметри повітряно-теплого комфорту, розрахункові зовнішні умови;

Блок 5 – Методи випробування інженерних систем; контроль енергоємності будівель.

Перший блок передбачає методи визначення енергетичних характеристик будівлі з урахуванням показників роботи енергоджерел, їх структури і режимів експлуатації, втрат в енергетичних мережах, можливості залучення в енергобаланс альтернативних джерел енергії.

У цьому ж блоці оцінюється економічна ефективність прийнятих енергозберігаючих рішень як по теплозахисту огорожувальних конструкцій, так і по всіх системах інженерного забезпечення будівель. Показники цього блоку нормативних документів використовуються в подальшому для регулювання енергоємності будівель в наступних моделях: порівняльна маркування енергоефективності будівель за семибальною шкалою (A–G); добровільна або обов'язкова сертифікація будівель за «зеленим» стандартам.

Вихідними даними для першого блоку нормативів служать показники третього блоку: річні показники енергоємності систем інженерного забезпечення будівель: опалення; вентиляції; кондиціонування; водопостачання та водовідведення; освітлення. Розрахунок річного споживання енергії ведеться на підставі прийнятих проектних рішень і розрахункової встановленої потужності інженерних систем (блок 2). Вибір інженерних систем і їх встановленої потужності здійснюється відповідно до системи нормативів по розрахунковим зовнішнім і внутрішнім умовам, рівню теплозахисту огорожувальних конструкцій, рекомендаціями по організації повітряно-теплого режиму будівель (розподіл повітря, розміщення опалювальних пристроїв, блоків кондиціонування) (блок 4).

П'ятий блок передбачає стандарти з випробувань інженерних систем і контролю енергоспоживання в будівлі.

Переглянута Директива EPBD була прийнята у 2010 році (EPBD 2010). Вона має бути впроваджена в усіх країнах ЄС до 2020 року. Основні зміни, внесені в EPBD 2010:

- Директива EPBD 2010 спирається на стандарти, затверджені Європейським комітетом зі стандартизації (Comité 'Europe'en de Normalisation, CEN), що сприяє посиленню ролі європейських стандартів в національних законодавствах;

- національні цільові показники енергоефективності мають базуватися на споживанні первинної енергії в кВт·год / м² або альтернативному показнику;

- в країнах-членах ЄС при економічному обґрунтуванні будуть встановлені вимоги з урахуванням стану національної економіки;

- розділи Директиви EPBD 2010, які стосуються використання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, при капітальній реконструкції існуючих будівель і для нових споруджуваних будинків, тепер застосовуються до всіх будівель (раніше діяло обмеження по площі до 1000 м²);

- необхідна наявність спеціальних регламентів з енергоефективності для інженерних систем (обов'язково для існуючих будівель і на добровільній основі для нових будівель);

- енергетичними характеристиками всіх нових будинків до 2020 року мають бути значення характеристик «будівель з нульовим споживанням енергії» (громадські будівлі повинні виконати дану вимогу до 2018 р.);

- в кожній країні ЄС необхідно розробити заходи, спрямовані на подолання ринкових бар'єрів в реалізації вимог енергозбереження;

- посилюється значення наявності енергетичних сертифікатів будівель;

- вимога старої Директиви EPBD 2002 року по контролю (інспекції) водонагрівачів розширена; тепер вона поширюється на всю систему опалення;

- при інспекції систем вентиляції та кондиціонування повітря сьогодні більша увага вже приділяється питанням зниження навантаження на систему охолодження і можливість застосування низько потенційного охолодження;

- для всіх національних контролюючих органів має бути розроблена незалежна система контролю якості.

Нова Директива EPBD, так само як і попередня Директива EPBD Європи 2002/91 / ЄС, зберігає підхід до будівель як до єдиної енергетичної системи. Так, залишаються зобов'язання для країн-членів ЄС, які сприятимуть розвитку та інтеграції методологій для нормування енергетичних характеристик; для встановлення національних мінімальних вимог до енергетичних характеристик нових та існуючих будівель, що капітально ремонтуються; для введення сертифікації енергоефективності будівель і проведення регулярних оглядів систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Представимо систему чинних норм та стандартів у сфері енергоефективності будівель у ЄС [12], які застосовуються до складських будівель. Чинні норми та стандарти у сфері енергоефективності будівель у ЄС розроблені та розробляються згідно Директиви Європейського Парламенту та Ради 2010/31/ЄС.

Стандарти розрахунку загального енергоспоживання у будівлі: EN 15459:2007 (економічна доцільність); EN 15217:2007 (енергетична сертифікація); EN 15603:2008 (Енергетичні рейтинги). Стандарти, які встановлюють методи розрахунку енергоспоживання окремими інженерними системами та будівлею в цілому: DIN EN 15316:2011 (теплостачання будівель); EN ISO 13790:2008 (параметри енергетичних розрахунків); EN 15243:2007 (розрахунок системи охолодження); EN 15241:2007 (розрахунок системи вентиляції); EN 15232:2007 (автоматичні системи керування та моніторингу). Стандарти визначення навантаження на опалення та охолодження будівлі: EN ISO 13790 (розрахунок теплового балансу будівлі). Стандарти правил вибору умов функціонування будівлі: EN ISO 6946, EN ISO 13370, EN ISO 10077-1, EN 13947, EN ISO 14683 (теплофізичні характеристики огорожуючих конструкцій будівель): BS EN 15242 (вентиляція, інфільтрація, повітрообмін); NF EN 12216, DIN EN 13659 (інсоляція); EN 15251, EN ISO 15927(кліматологія); EN ISO 7345, EN ISO 9288, EN ISO 9251, DIN EN 12792 (термінологічні стандарти). Забезпечення моніторингу і верифікації маркування та сертифікації енергоефективності будівлі: EN 15217 (методи представлення енергоефективності та енергетичної сертифікації будівель); EN 15603 (загальне споживання енергії); EN 15241 (вентиляція будівель); EN 15232 (вплив систем автоматизації, управління та менеджменту); EN 15193 (енергопотребі для освітлення); EN ISO 13790:2008 (розрахунок енергоспоживання для опалення та охолодження).

Вимога щодо економії енергії розповсюджується на використання енергії для опалення та охолодження приміщень, регулювання вологості, гарячого водопостачання, вентиляції. Класифікація будівлі за енергетичною ефективністю наведена в табл. 3.

Таблиця 3 – Класифікація будинків за енергетичною ефективністю

Класи енергетичної ефективності будівлі	Різниця у % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{\text{буд}}$, від максимально допустимого значення, E_{max} , $[(q_{\text{буд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] \cdot 100\%$
A	мінус 50 та менше
B	від мінус 49 до мінус 10
C	від мінус 9 до плюс 5
D	від плюс 6 до плюс 25
E	від плюс 26 до плюс 75
F	плюс 76 та більше

Для європейських складів основними джерелами енергії залишаються електроенергія і газ [20–23, 27]. Для скорочення споживання енергії в складських приміщеннях удосконалюються технології освітлення, герметичність приміщень і теплоізоляція. Використання застарілих технологій освітлення збільшує рівень споживання електроенергії для освітлення складу до 70%. Установка датчиків руху і високоефективне освітлення може заощадити від 30 до 90% електроенергії. Лише заміна ламп розжарювання на LED лампи дозволяє знизити споживання електроенергії для освітлення на цілих 90%.

Стандарти EPBD проповідують комплексний підхід, який враховує всі особливості складської будівлі, від яких залежить його ефективність. У Європі EPBD стандарти варіюються залежно від кліматичних відмінностей. Наприклад, у Великобританії склади, як правило, не опалюються, тому основна увага приділяється герметичності та теплоізоляції приміщень. У Південній Європі, де існує ризик перегріву складу в літні місяці, денне світло потрапляє через вікна, розташовані на даху або з північного боку. Через ці кліматичні відмінності EPBD поклав на кожну країну відповідальність за створення власних мінімальних стандартів Energy Performance Certificates (EPC) [20].

Будь-які існуючі або нові склади оцінюються на основі стандартів EPC відповідної країни. Основна складова зменшення викиду CO₂ в приміщеннях з високим EPC-рейтингом – це споживання меншої кількості енергії. У свою чергу, будь-яка економія енергоспоживання зменшує операційні витрати. Для прикладу наведемо будівлю складу площею 37353 м², розташовану в Кеттерінгу (Великобританія) [20]. Вона виділяє на 54% менше CO₂, ніж передбачено стандартами. При цьому будівля споживає на 47% менше енергії, ніж вказано в стандартах Великобританії. Чиста економія витрат у Великобританії може відрізнитися, оскільки залежить від ціни енергії.

Якщо ціна газу становить 6,6 пенсів за 1 кВт год, електроенергії 9 – 12,5 пенсів за 1 кВт год, очікувана річна економія експлуатаційних витрат складе від 70,0 тис. до 100,0 тис. фунтів стерлінгів у порівнянні з базовим рівнем для новозведеного складу. У той же час, для складів, побудованих до 1995 року, річна економія експлуатаційних витрат збільшується до 230,0 – 335,0 тис. фунтів стерлінгів.

Отже, економія витрат, пов'язана з EPC кожної країни, змінюється в залежності від широкого спектру особливостей приміщень і тарифів на енергоресурси у кожній країні, які включені у базові вимоги EPC.

У багатьох випадках європейські склади сьогодні сертифікують за сучасними системами BREEAM та LEED. Зазначимо, що BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) – добровільний рейтинг оцінки зелених будівель, розроблений у Великобританії, а LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) – добровільна система сертифікації зелених будівель, розроблена в США. Сертифікати LEED або BREEAM засвідчують високу енергоефективність об'єкта, екологічну безпеку і сприятливе робоче середовище [19, 24, 25].

Проведений аналіз показав, що енергоефективні складські комплекси – це суттєве зниження витрат і викидів в навколишнє середовище, а також застосування технологій, які дозволяють знижувати споживання природних ресурсів і негативний вплив на навколишнє середовище – фактори сталого розвитку ланцюгів постачань великих компаній.

«Зелені» складські комплекси надають низку стійких конкурентних переваг для орендарів, власників і інвесторів. Власники вииграють за рахунок кращої заповнюваності об'єкта та зниження ризиків зростання цін на комунальні послуги. Для інвесторів важливим є зростання прибутковості інвестицій, а також довгострокова цінність об'єкта. Для орендарів – скорочення комунальних платежів, зростання продуктивності праці, поліпшення іміджу компанії. Якість середовища всередині будівлі (температура, якість повітря, вологість, освітлення) впливає на продуктивність праці і якість виконуваної роботи, тому важливо формувати у персоналу складів енергозберігаючий світогляд.

5. Енергоефективність будівель – закордонний досвід та орієнтири України

Україна зобов'язалася привести своє законодавство у відповідність із Директивами європейського Енергетичного Співтовариства з енергоефективності [2].

Відповідно до рішення Енергетичного Співтовариства, прийнятих у грудні 2009 році, вересні 2010 року та у жовтні 2011 року, Договірні Сторони Енергетичного Співтовариства, серед яких і Україна, наразі знаходяться у процесі реалізації декількох європейських Директив із енергоефективності, зокрема, Директиву 2006/32/ЄС щодо енергетичної ефективності кінцевого використання енергії та енергетичних послуг, 2010/31/ЄС щодо енергоефективності в будівлях та 2010/30/ЄС щодо маркування енергетичної продукції.

Одним із важливих зобов'язань України, як повноправного члена Енергетичного Співтовариства, є імплементація у національне законодавство вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради ЄС 2010/31/ЄС «Про енергетичну ефективність будівель» в рамках виконання ратифікованого Договору про заснування Енергетичного Співтовариства.

Країни Європейського Союзу, США, Японія, Південна Корея та інші не збираються зупинитися на шляху розвитку енергозбереження в будівлях [2, 18, 19, 21, 28]. Так, наприклад, у Німеччині згідно з законом, прийнятим парламентом ЄС у 2001 року, всі будівлі мають «енергетичний паспорт», в якому визначені норми споживання енергії будинками, зокрема, на гаряче водопостачання, вентиляцію, опалення, кондиціонування, підігрів води. Згідно з цими показниками, у паспорті проставлені такі категорії з енергетичної ефективності: *A* – 30 кВт год / м² за год.; *B* – 50 кВт год / м² за год.; *C* – кВт год. / м² за год.; *D* – кВт год / м² за год.

До 2030 року у Німеччині мають намір знизити енергоспоживання до нульового показника, застосовуючи сонячні і вітрові генератори, теплові насоси, енергозберігаючі технології у будівництві. Найбільший ефект в енергозбереженні забезпечується при обліку теплової енергії індивідуально кожним споживачем, реалізацією федеральних програм, а також обов'язковою освітою громадян у питаннях енергоефективності. До повної енергозберігаючої санації входять: зміна покриття, утеплення даху і горючого приміщення будівлі; удосконалення ізоляції фасаду; ізоляція стельового перекриття підвалу; повна заміна опалювальної системи з водяними стояками; удосконалення вентиляції будинку; заміна вікон та балконних дверей на більш досконалий варіант; інтегрування систем регенерації тепла; заміна входних дверей квартири, під'їзду і сходових секцій. Завдяки Федеральній програмі Німеччина розраховує створити житловий фонд енергоефективних будинків із енергоспоживанням від 55 до 70 кВт год / м² за год.

У США першочерговими завданнями, які поставив конгрес для забезпечення енергоефективності, є: надання значних субсидій і пільг для споживачів, які реалізують всі вимоги, що ведуть до зниження енергоспоживання; виконання програми єдиних стандартів для виробництва, будівництва і матеріалів, що ведуть до енергозбереження та економії енергії; заборона традиційних ламп розжарювання і їх заміна енергозберігаючими; заміна звичайних вікон склопакетами з тепловідбивним склом; маркування продукції достовірними, дійсними показниками з енергозбереження; розробка проєктів будівництва енергоефективних будівель у різних кліматичних зонах країни.

Підвищення енергоефективності будівель в США – це завдання, яке вирішує стандарт, переглянутий і актуалізований фахівцями Американського національного інституту стандартів (ANSI), Американського товариства інженерів з опалення, холодильної техніки та кондиціонування повітря (ASHRAE) та Товариства інженерів-світлотехніків США (IES). Документ описує комплексний підхід до модернізації існуючих будівель для підвищення їх енергоефективності та називається ANSI/ASHRAE/IES 100-2015 "Енергоефективність існуючих будівель". Стандарт містить докладні описи процесів і процедур, необхідних для модернізації існуючих житлових і комерційних будівель з метою досягнення більш високого рівня ефективності використання енергії. До числа нововведень входять опис процедур економічних розрахунків щодо життєвого циклу інфраструктури, а також рекомендації щодо виявлення потенційних можливостей для енергозбереження. У документі описані підходи до підвищення енергоефективності будівель 53 типів, які можуть розміщуватися в одній з 17 кліматичних зон/підзон.

В Україні відсутнє спеціальне законодавство у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель. Технічний стан переважної більшості існуючих будівель та енергетичних систем не дозволяє забезпечувати адекватний рівень енергетичних характеристик будівель. Прийняття законопроекту забезпечить врегулювання правових та організаційних засад діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель.

Наведемо низку стандартів, які сьогодні діють у сфері енергоефективності будівель України [12, 13]: ДСТУ НБ А.2.2-5:2007 (енергетичний паспорт); ДСТУ БВ EN 7730:2012 (ергономіка теплових середовищ); ДСТУ БВ EN15261:2012 (розрахункові параметри мікроклімату); ДСТУ БВ EN 13790:2013 (енергетичний рейтинг); ДСТУ БВ EN15217:2012 (енергетична сертифікація); ДСТУ БВ EN 13790:2012 (розрахунок споживання енергії).

Формування нормативного поля в Україні у сфері енергоефективності будівель ще не завершено. Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України разом з Державним агентством з енергозбереження та енергоефективності України з метою врегулювання на законодавчому рівні питання щодо підвищення енергетичної ефективності будівель розроблено проект Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» (далі – законопроект) [7]. Законопроект погоджений Секретаріатом Енергетичного Співтовариства від 16.11.2015 та відповідає вимогам положень Директиви ЄС 2010/31/ЄС «Про енергетичну ефективність будівель». Кабінет Міністрів України 06.07.2016 р. схвалив Законопроект «Про енергетичну ефективність будівель», як один із базових законів для масштабного впровадження енергоефективності у будівлях. Його мета – встановити чіткі критерії рівня енергоефективності кожного будинку в Україні; забезпечити умови для скорочення споживання енергії; визначити правові, економічні та організаційні засади діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель. Більше того, законопроект створює умови для раціонального споживання громадянами енергоресурсів у будівлях, скорочення витрат на оплату енергії, підвищення якості та комфорту життя, збільшення вартості житла. У законопроекті, зокрема, визначаються:

- основні засади державної політики та інформаційного забезпечення у сфері енергетичної ефективності будівель;
- організаційно-правові засади сертифікації енергетичної ефективності будівель;
- особливості здійснення обстеження систем опалення та кондиціонування будівель;
- основні енергоефективні заходи в будівлях та механізми їх фінансування;
- загальні засади професійної діяльності у сфері енергетичної ефективності будівель;
- нормативно-правові засади здійснення незалежного моніторингу сертифікатів енергетичної ефективності будівель та звітів про результати обстеження систем опалення та кондиціонування будівель;
- особливості розроблення національних планів щодо збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії;
- відповідальність за порушення законодавства у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель.

Згідно із законопроектом для об'єктів будівництва та існуючих будівель передбачається здійснення сертифікації енергетичної ефективності з метою визначення фактичних її показників, проведення оцінки відповідності зазначених показників установленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель, розроблення рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, що враховують місцеві кліматичні умови та є технічно і економічно обґрунтованими [7]. Законопроектом передбачено механізми залучення коштів на впровадження енергоефективних заходів та інструменти гарантування фінансування заходів із підвищення рівня енергетичної ефективності будівель (Фонд енергоефективності), які базуються на практиках країн-членів ЄС.

Власне енергетична ефективність будівель визначається згідно методики, яка розробляється відповідно до вимог актів законодавства ЄС, Енергетичного Співтовариства, гармонізованих європейських стандартів у сфері енергетичної ефективності будівель та затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері будівництва. У процесі визначення енергетичної ефективності будівель обов'язково має враховуватися інформація про: місцеві кліматичні умови, враховуючи розміщення та орієнтацію будівлі; функціональне призначення, тип, архітектурно-планувальне та конструктивне рішення будівлі; геометричні, теплотехнічні та енергетичні характеристики будівлі; нормативні санітарно-гігієнічні та мікрокліматичні умови приміщень будівлі; довговічність огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівлі; технічні характеристики інженерного обладнання; використання відновлюваних джерел енергії, у тому числі пасивних сонячних систем та систем захисту від сонця, енергії, виробленої внаслідок когенерації.

6. Окремі напрямки реалізації політики енергоефективності в складських приміщеннях

Вплив автоматизації, моніторингу та керування будівлями. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями оцінюється європейським регіональним стандартом EN 15232: 2007 «Енергоефективність будівель. Методи визначення впливу автоматизації, керування і експлуатації будівлі» (EN 15232: 2007 «Energy performance of buildings – Impact of Buildings Automation, Controls and Buildings Management», NEQ) [16]. Цей стандарт розроблено для визначення правил та методів оцінювання впливу автоматизованого систем моніторингу та керування будівлею та технічного керування будівлею на енергоефективність будівель та використання енергії в будівлях.

Стандарт визначає метод оцінювання енергозберігаючих факторів, що може застосовуватися разом із загальною оцінкою енергоспоживання будівлі, доповнює серію стандартів, які розроблені для розрахунку енергоефективності інженерних систем будівель, наприклад, опалення, охолодження, вентиляції, освітлення. Стандарт враховує, що при експлуатації будівель за допомогою автоматичного керування будівлями (BAC) і менеджменту будівель (BM) енергоспоживання будівель може бути знижено.

Наведемо окремі визначення, які широко використовуються при автоматизації, моніторингу та керування будівлями [16].

Системи автоматизації і керування будівлі (BACS) [building automation and control systems (BACS)]: системи, що складаються з технічних засобів, програмного забезпечення, інженерних служб (включаючи їх взаємозв'язку), використовуваних для автоматичного керування, моніторингу, оптимізації роботи, а також для керування діями персоналу і менеджменту з метою забезпечення енергетично ефективних, економічних і безпечних операцій з обслуговування інженерним обладнанням будівлі.

Функції BACS, крім функцій контролю, включають в себе функції обробки даних. Система керування будівлею (building management system; BMS). Служби будівлі розділяють на технічні, інфраструктурні та фінансові служби; керування енергоспоживанням є частиною завдань експлуатації будівлі. Система керування енергоспоживанням будівлі є частиною BMS і частиною BACS. Система керування енергоспоживанням будівлі включає в себе збір, реєстрацію, аварійну сигналізацію, звітність і аналіз даних щодо енергоспоживання тощо.

Технічна система будівлі (technical building system): технічне обладнання різних систем: опалення, охолодження, вентиляції, кондиціонування, гарячого водопостачання, освітлення та електропостачання. Технічна система будівлі включає в себе також й інші підсистеми, що працюють в будівлі. Технічне керування будівлею; TBM (technical building management; TBM): комплекс заходів, погоджено виконуваних різними службами, що включає в себе роботи з моніторингу технічного стану та підтримання працездатності як об'єкта в цілому, так і його окремих елементів і систем, оптимізацію технічних процесів керування при експлуатації. Завданням TBM також є оптимізація технічного обслуговування і енергоспоживання.

Оптимізація технічних процесів поширюється на опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення, безпеку, надійність електричних енергосистем і моніторинг їх параметрів, а також на служби будівлі, включаючи комунікації, технічне обслуговування та керування. Оптиміальна взаємодія керування освітленням, віконницями і системами опалення, вентиляції і кондиціонування (HVAC) вимагає координації автоматичних систем будівлі. Інтенсивність потоку денного світла в приміщення контролюється з метою зменшення споживання електроенергії для штучного освітлення. Це здійснюється віконницями. Застосування віконниць для контролю денного світла впливає також і на споживання енергії для опалення та охолодження, оскільки навантаження сонячної енергії корелюється з положенням віконниць. З цієї причини методика розрахунків повинна включати в себе окрему оцінку ефективності опалення, охолодження (HVAC) і освітлення.

Для оцінки впливу інтегрованої системи автоматизації будівлі (в даному випадку віконницями і освітленням) на потреби енергії для опалення та охолодження повинні бути відомі дані щодо сонячного навантаження, що залежать від положення віконниць. Керування віконницями має враховувати як наявність денного освітлення, так і ту частину штучного освітлення, яка заміщується денним світлом. Ця частина розраховується з урахуванням часу роботи штучного освітлення та питомого споживання енергії на освітлення.

Вплив BACS і TBM на енергетичну ефективність будівель [18]. Системи автоматизації і керування будівлі забезпечують ефективне керування системами опалення, вентиляції, охолодження, гарячого водопостачання та освітлення, дозволяють підвищити енергетичну та операційну ефективність систем. З метою досягнення максимального ефекту у сфері енергозбереження програма функціонування служб будівлі і програмне забезпечення систем має вибиратися таким чином, щоб здійснювати керування будинком з урахуванням реальних потреб користувачів, виключаючи або зменшуючи невиправдані витрати енергії відповідно. Технічне керування будівлею надає інформацію про експлуатацію, технічне обслуговування, роботу окремих служб і всієї системи керування будівлею, головним чином з метою оцінки енергоспоживання (різні виміри, аналіз і зберігання отриманих даних), а також здійснює своєчасне діагностування необґрунтованих витрат енергії. Оцінка енергоспоживання висуває вимоги до документообігу та процесу контролю і використовується для розробки поточних і попереджувальних коригувальних дій для підвищення енергетичної ефективності будівель.

Для будівель визначені наступні класи ефективності системи автоматизації керування будівлею: Клас *D* – будівлі, в яких відсутня необхідність використання BACS для керування енергоефективністю будівлі; Клас *C* – будівлі, в яких використовуються спрощені BACS; Клас *B* – будівлі, в яких використовуються вдосконалені BACS і деякі певні функції TBM; Клас *A* – будівлі, в яких використовуються енергетично високоефективні BACS і TBM.

Наведемо основні функції BACS [16].

Функції керування та їх відповідність класам ефективності BACS:

I Автоматичне керування підсистемами

1 Керування опаленням

1.1 Керування генерацією тепла [система контролю встановлена безпосередньо на джерелі тепла (у цьому випадку система може контролювати зону, що складається з декількох приміщень) або в

приміщенні]: автоматичне керування відсутнє; централізоване керування; керування в окремому приміщенні за допомогою термостатичного клапана або локального електронного контролера; керування в окремому приміщенні за допомогою зв'язку локального контролера і BACS; керування в окремому приміщенні, яке включає в себе контроль «на вимогу» (по числу людей, якості повітря);

1.2 Керування температурою теплоносія в розподільній мережі (прямою або зворотному трубопроводі) (аналогічна функція може бути застосована для контролю мереж прямого електричного нагріву): автоматичний контроль відсутній; керування з компенсацією зовнішньої температури;

2 Керування по температурі всередині приміщення;

1.3 Керування циркуляційними насосами (насоси можуть бути встановлені на різних ступенях мережі): керування відсутнє; керування включено / вимкнено; керування швидкістю (продуктивністю) насоса без контролю перепаду тиску Δp з частотно регульованим приводом; керування швидкістю (продуктивністю) насоса з контролем перепаду тиску Δp з частотно регульованим приводом;

1.4 Керування зміною витрати та / або розподілом теплоносія (один контролер може контролювати одне або кілька схожих приміщень / зон): автоматичне керування відсутнє; керування за заданою програмою; керування з оптимальним запуском / зупинкою;

1.5 Керування температурою від джерела енергії (котла): постійна температура; температура, що залежить від зовнішньої температури; температура, що залежить від поточного навантаження;

1.6 Завдання порядку роботи різних генераторів тепла: пріоритети, засновані тільки на навантаженнях; пріоритети, засновані на навантаженнях і потужностях генераторів; пріоритети, засновані на ефективності генераторів;

2 Керування охолодженням:

2.1 Керування генерацією холоду / холодоносія [система контролю встановлена безпосередньо на джерелі (у цьому випадку одна система може контролювати зону, що складається з декількох приміщень) або в приміщенні]: автоматичне керування відсутнє; централізоване керування; керування в окремому приміщенні за допомогою термостатичного клапана або локального електронного контролера; керування в окремому приміщенні, яке включає контроль «на вимогу» (по кількості людей, якості повітря);

2.2 Керування температурою холодоносія води в розподільній мережі (на лінії подачі або зворотній трубі): автоматичний контроль відсутній; керування з компенсацією зовнішньої температури; керування по температурі всередині приміщення;

2.3 Керування циркуляційними насосами (насоси можуть бути встановлені на різних ступенях мережі): керування відсутнє; керування включено / вимкнено; керування швидкістю (продуктивністю) насоса без контролю різниці тиску Δp з частотно регульованим приводом; керування швидкістю (продуктивністю) насоса з контролем різниці тиску Δp з частотно регульованим приводом;

2.4 Керування витратою та / або розподілом холодоносія (один контролер може контролювати одну або кілька схожих приміщень / зон): автоматичне керування відсутня; керування за фіксованою програмою; керування з оптимальним запуском / зупинкою;

2.5 Залежність розподілу холодоносія від виділення тепла: немає залежності; часткова залежність (за параметрами систем кондиціонування); повна залежність;

2.6 Керування температурою від джерела енергії: постійна температура; температура залежить від зовнішньої температури; температура залежить від поточного навантаження;

2.7 Завдання порядку роботи різних генераторів холоду: пріоритети, засновані тільки на навантаженнях; пріоритети, засновані на навантаженнях і потужностях генераторів; пріоритети, засновані на ефективності генераторів;

3 Керування вентиляцією та кондиціонуванням:

3.1 Керування повітряними потоками на рівні розподілу між приміщеннями: керування відсутнє; ручне регулювання; керування по часу; керування по присутності людей; керування в окремому приміщенні, яке включає в себе контроль «на вимогу»;

3.2 Керування повітряними потоками на рівні розподільвача повітря: керування відсутнє; керування включенням / зупинкою; керування потоком з контролем величини тиску або без;

3.3 Контроль загрози заморожування теплообмінника: відсутній; реалізований;

3.4 Контроль перегріву теплообмінника: відсутній; реалізований;

3.5 Вільне механічне охолодження: контроль відсутній; нічний контроль; вільне охолодження; H_x -спрямоване охолодження;

3.6 Керування температурою повітря, що подається: контроль температури відсутній; контроль постійної температури подачі; температура залежить від температури зовнішнього повітря; температура залежить від навантаження;

3.7 Керування вологістю: контроль вологості відсутній; обмеження вологості повітря, що подається; підтримання вологості повітря, що подається; керування по вологості повітря, що виходить з приміщення (будівлі);

4 Керування освітленням:

4.1 Керування по зайнятості приміщення: ручне включення / вимикання; ручне включення / вимикання плюс загальне «групове» вимикання світла; автоматичне включення / димер; автоматичне включення / автоматичне вимикання; автоматичне ручне включення / димер; автоматичне ручне включення / автоматичне вимикання;

4.2 Керування денним освітленням: ручне; автоматичне;

4.3 Керування пристроями штучного затінення (штори, віконниці, маркізи): механічне ручне керування; моторизований привід з ручним керуванням; моторизований привід з автоматичним керуванням; комбіноване керування освітленням / затінюванням / кондиціонуванням;

II Система автоматизації виділеного приміщення та всієї будівлі:

1 Система автоматизації виділеного приміщення та будівлі відсутня;

2 Система автоматизації виділеного приміщення та будівлі, адаптована для централізованого керування (наприклад, графік роботи обладнання, робочі параметри);

3 Система автоматизації і керування будівлею оптимізована для використання систем автоматизації виділеного приміщення (локальні контролери, робочі параметри);

III Експлуатація та технічне обслуговування квартир і всієї будівлі:

1 Виявлення збоїв в роботі систем виділеного приміщення та будинків і діагностика несправностей;

2 Повідомлення інформації, що відноситься до споживання енергії, умов у приміщенні та можливості вдосконалень.

Розглянемо функції ВАС, що впливають на енергоефективність будівлі. Оцінка функцій повинна використовуватися з метою:

– визначення мінімальної кількості функцій, які застосовуються в проекті;

– визначення функцій ВАС, які слід враховувати при розрахунку споживання енергії в будівлі, якщо ці функції не описані докладно;

– розрахунок споживання енергії в еталонному випадку методом фактора ефективності ВАС.

Якщо інше не встановлено органами державної влади, мінімальні вимоги до функцій ВАС і ТВМ, що підлягає впровадженню, для будівель з системами керування класу ефективності С повинен відповідати функціям контролю ВАС, наведеним нижче.

Функції контролю ВАС

I Автоматичний контроль підсистем:

1 Керування опаленням:

1.1 Контроль генерації тепла [система контролю встановлена безпосередньо на джерелі тепла (у цьому випадку одна система може контролювати зону, що складається з декількох приміщень) або в приміщенні]: керування в окремому приміщенні за допомогою термостатичного клапана або локального електронного контролера;

1.2 Керування температурою теплоносія в розподільній мережі, прямому або зворотному трубопроводі (аналогічна функція може бути застосована для контролю мереж прямого електричного нагріву): керування якістю; керування з компенсацією зовнішньої температури (в залежності від керування якістю);

1.3 Керування циркуляційними насосами (насоси можуть бути встановлені на різних ступенях мережі): керування включено / вимкнено; керування швидкістю (продуктивністю) насоса без контролю перепаду тиску Δp з частотно регульованим приводом (керування кількістю);

1.4 Керування витратою та/або розподілом теплоносія [один контролер може контролювати одну або кілька схожих приміщень / зон (кількісне регулювання)]: керування за фіксованою програмою; керування з оптимальним запуском / зупинкою (керування пропусками);

1.5 Керування температурою від джерела енергії (котла): температура залежить від зовнішньої температури;

1.6 Завдання порядку роботи різних генераторів тепла: пріоритети, засновані тільки на навантаженнях (керування каскадом);

2 Керування охолодженням:

2.1 Керування генерацією холоду / холодоносія [система контролю встановлена безпосередньо на джерелі (у цьому випадку одна система може контролювати зону, що складається з декількох приміщень) або в приміщенні]: керування в окремому приміщенні за допомогою термостатичного клапана або локального електронного контролера;

2.2 Керування температурою холодоносія води в розподільній мережі (на лінії подачі або зворотній трубі): керування з компенсацією зовнішньої температури (якісне регулювання);

2.3 Керування циркуляційними насосами (насоси можуть бути встановлені на різних ступенях мережі): керування включено / вимкнено; керування швидкістю (продуктивністю) насоса без контролю перепаду тиску Δp з частотно регульованим приводом;

2.4 Керування витратою та / або розподілом холодоносія (один контролер може контролювати одне чи кілька схожих приміщень / зон): керування за фіксованою програмою; керування з оптимальним запуском

/ зупинкою (керування пропусками);

2.5 Взаємозв'язок генерації холодоносія від споживання теплоносія: частковий взаємозв'язок (за параметрами HVAC систем);

2.6 Керування температурою від джерела енергії: температура залежить від зовнішньої температури (керування якісне);

2.7 Завдання порядку роботи різних генераторів тепла: пріоритети, засновані тільки на навантаженнях (каскадне керування);

3 Керування вентиляцією та кондиціонуванням:

3.1 Керування повітряними потоками на рівні приміщення: керування за часом (нічний, денний інтервал);

3.2 Керування повітряними потоками на рівні розподільника повітря: керування відсутня; керування включенням / виключенням;

3.3 Контроль загрози заморожування теплообмінника: контроль реалізований;

3.4 Контроль перегріву теплообмінника: контроль реалізований;

3.5 Вільне механічне охолодження: використання низьких нічних температур;

3.6 Керування температурою повітря, що подається: контроль постійної температури подачі;

3.7 Керування вологістю: обмеження вологості повітря, що подається;

4 Керування освітленням:

4.1 Керування по зайнятості приміщення: ручне включення / вимикання; ручне включення / вимикання плюс загальне «групове» вимикання світла;

4.2 Керування денним освітленням (ручне);

5 Керування пристроями штучного затінення (штори, віконниці, маркізи): механічне ручне керування; моторизований привід з ручним керуванням;

II Система автоматизації приміщень:

1 Система автоматизації і керування будівлею (автоматизація квартир (приміщень) відсутня; система автоматизації приміщень адаптована для централізованого керування (наприклад, графік роботи обладнання, робочі параметри));

III Експлуатація та технічне обслуговування квартир і всієї будівлі:

1 Виявлення збоїв в роботі систем приміщень та будинків і діагностика несправностей;

2 Повідомлення інформації, яка відноситься до споживання енергії, умов у приміщенні та можливості удосконалення.

Також зазначимо доцільність застосування «Методики економічної оцінки енергетичних системах в будівлях», представленої в стандарті EN 15459: 2007 [17]. Стандарт EN 15459: 2007 «Енергоефективність будівель. Методика економічної оцінки енергетичних системах в будівлях» (EN 15459: 2007 "Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings", NEQ) діє в частині використовуваної термінології, застосовуваних методів і довідкових даних. Стандарт містить методичні вказівки і процедури розрахунку техніко-економічних показників інженерних рішень в області проектування навколишнього середовища будівлі і способи оцінки їх абсолютної і відносної економічної ефективності. Стандарт є одним з базових стандартів для обґрунтування найбільш доцільного з техніко-економічної точки зору варіанти реалізації енергозберігаючих заходів і будівлі і вибору їх оптимального поєднання.

Висновки

Аналіз особливостей формування енергоефективної транспортно-логістичної інфраструктури із визначенням ролі портів у морських транспортних перевезеннях дозволив виділити процес енергоефективності складських приміщень як одне із основних завдань модернізації транспортно-логістичної галузі. За результатами досліджень встановлено, що склади, які є одним з найважливіших компонентів логістичних систем, являють собою складні підсистеми, функціонування яких визначає ефективність, зокрема енергетичну, логістичних ланцюгів в цілому.

Показано, що оцінка типів складів та їх класифікація дозволяє сформулювати різні вихідні вимоги до здійснення заходів підвищення енергоефективності. Енергетичної ефективності складів можна досягти впровадженням заходів з енергозбереження та енергоефективного устаткування, продуктивність яких багато в чому визначається типами складських приміщень та умовами їхнього функціонування.

Високої енергетичної ефективності транспортно-логістичної інфраструктури, зокрема складів, можна досягти лише поєднанням технічних та організаційних методів за невід'ємної умови залучення персоналу до енергоефективної поведінки. Для України важливо розпочати роботу з енергетичної класифікації всіх будівель, зокрема, складських будівель, здійснити підготовку до цієї процедури з напрацюванням відповідної нормативно-правова база, методики визначення класів енергоефективності будівель з безумовним врахуванням кращого європейського досвіду.

Список використаної літератури

1. Давтян К. В. Теоретичні основи функціонування міжнародних транспортних коридорів та їх роль в економіці України // БізнесІнформ. – 2012. – № 12. – С. 151–155.
2. Энергоэффективность будівель: український провал і зарубіжний досвід [Електронний ресурс] : 07 Грудня 2015. – Режим доступу: <http://www.eircenter.com>
3. Копылова О.А., Рахмангулов А.Н. Методика формирования энергоэффективной транспортно-логистической инфраструктуры // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – № 2. – С. 45–53.
4. Муравьев Д.С., Рахмангулов А.Н. Выбор и расчет основных параметров «сухого» порта // Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд.-во Магнитогорск. техн. ун-та им. И. Носова. – 2012. – № 2. – С. 54–59.
5. Обзор морского транспорта 2013 год // Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию. ЮНКТАД. – Нью-Йорк и Женева, 2013. – 228 с.
6. Переробка вантажів у морських (річкових) портах (причалах) України. І півріччя 2015 року [Електронний ресурс] : К.: Держстат, 2016. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua
7. Про енергетичну ефективність будівель [Електронний ресурс]: проект Закону України No 4941 від 11.07.2016: за станом на 2 серп. 2016 р. – Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=596
8. Программа инновационного развития Открытого Акционерного Общества «Мурманский морской торговый порт» на период 2011–2015 г. [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2016/49495/5832.pdf>
9. Рахмангулов А.Н., Копилова О.А., Аутів Є.К. Вибір місць для логістичних потужностей // Світ транспорту. – 2012. – № 2. – С. 19–22.
10. Статистичний збірник «Транспорт і зв'язок України» 2015 рік. [Електронний ресурс] : К.: Держстат, 2016. – Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua
11. Рафиков С.А. Роль транспортных коридоров в повышении эффективности экономики регионов // Проблемы современной экономики. – 2012. – № 1. – С. 325–327.
12. Фаренюк Г.Г. Законодавчі та нормативні вимоги до показників енергоефективності будівель. Практика виконання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.minregion.gov.ua/attachments/content-attachments/>
13. Фаренюк Г.Г. Розвиток національної законодавчої та нормативної бази як основа забезпечення енергоефективності будівель [Електронний ресурс] : Матеріали Міжнародної конференції «Україна – енергонезалежна держава» // ICC WBO. 26 лютого 2015 р. – Режим доступу: <http://iccu.org/wp-content/uploads/2015/03/Rozvitok-natsionalnoyi-zakonodavchoyi-ta-normativnoyi-bazi1.pdf>
14. Чернявський Ю.І. Екологічні аспекти розвитку міжнародного транспортного коридору Європа–Азія // Економіка природокористування і охорони довкілля. – 2013. – С. 227–234.
15. Energy performance of buildings – Common terms, definitions and symbols for the overall energy performance rating and certification / Technical report. – ISO/TR 16344. First edition 2012-10-15.
16. EN 15232: 2007 «Energy performance of buildings – Impact of Buildings Automation, Controls and Buildings Management», NEQ.
17. EN 15459: 2007 "Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings", NEQ.
18. http://www.carecprogram.org/uploads/events/2013/CFCFA-training-KGZ/009_103_209_logistics-center-development-ru.pdf
19. <http://commercialproperty.ua/references/warehouse.php>
20. http://www.imvo.lviv.ua/uploads/files/IMVO_presentation_ukr.pdf
21. <http://www.it.ru/itrfid/effect.pdf>
22. <http://www.knightfrank.ru/>
23. <http://www.logistics.ru/warehousing/news/klassifikaciya-skladskih-pomeshcheniy-knight-frank>
24. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch4en/appl4en/ch4a4en.html>
25. <http://www.rivnist.in.ua/news/2014/08/22/6068>
26. http://www.rmsforum.lv/admuploads/file/3_shljapnikov_transbaltica_2014.pdf
27. <http://www.ssi-schaefer.ru/log-sistemy/avtomatizirovannye-skladskie-sistemy.html>
28. <http://www.uaprom.info>

S. Denysiuk, Dr. Sc. Sciences, prof., **A. Kotsar**, PhD. Sc. Sciences, Assoc.
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
X-D. Haasis, Dr. Sc., prof., **I. Dovbishuk**, doctor,
University of Bremen, Germany

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT LOGISTICS. ENERGY WAREHOUSES

The article discusses the development of transport and logistics industry, especially the formation of energy-efficient transport and logistics infrastructure to the definition of the role of ports in maritime transport and traffic allocation process, energy storage facilities as one of the main tasks of modernizing transportation and logistics industry. Reviewed by types of compositions and their classification, the main lines of storage infrastructure, determined that the assignment of syllables to one of the classes makes different output requirements for their modernization and implementation of energy efficiency measures.

It is shown that in assessing the quality warehouses in the logistics industry, primarily takes into account energy facilities; energy storage systems are characterized by a significant reduction in costs and emissions into the environment, and the use of technologies that reduce the consumption of natural resources and the negative impact on the environment, considered as factors of sustainable supply chains of large companies; energy efficiency in logistics systems, including storage facilities require modernization programs of the competence of experts on energy, energy management, training and skills development.

The modern European experience to address improving the efficiency of transport and logistics sector, including features to enhance the functioning of warehouses through energy efficiency of buildings and energy efficiency must be determined in accordance with legislative acts of the EU Energy Community. The influence of process automation, monitoring and management of buildings on the level of energy efficiency under the European Regional Standard EN 15232: 2007 "Energy efficiency of buildings. Methods for determining the impact of automation, control and operation of the building".

Keywords: transport and logistics industry, energy, logistic system, energy efficiency, warehouse, automation, monitoring and management of buildings.

References

1. Davtyan K.V. theoretical foundations of the international transport corridors and their role in the economy of Ukraine // BusinessInform. – 2012. – № 12. – P. 151–155.
2. Energy efficiency of buildings: Ukrainian and foreign experience failure [electronic resource]: 7 December 2015. – Access: <http://www.eircenter.com>
3. Kopylova O.A., Rakhmangulov A.N. Technique of formation of energy-efficient transport and logistics infrastructure // Modern problems of the transport complex of Russia. - 2012. - № 2. - S. 45-53.
4. Ants D.S., Rakhmangulov A.N. Selection and calculation of the main parameters of the "dry" port // Modern problems of the transport complex of Russia. – Magnitogorsk: Magnitogorsk Technical University named G. Nosov. – 2012. – № 2. – P. 54–59.
5. Review of Maritime Transport 2013 // United Nations Conference on Trade and Development. UNCTAD. – New York and Geneva, 2013. – 228 p.
6. Processing of cargo in the sea (river) ports (berths) Ukraine. The first half of 2015 [electronic resource]: K.: State Statistics, 2016. – Access: www.ukrstat.gov.ua
7. On the energy efficiency of buildings [electronic resource]: the draft Law of Ukraine No 4941 of 11.07.2016, as of Aug 2. 2016 – Access: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=596
8. Innovative Development Program of JSC "Murmansk sea trading port" for the period 2011–2015 [electronic resource]: – Access: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2016/49495/5832.pdf>
9. Rahmanhulov A.N., Kopylov A.A., Autiv E.K. The choice of sites for logistics facilities // World Transport. – 2012. – № 2. – P. 19–22.
10. Statistical Yearbook "Transport and Communication of Ukraine" in 2015. [Electronic resource]: K.: State Statistics, 2016. – Access: www.ukrstat.gov.ua
11. Rafikov S.A. The role of transport corridors to improve the efficiency of regional economies // Problems of Modern Economics. – 2012. – № 1. – P. 325–327.
12. Farenjuk G.G. Legislative and regulatory requirements for the energy performance of buildings. Practice performance [electronic resource]. – Access: <http://old.minregion.gov.ua/attachments/content-attachments/>
13. Farenjuk G.G. Development of national legislative and regulatory framework as the basis of energy efficiency of buildings [electronic resource]: International Conference "Ukraine – volatile state» // ICC WBO. February 26, 2015 – Access: <http://iccu.org/wp-content/uploads/2015/03/Rozvitok-natsionalnoyi-zakonodavchoyi-ta-normativnoyi-bazi1.pdf>.
14. Cherniavsky Y.I. Environmental aspects of the international transport corridor Europe-Asia // Environmental Economics and Environment. – 2013. – P. 227–234.
15. Energy performance of buildings – Common terms, definitions and symbols for the overall energy performance rating and certification / Technical report. – ISO/TR 16344. First edition 2012-10-15.
16. EN 15232: 2007 «Energy performance of buildings – Impact of Buildings Automation, Controls and Buildings Management», NEQ.
17. EN 15459: 2007 "Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems

in buildings", NEQ.

18. http://www.carecprogram.org/uploads/events/2013/CFCFA-training-KGZ/009_103_209_logistics-center-development-ru.pdf
19. <http://commercialproperty.ua/references/warehouse.php>
20. http://www.imvo.lviv.ua/uploads/files/IMVO_presentation_ukr.pdf
21. <http://www.it.ru/itrfid/effect.pdf>
22. <http://www.knightfrank.ru/>
23. <http://www.logistics.ru/warehousing/news/klassifikaciya-skladskih-pomeshcheniy-knight-frank>
24. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch4en/appl4en/ch4a4en.html>
25. <http://www.rivnist.in.ua/news/2014/08/22/6068>
26. http://www.rmsforum.lv/admuploads/file/3_shljapnikov_transbaltica_2014.pdf
27. <http://www.ssi-schaefer.ru/log-sistemy/avtomatizirovannye-skladskie-sistemy.html>
28. <http://www.uaprom.info>

УДК 621.311+658.26

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., О.В. Коцар, канд. техн. наук, доц.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Х-Д. Хаазис, доктор, проф., И. Довбишук, доктор
Университет Бремена, Германия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

В статье рассмотрено развитие транспортно-логистической отрасли, особенности формирования энергоэффективной транспортно-логистической инфраструктуры с определением роли портов в морских транспортных перевозках и выделением процесса энергоэффективности складских помещений как одной из основных задач модернизации транспортно-логистической отрасли. Оценены типы складов и их классификация, основные направления развития складской инфраструктуры, определено, что отнесение складов к одному из классов обуславливает разные исходные требования к их модернизации и осуществлению мероприятий по повышению энергоэффективности.

Показано, что при оценке качества складов в логистической отрасли, в первую очередь, учитывается энергоэффективность помещений; энергоэффективные складские комплексы должны характеризоваться существенным снижением затрат и выбросов в окружающую среду, а также применением технологий, позволяющих снижать потребление природных ресурсов и негативное воздействие на окружающую среду, которые рассматриваются как факторы устойчивого развития цепей поставок крупных компаний; повышение энергетической эффективности в логистических системах, в частности, складских помещениях, требует модернизации программ развития компетенции экспертов по энергоаудиту, энергетического менеджмента, подготовки и повышения квалификации кадров.

Проанализировано современный европейский опыт решения проблемы повышения эффективности функционирования транспортно-логистической отрасли, в частности, особенности повышения эффективности функционирования складов за счет энергоэффективности зданий, а уровень энергоэффективности должен определяться в соответствии с требованиями актов законодательства ЕС, Энергетического Сообщества. Рассмотрено влияние процесса автоматизации, мониторинга и управления зданиями на уровень их энергоэффективности согласно европейского регионального стандарта EN 15232: 2007 «Энергоэффективность зданий. Методы определения влияния автоматизации, управления и эксплуатации здания».

Ключевые слова: транспортно-логистическая отрасль, энергоэффективность, логистическая система, повышение энергетической эффективности, складское помещение, автоматизация, мониторинг и управление зданиями.

Надійшла 04.10.2016

Received 04.10.2016

Б.І. Басок, чл.кор. НАН України, С.М. Гончарук, канд. техн. наук, О.М. Лисенко, канд. техн. наук,
А.О. Луніна, Л.В. Олійник
Інститут технічної теплофізики НАН України

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ

У статті представлено результати спрощеного енергетичного обстеження адміністративної будівлі. Проведений розрахунок середніх річних питомих тепловитрат на опалення будівлі та визначено доцільність впровадження комплексу заходів щодо зменшення споживання теплової енергії шляхом встановлення індивідуального теплового пункту.

Ключові слова: будівля, енергоаудит, опалення, теплоспоживання, енергозбереження.

t – температура, °С;

G – масова витрата теплоносія, т/год.;

E – витрата теплової енергії, Гкал/год.;

Нижні індекси:

зовн – зовнішнє повітря;

сер – середнє;

под – теплоносій в подавальному трубопроводі;

звор – теплоносій в зворотному трубопроводі;

В сьогоденні складних економічних труднощах Україна потребує ще більшої енергетичної незалежності шляхом скорочення енергоспоживання за допомогою впровадження заходів з енергоефективності будівлі, оскільки саме в ній відбуваються найбільші втрати теплової енергії. Перед впровадженням таких заходів необхідно провести енергоаудит об'єкту, основна ціль якого полягає у визначенні ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на опалення будинку під час його експлуатації [1]. Існує велика кількість варіантів проведених енергоаудитів об'єктів різних сфер теплозабезпечення як у нашій країні, так і в країнах близького зарубіжжя [2-4].

Метою даної роботи є дослідження основних параметрів тепlopостачання для визначення річного енергоспоживання будівлі.

Об'єктом для проведення цільового енергетичного обстеження було обрано один із корпусів (корпус №1) Інституту технічної теплофізики НАН України, по вул. Булаховського, 2. Для визначення енергоспоживання всіх будівель Інституту, що включають в себе чотири однотипні корпуси та дослідне виробництво, було здійснено автоматизований облік теплової енергії за допомогою тепловодолічильника СВТУ-10М. Корпус №1 – це триповерхова будівля адміністративного призначення загальною площею 3240 м², побудована у 1973 році. Вона має систему тепlopостачання з елеваторним вузлом, у якому здійснюється підмішування гарячої і зворотної води, але регулювання подачі теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря відсутнє, що доволі часто призводить до значної перевитрати теплоти. Вимірювання кількості спожитої теплової енергії в будівлі здійснювалось за допомогою теплотлічильника УВР-Т.

Визначення теплоспоживання адміністративної будівлі

Для адміністративного корпусу №1 ІТТФ були проведені детальні дослідження основних параметрів тепlopостачання (температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, температури зовнішнього повітря, витрати теплоносія та теплоти в подавальному та зворотному трубопроводах) за опалювальні сезони 2007-2008 рр., 2008-2009 рр., 2009-2010 рр., 2010-2011 рр. Дані приведені на рис. 1-4.

На рис. 1 показані основні характеристики тепlopостачання за другу половину опалювального сезону 2007-2008 рр. Для даного періоду були визначені наступні середні значення: $t_{\text{зовн. сер.}} = 3,1$ °С, витрата теплоносія $G_{\text{сер.}} = 2,9$ т/год., температура теплоносія в подавальному трубопроводі $t_{\text{под. сер.}} = 67,0$ °С, температура теплоносія в зворотному трубопроводі $t_{\text{звор. сер.}} = 40,0$ °С, при цьому середня витрата теплової енергії на опалення корпусу становила $E_{\text{сер.}} = 0,079$ Гкал/год. Різке падіння витрати теплоносія і теплової енергії до нуля спричинено відсутністю тепlopостачання. Максимальні значення температури подачі (до 85,0 °С) спостерігалися при мінімальних величинах температури зовнішнього повітря (до -12,0 °С).

На рис. 2 показані основні характеристики теплопостачання за майже повний опалювальний сезон 2008-2009 рр. Для цього періоду були визначені наступні середні значення: $t_{\text{зовн. сер.}} = -0,4 \text{ }^\circ\text{C}$, витрата теплоносія $G_{\text{сер.}} = 2,2 \text{ т/год.}$, температура теплоносія в подавальному трубопроводі $t_{\text{под. сер.}} = 70,5 \text{ }^\circ\text{C}$, температура теплоносія в зворотному трубопроводі $t_{\text{звор. сер.}} = 35,4 \text{ }^\circ\text{C}$, при цьому середня витрата теплової енергії на опалення корпусу становила $E_{\text{сер.}} = 0,075 \text{ Гкал/год.}$ Максимальні значення температури подачі (до $85,0 \text{ }^\circ\text{C}$) спостерігалися при мінімальних величинах температури зовнішнього повітря (до $-22,0 \text{ }^\circ\text{C}$).

На рис. 3 показані основні характеристики теплопостачання в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зовн.}}$ за дещо скорочений опалювальний сезон 2009-2010 рр.

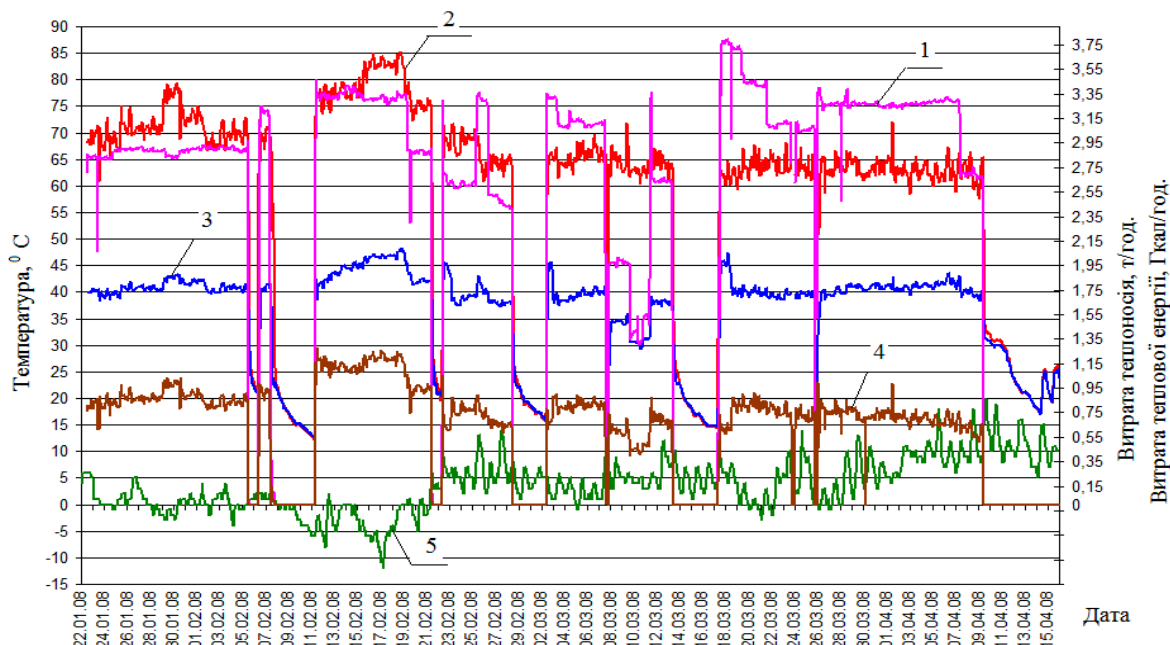


Рисунок 1 – Характеристики теплопостачання за опалювальний сезон 2007-2008 рр.: 1 – витрата теплоносія; 2 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 5 – температура зовнішнього повітря

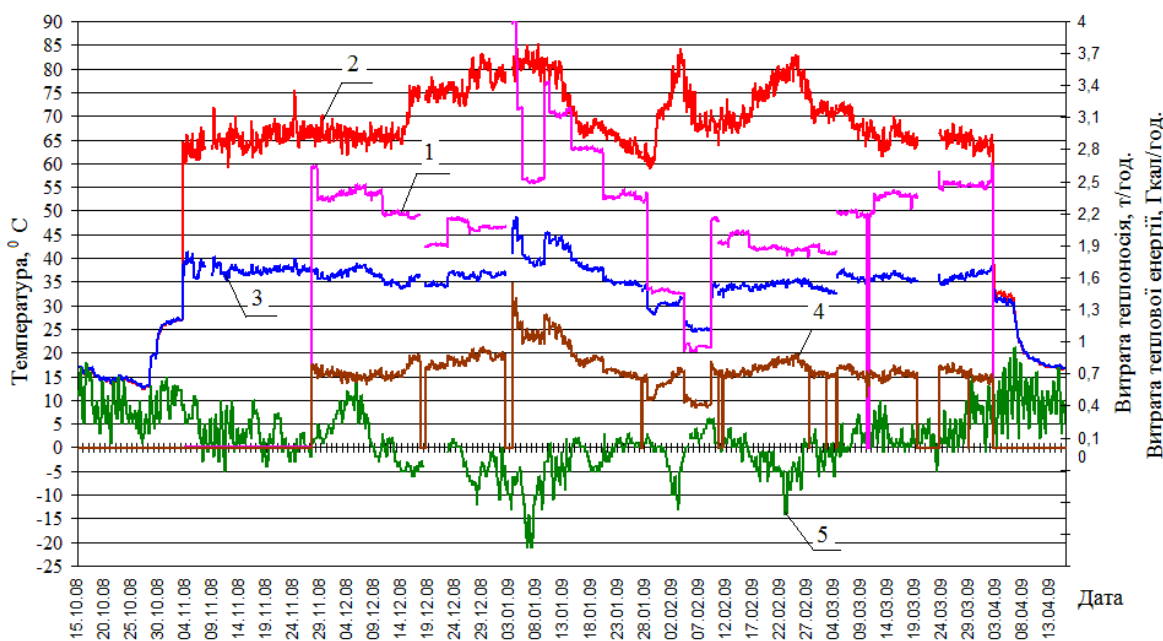


Рисунок 2 – Характеристики теплопостачання за опалювальний сезон 2008-2009 рр.: 1 – витрата теплоносія; 2 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 5 – температура зовнішнього повітря

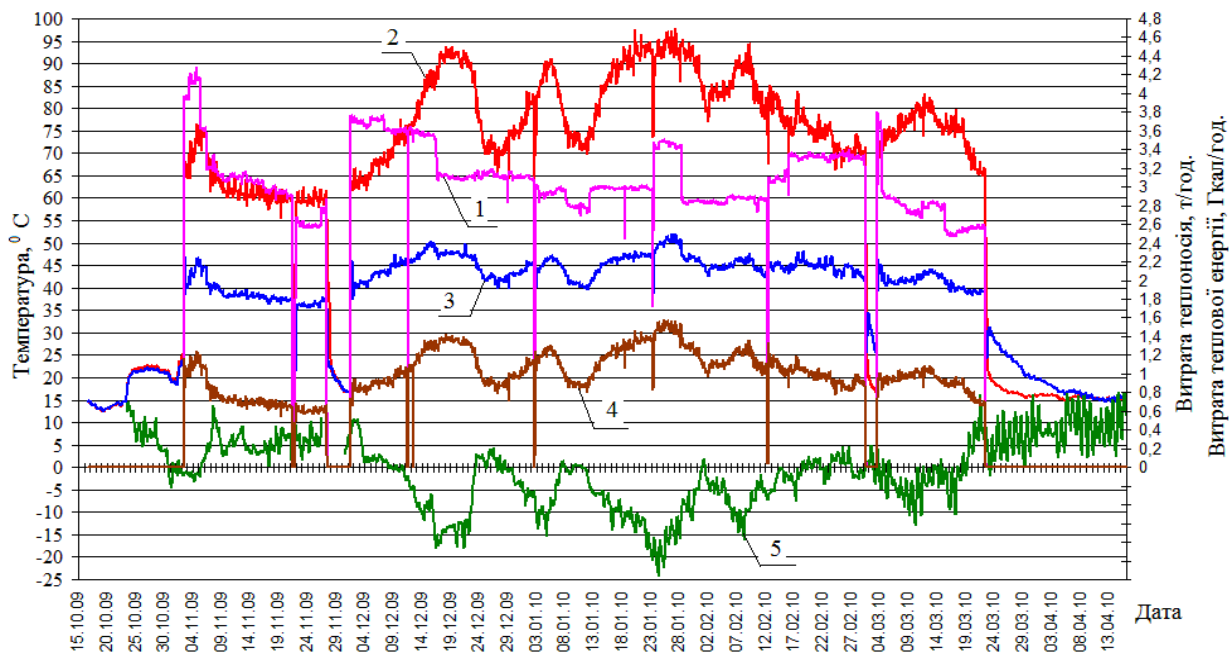


Рисунок 3 – Характеристики теплопостачання за опалювальний сезон 2009-2010 рр.: 1 – витрата теплоносія; 2 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 5 – температура зовнішнього повітря

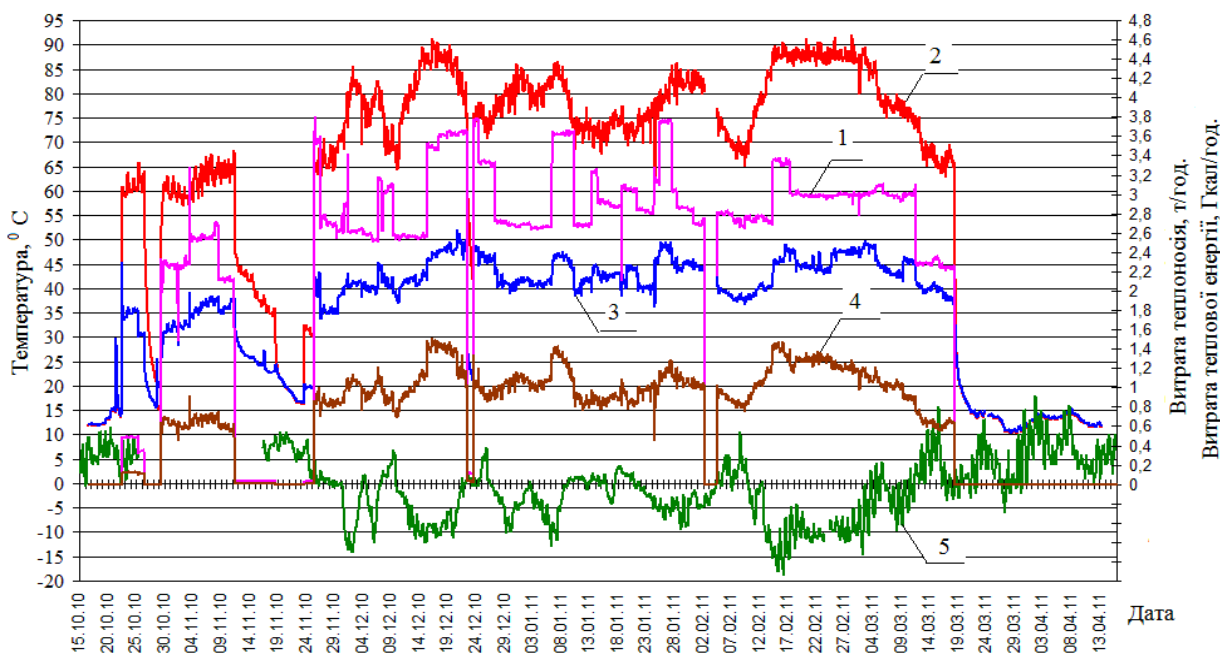


Рисунок 4 – Характеристики теплопостачання за опалювальний сезон 2010-2011 рр.: 1 – витрата теплоносія; 2 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1); 5 – температура зовнішнього повітря

Для даного періоду були визначені наступні середні значення: $t_{\text{зовн. сер.}} = -2,8 \text{ } ^\circ\text{C}$, витрата теплоносія $G_{\text{сер.}} = 3,1 \text{ т/год.}$, температура теплоносія в подавальному трубопроводі $t_{\text{под. сер.}} = 76,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, температура теплоносія в зворотному трубопроводі $t_{\text{звор. сер.}} = 43,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, при цьому середня витрата теплової енергії на опалення корпусу становила $E_{\text{сер.}} = 0,101 \text{ Гкал/год.}$ Максимальні значення температури подачі (до $98,0 \text{ } ^\circ\text{C}$) спостерігалися при мінімальних величинах температури зовнішнього повітря (до $-25,0 \text{ } ^\circ\text{C}$).

На рис.4 показані основні характеристики теплопостачання за дещо скорочений опалювальний сезон 2010-2011 рр. Для даного періоду були визначені наступні середні значення: $t_{\text{зовн. сер.}} = -2,4$ °С, витрата теплоносія $G_{\text{сер.}} = 2,6$ т/год., температура теплоносія в подавальному трубопроводі $t_{\text{под. сер.}} = 73,4$ °С, температура теплоносія в зворотному трубопроводі $t_{\text{звор. сер.}} = 40,5$ °С, при цьому середня витрата теплової енергії на опалення корпусу становила $E_{\text{сер.}} = 0,089$ Гкал/год. Максимальні значення температури подачі (до 92,0 °С) спостерігалися при мінімальних величинах температури зовнішнього повітря (до – 19,0 °С).

В табл. 1 представлені порівняльні узагальнені дані параметрів системи теплопостачання для опалювальних сезонів 2007-2011 рр., як для корпусу №1, так і для всієї площадки ІТТФ НАН України по вул. Булаховського, 2. Вартість 1 Гкал теплової енергії становила з 30.10.2006 р. 58,89 грн., за (жовтень, листопад, грудень) 2010 р. – 1 Гкал = 481,32 грн., а за (січень, лютий, березень) 2011 р. – 1 Гкал = 532,22 грн.

Таблиця 1 – Узагальнені дані параметрів системи теплоспоживання за сезонами

	Площадка Булаховського, 2				Корпус №1			
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Опалювальний сезон, рр.	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Середня тем-ра зовн. пов., °С	3,0	-0,4	-2,2	-2,0	3,0	-0,4	-2,2	-2,0
Витрата теплової енергії, Гкал	1550	1248,5	1406,5	1331,5	126	216	324	294
Тривалість опал. сезону, діб	157	155	151	148	52	112	141	148
Середнє спожив., Гкал/год.	0,41	0,34	0,39	0,38	0,1	0,08	0,1	0,08
Вартість спожитої теплової енергії, тис. грн.	246,3	198,4	223,5	683,8	20	34,3	51,5	151,1
Річні витрати теплової енергії, (кВт год.)/рік	1802650	1452006	1635760	1548535	146538	251208	376812	341922
Питомі тепловитрати на опал., (кВт год.)/(рік м ²)	139,1	112	126,2	119,5	45,2	77,5	116,3	105,5
Питомі тепловитрати на опалення, при 181 добі повноцінного опалювального сезону, (кВт год.)/(рік м ²)					157,4	125,3	149,3	129,1
					Середнє: 140,3 (кВт год.)/(рік м ²)			

З табл. 1 випливає, що питомі тепловитрати на опалення в корпусі №1 в середньому становлять 140 (кВт год.)/(рік м²). Це свідчить про те, що будівля знаходиться в більш-менш нормальному стані у порівнянні із будівлями, в яких середньостатистичні питомі тепловитратами для України становлять 250 (кВт год.)/(рік м²).

З наведених даних цільового енергетичного обстеження корпусу №1 слідє, що вказана будівля знаходиться в належному стані з точки зору енергоспоживання, а тому в корпусі №1 доцільно впроваджувати ІТП.

Порівняння температурного графіку теплопостачальної організації з реальними температурами теплоносія

Як видно з графіків (рис. 1-4), максимальна температура теплоносія, який поступає в будівлю становить 97,0 °С при температурі зовнішнього повітря -25,0 °С (2009-2010 рр.). Заявлений графік теплопостачальної організації становить: температура подавального теплоносія – 115,0 °С, а зворотного – 70,0 °С (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для м. Києва – 22,0 °С). Температура зворотного теплоносія у вказаному періоді 2007-2011 рр. коливалась в межах $40,0 \pm 3,0$ °С.

На рис. 5 показано порівняння реальних температур теплоносія, що надходить до будівлі, з температурним графіком теплопостачальної організації в залежності від температури зовнішнього повітря для опалювального періоду 2013-2014 рр.

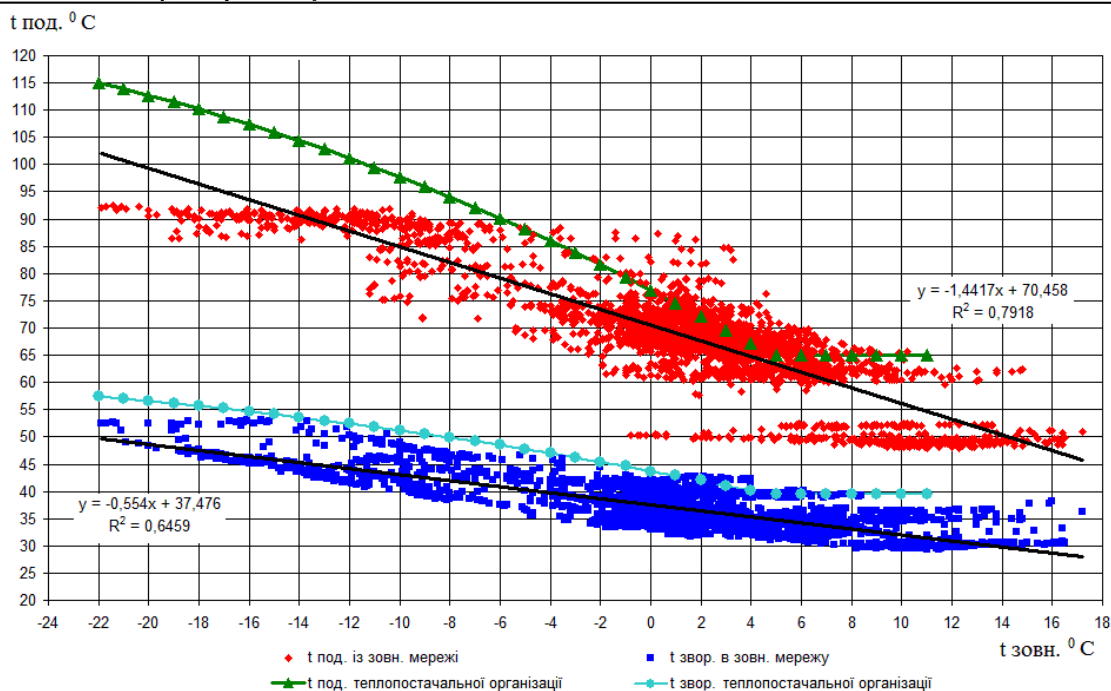


Рисунок 5 – Порівняння графіку теплопостачальної організації з температурами теплоносія будівлі

Встановлено, що заявлений температурний графік теплопостачальної організації не дотримується, що в свою чергу впливає на комфортні умови для споживача.

Результати енергетичного обстеження.

В результаті проведеного цільового енергетичного обстеження будівлі та її системи теплоспоживання було встановлено наступне:

1. В середньому ґрундово-поверхова будівля каркасно-панельного типу споживає 140 кВт годин на 1 кв. м. опалюваної площі за опалювальний період, що є достатньо нормальним (задовільним) показником для будівлі з 42 річним терміном експлуатації. Даний показник теплоспоживання будівлі на 40...45% менший, ніж середній показник теплоспоживання будівель в Україні.

2. Наявні значні втрати теплоти через плоский дах, фундамент, вікна та з інфільтрацією повітря, коефіцієнт якої становить 0,4 1/годину.

3. Наявні періоди експлуатації системи теплозабезпечення ІТТФ, коли збільшувались витрати теплоносія без потреби в ньому споживачем, особливо в святкові та в вихідні дні, або наприкінці опалюваного сезону. Це призводило до переплат за теплоту і надмірних витрат коштів.

4. Температурний графік теплопостачальної організації не дотримувався.

5. Проведені дослідження показали перевищення електричної напруги в мережі майже на 15 %. Таке штучне перевищення напруги було зовсім небажаним, тому-що, по-перше, призводило до частого виходу з ладу електричних приладів, зокрема блоків живлення ПК, а, по-друге, призводило до непотрібних перевитрат майже на 27% коштів, сплачених за використання електроенергії штучно підвищеної напруги.

Висновки

В ІТТФ НАН України були проведені ретельні довготривалі експериментальні дослідження теплоспоживання адміністративної будівлі з нерегульованою системою теплопостачання елеваторного типу. На основі отриманих експериментальних даних побудовані графічні залежності витрати теплоносія, теплової енергії і температури теплоносія в залежності від температури зовнішнього повітря та розраховані питомі тепловитрати на опалення будівлі. Результати енергетичного обстеження будівлі показали, що вона знаходиться в належному стані з точки зору енергоспоживання, а тому в ній доцільно впроваджувати заходи щодо зменшення споживання теплової енергії шляхом встановлення автоматизованого індивідуального теплового пункту.

Список використаної літератури

1. ДСТУ-НБА.2.2-5:2007. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції.-К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с.
2. *И.А. Немировский* Энергоаудит в бюджетных организациях и ЖКХ // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – №10 (92). – С. 62-67.

3. Мищенко В.Я., Баринов В.Н., Горбанева Е.П., Назаров А.Н. Энергетическое обследование (энергоаудит) объектов социальной сферы // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 77-84.

4. Тыршу М.С., Зайцев Д.А., Голуб И.В. Энергоаудит как инструмент энергосбережения // Проблемы региональной энергетики. – 2013. – № 3 (23). – С. 73-79.

B. Basok, S. Goncharuk, O. Lysenko, A. Lunina, L. Oliynyk
Institute of Engineering Thermophysics of NASU

ENERGY AUDIT OF BUILDING AND RESEARCH OF ITS HEAT SYSTEM

The article presents the results of the energy audit of the administrative building. The calculation of average annual specific heat loss of the building heating was conducted and the feasibility of a set of measures to reduce the consumption of thermal energy, by establishing individual heat point was determined.

Keywords: building, energy audit, heating, heat consumption, energy saving.

References

1. DSTU-NBA.2.2-5: 2007. Guidelines for the development and preparation of energy passports of buildings with no-ments construction and rekonstruktsiyi.-К.: Minregionstroy Ukraine, 2008. – 43 с.

2. I. A. Nemirovsky, Energyaudit in budgetary organizations and ZHKKH // Energosbeoyezheniye. Energetika. Energoaudit. – 2011. – №10 (92). – P. 62-67.

3. Mishchenko V. Ya., Barinov V. N., Gorbaneva Ye. P., Nazarov A. N. Energy Survey (Energy Audit) of Objects of the Social Sphere // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitektarno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. – 2012. – № 1. – P. 77-84.

4. Tirshu M., Zaitsev D., Golub I. Energy audit as a tool for decreasing of energy consumption // Problemy regionalnoy energetiki. – 2013. – № 3 (23). – P. 73-79.

УДК 697.1

Б.И. Басок, чл.-корр. НАН Украины, **С.М. Гончарук**, канд. техн. наук, **О.Н. Лисенко**, канд. техн. наук, **А.А. Луніна, Л.В. Олейник**

Институт технической теплофизики НАН Украины

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СИСТЕМЫ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

В статье представлены результаты энергетического обследования административного здания. Проведенный расчет средних годовых удельных теплотерь на отопление здания и определена целесообразность внедрения комплекса мероприятий по уменьшению потребления тепловой энергии путем установления индивидуального теплового пункта.

Ключевые слова: здание, энергоаудит, отопление, теплотребления, энергосбережения.

Надійшла 13.10.2016

Received 13.10.2016

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

В.П. Калинчик, канд. техн. наук, доц., **В.П. Розен**, докт. техн. наук, проф.,
С.П. Шевчук, д-р техн. наук, проф., **А.В. Мейта**, канд. техн. наук, доц.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ «ДРОБИЛКА-МЕЛЬНИЦА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе рассматривается моделирование работы дробильно-помольного комплекса с применением искусственных нейронных сетей. Моделирование механического процесса измельчение проводится при комплексном учете факторов определяющих его протекание. Построенная модель используется при оптимизации электропотребления мехатронного комплекса. Показано, что при разработке модели дробильно-помольного комплекса учет наибольшего числа факторов и их взаимного влияния возможен при использовании в качестве базовой модели многослойного перцептрона.

Ключевые слова: электропотребление, оптимизация, нейросетевая модель.

© В.П. Калинчик, В.П. Розен, С.П. Шевчук, А.В. Мейта, 2016

Вступление. В технологическом процессе участвуют основная среда и дополнительно вводимые компоненты, применяются физико-химические, механические или гидромеханические воздействия, которые осуществляются внутри рабочих пространств аппаратов для получения конечных продуктов (рис. 1) [1]. Дробление и измельчение твердых продуктов и тел относят к механическим процессам, для которых закономерности протекания определяются как внешними воздействиями, так и свойствами самого вещества. Качество процесса определяет его энергоемкость и количественно-качественные показатели выходного продукта.

Один из способов обеспечения рациональных режимов работы технологических механизмов дробильно-сортировочных фабрик – применение систем адаптивного управления, которые относятся к робототехническим системам, элементной базой которых является микропроцессорная техника. Для работы АСУ технологическим процессом необходимо математическое обеспечение, которое адекватно описывает технологические процессы, работу отдельных видов оборудования, участвующих в них.



Рисунок 1 – Общая схема технологического процесса

Цель и задачи исследования. Объективная модель измельчающего объекта может быть создана при условии хорошей осведомленности о свойствах изучаемого объекта. Поэтому для создания более полного представления о том, в чем состоит задача автоматизации процесса дробления, необходимо рассмотреть физическую сторону процесса разрушения вещества в измельчающих агрегатах. Измельчаемое вещество может быть описано целым рядом свойств, которые характеризуют вещество, а значит и энергию, затрачиваемую на его разрушение. В практике измельчения вещество обладает следующими свойствами [2]: плотность (истинная и насыпная – для оценки занимаемого веществом объема и расчета других инженерных величин); крепость (оценка сопротивляемости горных пород разрушению); абразивность (способность сыпучих материалов изнашивать при трении соприкасающиеся с ними поверхности); влажность (оценка содержания воды в сырье); сыпучесть (величина, используемая при расчете бункеров, питателей, разгрузочных устройств); кусковатость (характеризует гранулометрический состав вещества); удельная поверхность минерального сырья (показатель при оценке степени измельчения сырья и эффективности его сепарации различными методами); дробимость и измельчаемость (параметры, определяющие протекание процессов разрушения вещества).

Кроме физических свойств вещества существует также ряд технологических переменных, определяющих работу измельчающих агрегатов такие как производительность, крупность исходной руды, шаровая загрузка, ширина разгрузочной щели.

Целью данной работы является разработка модели дробильно-помольного комплекса. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: анализ факторов и параметров определяющих процессы дробления и помола в измельчительных агрегатах, выбор структуры и параметров нейронной сети, соответствующей многофакторной задаче, определение и описание наиболее влияющих на электропотребление факторов.

Результаты исследований. Пусть дробильный комплекс состоит из нескольких измельчающих агрегатов, включенных в последовательную работу (рис. 2). Каждый агрегат, входящий в состав комплекса характеризуется некоторой величиной потребляемой мощности либо потребляемой мощностью на тонну измельченного вещества, величина которой зависит от ряда факторов (примем к рассмотрению такие факторы, как масса мелющих тел M , производительность агрегата Q и крупность исходного сырья T) и крупностью готового продукта [3]. Крупность готового продукта определяется режимом работы агрегата

и временем измельчения, что оказывает влияние на величину потребленной мощности. Отношение крупности продукта на входе к крупности продукта на выходе определяет степень его измельчения i . Для N последовательно включенных объектов общая степень измельчения определяется перемножением степеней измельчения на каждой стадии.

$$i = \prod_{K=1}^N i_K . \quad (1)$$

Величина потребляемой мощности для комплекса состоит из суммы электропотреблений отдельных агрегатов.

$$W = \sum_{K=1}^N w_K . \quad (2)$$

При использовании в качестве оптимизационной функции удельного электропотребления следует учитывать, что эта величина определяется не только величиной полученной мощности, но и производительностью. Суммирование удельных электропотреблений возможно только для величин характеризующих один и тот же режим работы комплекса. Тогда общее удельное электропотребление группы объектов (для не изменяющегося от объекта к объекту сырьевого потока – условие совместной работы элементов комплекса, включенных последовательно) определяется суммированием удельных электропотреблений каждой стадии.

$$W_{y\partial} = \sum_{K=1}^N w_{y\partial_K} . \quad (3)$$

Тогда, задача оптимизации для дробильного комплекса с производительностью изменяющейся в нешироких пределах запишется в виде

$$\begin{cases} W_{y\partial}(Q, i, k_N) \rightarrow \min \\ Q = const \in [Q_{\min}, Q_{\max}] \\ i \geq i_{\partial on} \end{cases} \quad (4)$$

Модель объекта исследований реализуется на базе ИНС. Предварительная подготовка входных векторов данных (отсев малозначимых переменных) снижает длительность процесса обучения, что немаловажно для больших объемов данных в случае многокомпонентных систем. Выбор математического аппарата ИНС для реализации модели объясняется тем, что такие модели обеспечивают адекватность отображения нелинейных многофакторных систем, за счет учета существующих в реальном объекте взаимных связей.

Для моделирования элементов дробильно-помольного комплекса принимается многослойный перцептрон (MLP). Сеть состоит из произвольного количества слоев нейронов. Первый слой называется сенсорным или входным, внутренние слои называются скрытыми или ассоциативными, последний слой – выходным или результирующим. Архитектура сети многослойного перцептрона была предложена в работе Румельхарта и МакКлеланда [4].

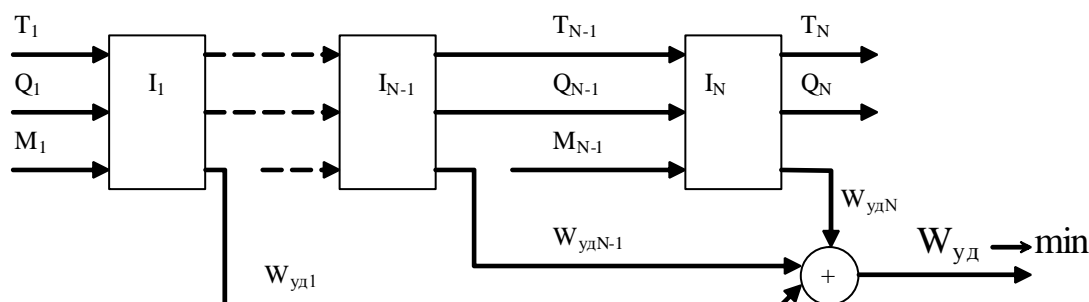


Рисунок 2 – Модель дробильного комплекса

Нейроны каждого слоя соединяются с нейронами предыдущего и последующего слоев по принципу «каждый с каждым». Каждый элемент сети строит взвешенную сумму своих входов с поправкой в виде слагаемого, затем пропускает эту величину активации через передаточную функцию, и таким образом получается выходное значение этого элемента. Элементы организованы в топологию с прямой передачей сигнала. Особое внимание при построении многослойного перцептрона уделяется определению числа

слоев и элементов [5]. Количество входных и выходных элементов определяется условиями задачи, но возможно и интуитивный выбор числа входных переменных. В качестве начального приближения принимают один промежуточный слой, а число элементов в нем полагают равным полусумме числа входных и выходных элементов.

Преимущество MLP состоит в том, что сеть подобной структуры может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции. MLP – сеть отличается способностью к экстраполяции данных и высоким быстродействием после обучения.

Строится нейронная сеть с количеством входов равным максимально возможному числу влияющих факторов и количеством выходов равным количеству целевых величин (рис. 3). Экспертная оценка учитывает текущие приоритеты, а именно какой из параметров для производства считать более важным. Параметры «свойства сырья» и «состояние футеровки» для одной смены работы можно принять постоянными и не учитывать.

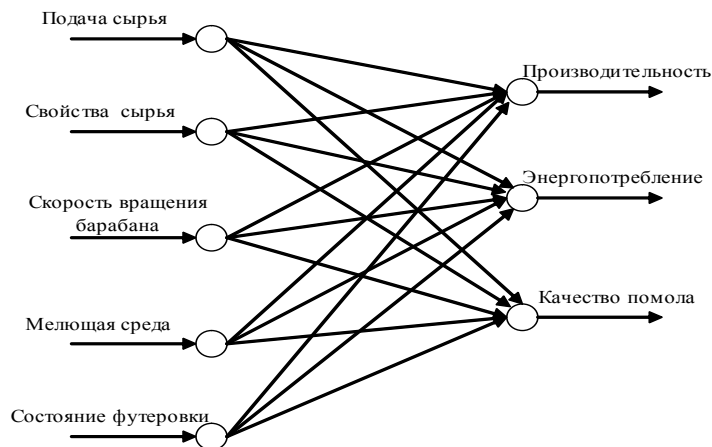


Рисунок 3 – Нейросетевая модель шаровой мельницы.

В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Регулирование работы шаровой мельницы осуществляется, прежде всего, за счет ее загрузки материалом. Для мельниц разомкнутого цикла величина подаваемого питания является основной величиной определяющей производительность мельницы. Количество подаваемого вещества в сочетании с шаровой загрузкой образуют величину циркуляционной нагрузки, которая влияет на расход электроэнергии объекта. Основным из параметров, оказывающих наибольшее влияние на характер графика нагрузки шаровой мельницы, является вес шаров, находящихся в мельнице [6]. График зависимости потребляемой мощности от шаровой загрузки приведен на рис. 2 и характерен для мельницы любого типа. На рисунке точки 1, 2 соответствуют неуравновешенной циркуляционной нагрузке (недостаток шаров); точка 3 – уравновешенная нагрузка, наиболее выгодный режим работы мельницы; точки 4, 5 – циркуляционная нагрузка не уравновешена из-за избытка шаров и уменьшения кинетической энергии; P_{xx} – мощность, потребляемая мельницей без шаровой загрузки и без питания.

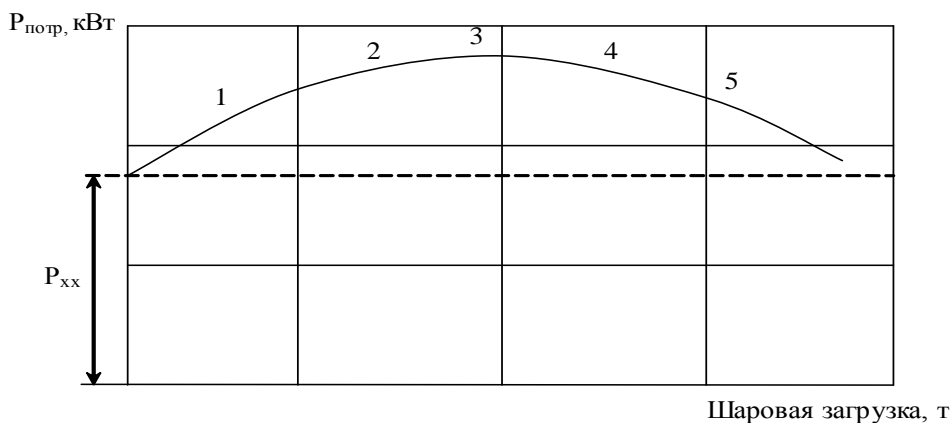


Рисунок 4 – Кривая зависимости мощности, потребляемой шаровой мельницей, от шаровой загрузки

Для шаровой загрузки важным является не только ее масса, но и сортамент загружаемых шаров, поскольку размер шара определяет выполняемую им работу измельчения. При определении необходимого количества догружаемых шаров существует ряд сложностей, связанных с невозможностью точного определения количества и сортамента шаров, оставшихся в мельнице. Величина остатка шаров чаще всего определяется по эмпирическим зависимостям износа шаров. При моделировании условий работы шаровой мельницы необходимо иметь возможность оценить уровень шаровой загрузки в любой момент времени. Данные по шаровой загрузке содержат информацию о времени загрузки, количестве загружаемых тел и количестве шаров в мельнице на момент загрузки. Поскольку догрузка мелющих тел осуществляется не ежедневно, то информация о количестве шаров в мельнице в период между догрузками отсутствует. Поэтому используется аппроксимация по имеющимся данным для нахождения эмпирической формулы зависимости изменения массы шаров в мельнице от времени и вычисления значений шаровой загрузки для требуемых моментов времени. Данные об изменении количества шаровой загрузки приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Изменение количества шаровой загрузки

t	0	10	25	35	60	95	130	180	210	260	300	350	400	435
%	100	93	86	83	76	66	58	52	48	42	40	36	34	33

Износ мелющих тел в мельнице описывается спадающей степенной функцией. Примем для описания зависимость вида $Y = a \cdot 10^{b \cdot X}$. Искомая зависимость между степенью заполнения барабана мелющими телами P (% от нормы) либо весом шаров (тонны) и временем работы мельницы t возьмем в виде:

$$P = a \cdot 10^{b \cdot t} \quad (5)$$

или, логарифмируя данное выражение, получим линейную зависимость между t и $\lg P$:

$$\lg P = \lg a + b \cdot t \quad (6)$$

Полагая $t = 0$, находим коэффициент $a = 100$.

Для нахождения коэффициента b объединяем все опытные данные в одну группу, тогда

$$\sum \lg P = \sum \lg a + b \cdot \sum t, \quad (7)$$

откуда $b = -0,0141$.

Таким образом, эмпирическая зависимость, отображающая износ шаров в мельнице по экспериментальным, данным имеет вид: $P = 100 \cdot 10^{-0,00141 \cdot t}$

Используя численные показатели скорости вращения барабана, массы загруженного вещества и расчетные значения массы шаров осуществляется тренировка сети. Критерием обученности сети считается отображение с заданной погрешностью связи между входным и выходным векторами на обучающей и тренировочной последовательностях. В результате тренировки сети связи между элементами приобретут некоторые значения, которые и будут соответствовать мере значимости каждого параметра. Зная численные значения, определяющие важность параметров, легко записать выражение для целевой функции, учитывающей требования ко всем параметрам. В случае, если возникнет необходимость оценивать результат, отдавая предпочтение другим факторам, то следует перетренировать сеть для нового режима оценки.

Производится анализ сети. Цель анализа выявление элементов связанных в сети каналами с наибольшими весовыми коэффициентами. Элементы входного вектора, связанные с элементами выходного вектора связями с незначительными весовыми коэффициентами признаются факторами, слабо влияющими на процесс и отбрасываются; После того как установлено процесс с какими показателями мы желаем получить можно осуществлять следующий шаг – определить какие факторы и в какой мере определяют протекание технологического процесса. Построив нейронную сеть у которой входы сети будут отражать факторы описывающие свойства вещества, а выходом будут численные данные оценивающие процесс измельчения так же как и в предыдущем случае, проведя тренировку сети на опытных данных, можно получить информацию о степени важности каждого из факторов по значению его весового коэффициента. Таким образом, сеть можно будет упростить, убрав те факторы, влияние которых на процесс минимально. Дальнейшее построение моделей осуществляется только со значимыми факторами.

Выводы. При автоматизации управления измельчающим мехатронным комплексом величина потребляемой электрической энергии зависит от свойств измельчаемого вещества и технологических переменных, таких как производительность, крупность исходной руды, шаровая загрузка. При разработке модели дробильно-помольного комплекса учет наибольшего числа факторов и их взаимного влияния возможен при использовании в качестве базовой модели многослойного перцептрона, входной и выходной

вектора которого задаются исходя из условий оптимизационной задачи, а параметры определяются путем обучения на тестовой последовательности.

Список использованной литературы.

1. Плановский А.П. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]/ Плановский А.П., Ралем В.М., Качан С.Э. – М.: Госхимиздат, 1962. – 848 с.
2. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник / Под ред. П.Е. Остапенко М.: Недра, 1990. – 212 с
3. Розен В.П. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом/ Розен В.П., Калинин В. П., Мейта А.В. // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.
4. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.-182 с.
5. Каллан Р. Нейронные сети. Пер. с англ. [Текст]/ Каллан Р. – М.: Горячая линия – Телеком. 2000.-280 с.
6. Белых Б.П. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях [Текст]/ Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К. – М., Недра, 1971, с. 248.

V. Kalinchyk, V. Rozen, S. Shevchuk, O. Meyta

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ENERGY EFFICIENT CONTROL FOR MECHATRONIC COMPLEX "SHREDDER-MILL"
WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

In this article we consider the simulation of crushing and milling complex with the use of artificial neural networks. Modelling of the mechanical grinding process is conducted in complex accounting factors determining its course. The developed model used in the optimization of power consumption of mechatronic complex. It is shown that the development model of crushing and milling complex accounting greatest number of factors and their mutual influence is possible when using as a model of multilayer Perceptron.

Key words: power consumption, optimization, neural network model.

References

1. Planovskyy A/ Processes and Apparatuses for chemical technology [Text] / Planovskyy A., Ralem V., Kachan S. - M.: Hoshymyzdat, 1962. - 848 p.
2. Technological evaluation of mineral raw materials. Methods of study: Directory / Ed. P. Ostapenko - M.: Nedra, 1990. - 212 p
3. Rozen V.P. Application of models based on the neural networks for solving of the multi-criteria management task of crushing-grinding complex / Rozen V.P., Kalinchik V.P., Meita A.V // Visnyk NTUU “KPI”, series of “Mining”, 2003, issue # 8. – p. 134-141.
4. The neural network. STATISTICA Neural Networks: Trans. with English. - M.: Hotline - Telecom. 2000.-182 p.
5. R. Callan Neural network. Trans. with English. [Text] / R. Callan - M.: Hotline - Telecom. 2000.-280 p.
6. Belyh B. The electrical load and power consumption at the mining enterprises [Text] / Belyh B., Sverdel Y., Oleynikov V - M., Nedra, 1971, p. 248.

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

В.П. Калінчик, канд. техн. наук, доц., **В.П. Розен**, д-р техн. наук, проф.,

С.П. Шевчук, д-р техн. наук, проф., **О.В.Мейта**, канд. техн. наук

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ МЕХАТРОНИЧНИМ КОМПЛЕКСОМ
«ПОДРІБНЮВАЧ-МЛИН» З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

В роботі розглядається моделювання роботи дробильно-помольного комплексу із застосуванням штучних нейронних мереж. Моделювання механічного процесу подрібнення проводиться при комплексному обліку чинників, що визначають його перебіг. Побудована модель використовується для оптимізації електроспоживання мехатронного комплексу. Показано, що при розробці моделі дробильно-помольного комплексу облік найбільшого числа факторів і їх взаємного впливу можливий при використанні в якості базової моделі багатошарового перцептрона.

Ключові слова: електроспоживання, оптимізація, нейромережева модель.

Надійшла 02.07.2016

Received 02.07.2016

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 519.2:620.98+621.31

В.О. Костюк, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
Інститут загальної енергетики НАН України
Т.М. Базюк, асист.

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

ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ СИСТЕМ З ВЛАСНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Проаналізовано принципи побудови та можливості використання для подальших аналітичних досліджень сучасних програмно-інформаційних засобів пошуку субоптимальних структурно-параметричних рішень електропостачальних систем шляхом розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач на основі спеціальних алгоритмів еволюційного типу. Представлено результати моделювання автономізованої комбінованої установки субоптимальної структури, сконструйованої з використанням промислових компонентів, що забезпечують перетворення та утилізацію енергії вітру й Сонця, а також організацію збуту та організацію збуту надлишків виробленої електроенергії в електромережу.

Ключові слова: електропостачання, багатокритеріальна оптимізаційна задача, генетичні алгоритми, приведена вартість проекту, собівартість електроенергії, еквівалентний обсяг викидів.

Вступ. З огляду на проблему енергетичної безпеки країни та окремих її регіонів, особливої ваги набувають питання інтеграції джерел децентралізованого електропостачання до (традиційної) електроенергетичної системи централізованого електропостачання. Погляди науковців та фахівців енергетичної галузі щодо вжитку лексичних термінів для позначення джерел «розподіленої» та/або «розосередженої» генерації різняться [1]. Системи електропостачання локальних господарських об'єктів, побудовані на основі комбінованих енергетичних установок, що розглядаються у цій статті, слід віднести до засобів децентралізованого електропостачання.

Метою цієї статті є продемонструвати результати ефективного застосування сучасних інструментальних програмних засобів для розв'язування прикладних задач – пошуку раціональних проектних рішень енергопостачальних систем з використанням декількох технологій на основі енергії відновлюваних джерел та накопичувачів енергії, та інтерпретувати результати техніко-економічних показників. Слід також висвітлити перспективи експлуатації подібних засобів за умов господарювання в Україні й оцінити доцільність спрямування зусиль на розроблення власних засобів для підтримки розвитку електроенергетичного сектору на основі нових технологій електрогенерування.

Матеріал і результати досліджень. Проблемі визначення раціональних компонувальних рішень гібридних систем енергопостачання, із застосуванням технологій нових та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) й можливістю підключення до розподільної мережі як до резервного джерела, присвячена значна кількість праць протягом останніх двох десятиріч [2-8]. Виокремились і розвиваються три основні теоретичні платформи, ґрунтуючись на яких ведеться пошук оптимальних конфігурацій комбінованих енергоустановок (КЕУ): метод найменших квадратів, ймовірності втрати енергопостачання – метод *LPSP* (loss of power supply probability) і метод компромісних рішень (“trade-off” method) [7, 8]. Зокрема, оптимізаційні задачі включають обмеження показників, що характеризують надійність, у вигляді: а) обмеження ймовірності аварії КЕУ (*LOLP* – loss of load probability) – сукупний середній час аварійного простою по відношенню до експлуатаційного інтервалу (одного року); б) обмеження ймовірності недостатнього рівня потужності генерації (*LPSP*) – коли КЕУ не в змозі задовольнити сукупний поточний попит споживачів; й нарешті, – в) відносного значення «незабезпеченого» попиту/споживання (*UL* – unmet load) як частка загального обсягу споживання протягом експлуатаційного періоду (зазвичай одного року).

В роботі [3] здійснена спроба описати процедуру пошуку оптимального розв'язку багатокритеріальної задачі керування комплексною системою електропостачання шляхом поєднання ідей Р. Беллмана і Л. Заде та методів нелокального пошуку. Цей підхід, на думку авторів, забезпечує належність отриманого

розв'язку області компромісів, відтак, мовляв, можна уникнути пошуку єдиного розв'язку по Парето. Втім, за умов дії фактору невизначеності, розв'язання прикладних технічних задач на практиці є надто громіздким.

Приклади функційних схем простої КЕУ наведено в роботі [4]. Відповідно, гібридні електропостачальні системи на основі КЕУ можуть працювати як автономні, а також бути спроектовані з виконанням специфічних вимог підключення до електромережі (ЕМ) з метою отримання власником вигоди від збуту електроенергії за спеціальним тарифом.

Методологічними особливостями оцінювання показників, котрі обираються у якості критеріїв для постановки задачі багатокритеріальної оптимізації комбінованих систем, є відмінний від традиційного порядок визначення середньозваженої ціни виробництва *LEC* (Levelised Energy Cost) і обсягу викидів у вигляді CO₂-еквіваленту за період життєвого циклу – *LCE* (Life Cycle Emissions). Зокрема, *LEC* розраховують не як співвідношення сукупних приведених витрат до обсягу виробленої енергії у кВт год, а до обсягу спожитої електроенергії: адже певна частка виробленої енергії в таких системах втрачається, наприклад у години нульового навантаження (споживання відсутнє). В такому випадку виробництво електроенергії, наприклад, вітровим електрогенератором, продовжується, хоча резервний накопичувач є повністю зарядженим, і така "надлишкова" енергія просто втрачається. Деякі додаткові втрати енергії пов'язані з процесами заряду/розряду АБ.

Обсяг викидів *LCE* (кг CO₂/кВт год) розраховують як еквівалентний обсяг викидів від виробництва енергії, витраченої на виготовлення, транспортування і утилізацію компонентів гібридної ЕПС. Також цей обсяг враховує реальні викиди, пов'язані з функціонуванням привідного двигуна внутрішнього згоряння резервного електричного генератора (ЕГ) у складі гібридної ЕПС – безпосередні викиди цього двигуна та пов'язані з виробництвом і транспортуванням палива для нього. Так само питомий показник відносять до спожитого обсягу енергії, кВт год.

Автори [10] розробили інструментальні засоби проектування оптимальної гібридної ЕПС з використанням ідей МОЕА (спрощена назва – генетичні алгоритми, GA [11]), за допомогою яких можуть бути отримані оптимальні, або дуже близькі до оптимальних технічні рішення – із застосуванням використання компонентів відомих світових чи національних виробників електротехнічного обладнання. Числові значення техніко-економічних параметрів та експлуатаційних характеристик цих компонентів вміщено до бази даних. При цьому чисельні результати моделювання проаналізовані шляхом співставлення ефективності GA порівняно з результатами використання звичайного перебору варіантів – тобто отриманих шляхом оцінювання всіх можливих/прийнятних проектних рішень.

Для формулювання багатокритеріальної оптимізаційної задачі (БОЗ) традиційно може бути використана її класична постановка в контексті техніко-економічної проблеми за принципом оптимуму по Парето. БОЗ можна сформулювати таким чином.

Необхідно знайти мінімальні або максимальні значення вектора функцій

$$F(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_i(X), \dots, f_k(X)], \quad i = \overline{1, k}, \quad (1)$$

за умови виконання m обмежень-нерівностей і p обмежень-рівностей:

$$\begin{cases} g_j(X) \geq 0, & j = \overline{1, m} \\ h_j(X) \geq 0, & j = \overline{1, p} \end{cases}, \quad (2)$$

У записі (1) величина $f_i(X)$ – є частковим значенням скалярної функції, аргументом якої є вектор $X \in \Omega$, елементами котрого є шукані змінні (набори їх альтернативних значень визначають множину Ω можливих часткових розв'язків БОЗ).

Концепцію оптимальності по Парето покладено в основу більшості алгоритмів типу МОЕА (Multi-Objective Evolutionary Algorithm) [9]. Принципи домінування, оптимальності по Парето, а також поняття оптимальної множини і фронту Парето нижче визначено так, як це подано в роботах [11 – 12].

Домінування по Парето визначають наступним чином. Вектор $u = (u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_k)$, домінує над вектором $v = (v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_k)$ тоді і лише тоді, коли $\forall i = \overline{1, k}$, u є частково меншим за v , тобто:

$u_i \leq v_i \wedge \exists i = \overline{1, k} : u_i < v_i$, що скорочено записують: $u \preceq v$ і вектор v називають домінованим.

Оптимальність по Парето встановлюють у такий спосіб: розв'язок $X \in \Omega$ є оптимальним за Парето, тоді й лише тоді, коли не існує такого $X' \in \Omega$, для якого може бути знайдено домінуючий розв'язок v такий, що

$$v = F(X') = [f_1(X'), f_2(X'), \dots, f_i(X'), \dots, f_k(X')] \preceq u = F(X). \quad (3)$$

Оптимальні розв'язки утворюють оптимальну множину Парето. Для цільової функції $F(X)$ сформульованої БОЗ множина оптимальних розв'язків P^* визначається шляхом перевірки на відсутність у ній домінуючих альтернатив:

$$P^* := \{X' \in \Omega \mid \neg \exists X'' \in \Omega : F(X'') \prec F(X')\}, \quad (4)$$

тобто, не існує таких $X'' \in \Omega$, щоб вектор цільової функції $F(X'')$ був домінуючим.

Фронт Парето визначено наступним чином. Для цільової функції $F(X)$ сформульованої БОЗ і оптимальної множини P^* фронт Парето є множиною *недомінованих* розв'язків:

$$PF^* := \{u = F(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_i(X), \dots, f_k(X)] \mid X \in P^*\} \quad (5)$$

Інтерпретацію наведених визначень можна подати графічно [11], як це зображено на рис. 1 в площині значень для двох критеріїв оптимальності F_1 і F_2 . Розв'язки, позначені a, b, c, d, e і f є недомінованими розв'язками по Парето, оскільки жоден із них не забезпечує менші значення F_1 і F_2 . Значення критеріїв для недомінованих розв'язків розташовуються на лінії «фронт Парето». Відтак розв'язки «1», «2», «3» і «4» є домінованими. Наприклад, розв'язки «b» і «c» домінують над розв'язком «1», оскільки обидва характеризуються нижчими значеннями F_1 і F_2 . У свою чергу «b», «c», «d», «1» і «2» домінують над «4» і т.д.

Оптимізаційний процес завершується, коли виконано оцінювання останнього покоління за схемою багатокритеріального алгоритму еволюційного типу МОЕА і недоміновані рішення, котрі формують фронт Парето, найкраще відповідають двом критеріям F_1 і F_2 , такий фронт іноді називають «найкращим фронтом Парето»: наступні із кращих розв'язків будуть доміновані, відповідно, одним, двома й т.д. розв'язками (альтернативними наборами значень змінних БОЗ).

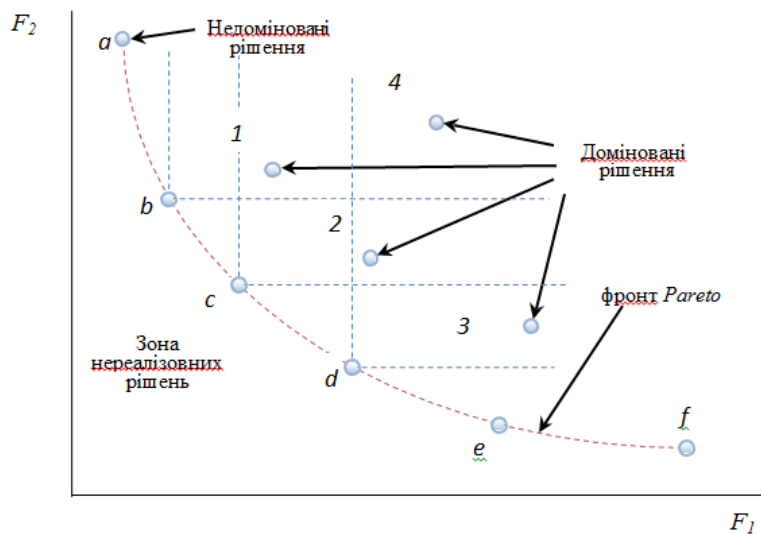


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація множини недомінованих розв'язків БОЗ (фронт Парето) у площині двох критеріїв: пошук компромісних мінімальних значень

В роботах [12, 13] на основі алгоритмізації за схемою МОЕА представлено модель багатокритеріальної оптимізації за трьома критеріями: мінімуму приведеної вартості, мінімуму викидів CO_2 і UL (мінімуму незадоволеного попиту) для гібридних ЕПС, що містять накопичувачі у вигляді АБ та/або резервуару для зберігання газоподібного водню.

Практична реалізація алгоритму розрахункової моделі виконана на основі модифікованих алгоритмів SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) і SPEA2 [14]. Програмні модулі написані на алгоритмічній мові C++ [15]. Програмно-інформаційний комплекс (ПК) iNOGA реалізує обчислення за двома взаємно пов'язаними алгоритмами: *основним* і *вторинним*.

Алгоритмізація БОЗ за схемою МОЕА. Стислий опис функціонування алгоритмів розглянемо на основі структурної схеми гібридної ЕПС, представленої на рис. 2, оптимальні проектні рішення якої знаходять шляхом розв'язання БОЗ. Гібридна система може включати джерела електрогенерування будь-

якого типу, пристрої для заряджання АБ, інверторне обладнання, паливні елементи (ПЕ), резервуар для зберігання водню, електролізер. Втім, проєктована гібридна ЕПС може містити обмежене число компонентів з представлених на рис. 2.

Для розрахунків відповідно до обраної стратегії управління беруться погодинні значення змінних, котрі вважаються незмінними протягом годинних інтервалів.

Для кожного годинного інтервалу, протягом якого джерела ВДЕ (фотоелектричні панелі, вітро- або гідро-агрегати) виробляють обсяг енергії, що перевищує обсяг попиту/споживання, надлишкова потужність P_{charge} може бути використана для заряду АБ або виробництва водню в електролізері. Цей процес назвемо ЗАРЯД. Значення потужності P_{charge} дорівнює значенню надлишкової енергії постійного струму (DC), виробленої протягом одного годинного інтервалу. Фактично, ця енергія є сумою надлишкових енергій джерел постійного струму і перетвореної енергії джерел змінного струму (AC) з урахуванням ККД інвертора. Рішення щодо того, як використати надлишкову енергію постійного струму – на заряд АБ чи на роботу електролізера, визначається в процесі роботи вторинного алгоритму.

Натомість, у разі якщо джерела ВДЕ не забезпечують сукупного попиту, потужність $P_{discharge}$, якої не вистачає (покриття дефіциту), має компенсувати енергія накопичена в АБ, резервним електричним генератором ЕГ або паливним елементом ПЕ. Такий процес назвемо РОЗРЯД. Для процесу заряду слід визначити вартість виробництва енергії для покриття дефіциту цими елементами. Оптимальна система має виробляти енергію дефіциту найдешевшою.

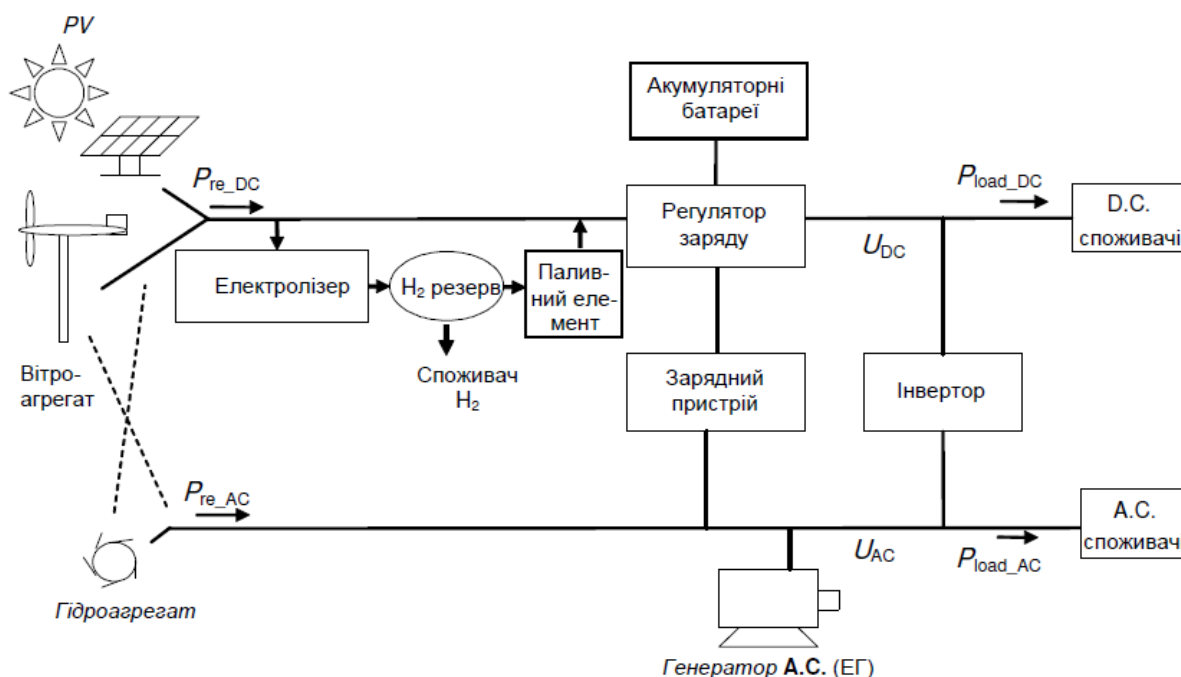


Рисунок 2 – Структура гібридної електропостачальної системи

Блок-схему алгоритму пошуку субоптимальних рішень для ЕПС на основі КЕУ зображено на рис. 3. Модель дозволяє налаштувати пошук таких компромісних рішень через обрання режиму мінімізації трьох згаданих вище критеріїв одночасно.

Основний алгоритм забезпечує оптимальний вибір компонентів гібридної ЕПС із будь-яким набором генеруючих модулів: ВЕУ, СФЕУ, АБ та накопичувальних резервуарів для газоподібного водню, резервних джерел змінного струму (працюють з використанням різних видів первинних енергоносіїв), мікро-ГЕС а також паливних елементів з електролізером. Вектор цілочисельних параметрів БОЗ у вигляді випадкових чисел є вхідним набором даних для роботи основного алгоритму. Цей алгоритм здійснює кодифікацію змінних через вектор 11 цілочисельних параметрів (значення є цілими числами, див. табл. 1). Вторинний (залежний, додатковий) алгоритм забезпечує формування найдешевшої прийнятної стратегії керування у вигляді набору розв'язків керуючих змінних для будь-якої конфігурації гібридної ЕПС, отриманої на етапі застосування основного алгоритму. Для цього оптимальні значення 12 змінних керування розраховуються одночасно за допомогою вторинного алгоритму.

Таблиця 1 – Параметри і змінні керування за багатокритеріальним алгоритмом пошуку субоптимальної конфігурації КЕУ

Основний алгоритм: вектор цілочисельних параметрів	Вторинний алгоритм: обчислення значень змінних керування
<p>a – номер PV-панелей, увімкнутих паралельно, b – тип PV-панелей, c – число вітротурбін/вітроагрегатів, d – тип вітротурбіни, e – тип гідротурбіни, f – число АБ, увімкнутих паралельно, g – тип акумуляторної батареї, h – тип електрогенератора ЕГ, i – тип паливного елемента, j – тип електролізера, k – тип інвертора.</p> <p>Через вектор параметрів виконується «кодіфікація» значень змінних для кожної технічно здійсненої конфігурації (набору складових компонентів) КЕУ</p> <p>Число векторів основного алгоритму – N_m</p>	<p>Резервний електричний генератор (ЕГ): $P_{min_gen}, P_{critical_gen}$, Акумуляторна батарея (АБ) : $SOC_{min}, SOC_{stp_gen}, SOC_{stp_FC}$, Паливний елемент (ПЕ) : $P_{min_FC}, P_{critical_FC}, H2TANK_{stp}$, Режимне керування потоками енергії за вартісними показниками енергії заряду-розряду $P_{lim_charge}, P1_{gen}, P1_{FC}, i P2$.</p>  <p>Число векторів вторинного алгоритму – N_{sec}</p>

Вихідними даними для ПІК iNOGA є очікувані (бажані) графіки електричних навантажень для локального об'єкта/вузла ЕПС по місяцях року і вибір альтернатив щодо використання резервних накопичувачів. У комбінації з характеристиками попиту задаються параметри збуту надлишків виробленої енергії, що визначають економічну взаємодію з зовнішньою електричною розподільною мережею. Зокрема, є можливість обрати режим збуту надлишку виробленої електроенергії до мережі з урахуванням темпу інфляції протягом життєвого циклу, надлишку молекулярного водню до зовнішнього накопичувача за результатом господарювання протягом року – за встановленою (рекомендованою) ціною. В середовищі ПІК можливо організувати однокритеріальну та багатоцільову оптимізаційну процедуру з використанням обумовленого специфікою поставленої задачі набору обмежень вхідних параметрів та витрат часу.

За замовчуванням виконується програма однокритеріальної оптимізації, за яким система пропонує найбільш економічне рішення з урахуванням тривалості життєвого циклу у термінах сукупних приведених витрат NPC. У випадку багатоцільової оптимізації дослідник може обрати два, три або п'ять критеріїв, включно соціального спрямування: Human Development Index (HDI) і створення робочих місць (Jobs Creation, JC). Вікно керування режимом багатокритеріальної оптимізації має опцію вибору параметра «Відобразити тільки недоміновані варіанти рішень» (“Display Non dominated only”).

Для керування КЕУ [13] можливо обрати дві основні стратегії: **I** – відстеження попиту/навантаження (Load Following) і **II** – циклічний заряд. За стратегією **I** енергія АБ використовується у разі недостатнього обсягу електрогенування. У разі недостатньої ємності АБ дефіцит покриває резервний генератор (Генератор А.С. (ЕГ) на рис. 2). Стратегія **II** відрізняється в цьому останньому кроці тим, що ЕГ працює на максимальній потужності, забезпечуючи заряд АБ з вибором опції по часу: можливо заряджати АБ протягом однієї поточної години або до стану зарядженості АБ, наприклад, 95% повної ємності. З обранням стратегії керування слід обрати оптимізаційні змінні із переліку в таблиці 1 (див. рис. 3). Розрахункові значення необраних змінних встановлюються фіксованими (Fix Variables), такими, що відповідають найкращому конфігураційному варіанту конструкції за комбінацією усіх технічних параметрів системи.

Результати цифрового моделювання з використанням інструментів програмного комплексу iNOGA. Розробник надає можливість користування інструментами програмно-інформаційного комплексу (ПІК) iNOGA [10] для виконання тестових розрахунків з використанням версії з обмеженими функційними можливостями.

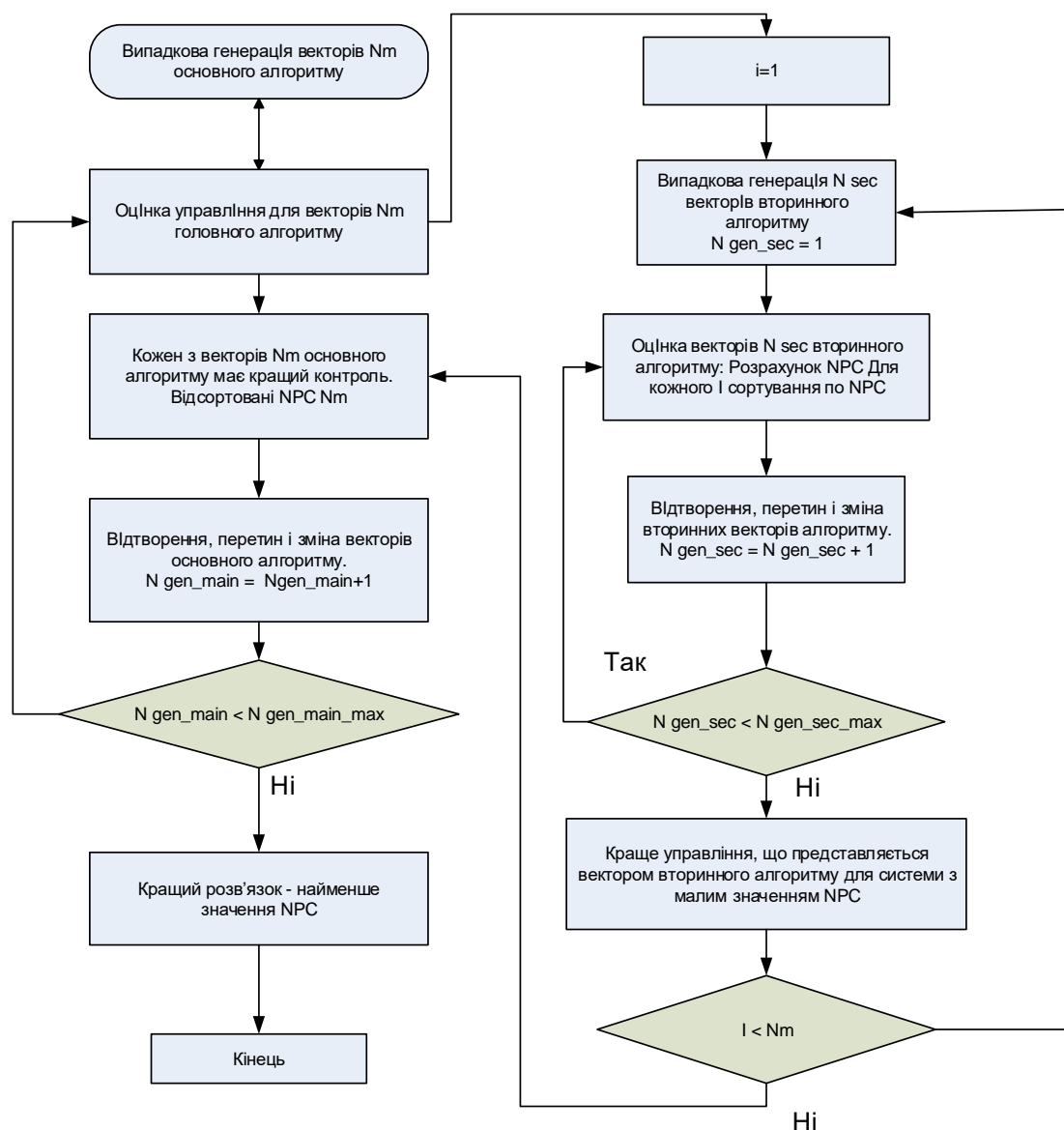


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму MOEA ПІК iNOGA

З допомогою ПІК виконано тестовий пошук субоптимальної структури ЕПС для типового домогосподарства (приватної садиби), розташованої у межах міста Києва за двома критеріями: мінімуму приведеної вартості NPC (вартісний) та еквівалентного обсягу викидів LCE (екологічний).

Варіант вибору оптимізаційних змінних, які можуть бути обрані у разі визначення стратегії II для обраного конфігураційного варіанту (без паливних елементів і електролізера) наведено у таблиці 1. Прогнозні фінансово-економічні дані, взяті за основу для тестування моделі засобами ПІК iNOGA відображені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фінансові прогнозні дані для моделювання

Номінальне значення дисконту, %	15,0	Розрахунковий термін експлуатації, років	25,0
Прогнозний середній показник інфляції, %	7,0	Частка кредитних коштів, %	50,0
Вартість монтажу, €	400,0	Відсоткова кредитна ставка, %	9,0
Поточні витрати, % від кап. вартості/рік	2,0	Термін виплати кредиту, років	5,0

Для обрання обладнання вітроелектричного агрегату інструментальні засоби ПІК iHOGA забезпечують уведення статистичних даних щодо вітрового потенціалу, виміряного в околиці місця розташування об'єкта електропостачання (рис. 4).

З метою організації розрахункового експерименту використані дані типового графіка електричних навантажень електроприймачів об'єкта (приватної садиби) із річним обсягом споживання, що не перевищує 4000 кВт·год/рік. Для застосування умов збуту надлишку виробленої електроенергії за пільговими «зеленими» тарифами згідно з вимогами українського законодавства, проектну середню ціну тарифу визначено на рівні 0,12 Євро/кВт год з одночасною можливістю закупівлі дефіциту електроенергії з ЕМ на договірних умовах за тарифом 0,05 Євро/кВт год.

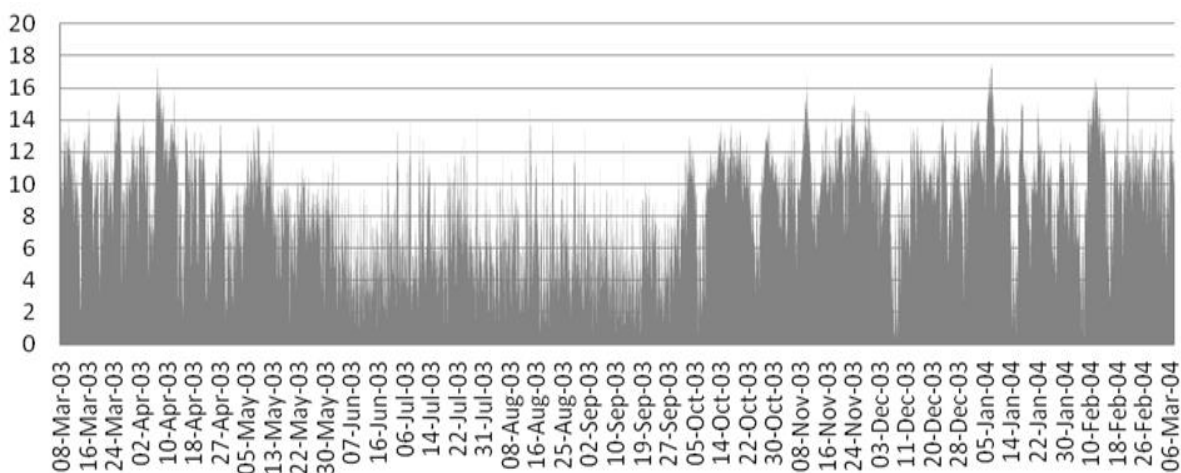


Рисунок 4 – Статистичні дані щодо швидкості вітру в географічній точці розміщення локальної ЕПС (період 08.03.2003 – 07.03.2004р.): 8760 середньогодинних значень швидкості вітру

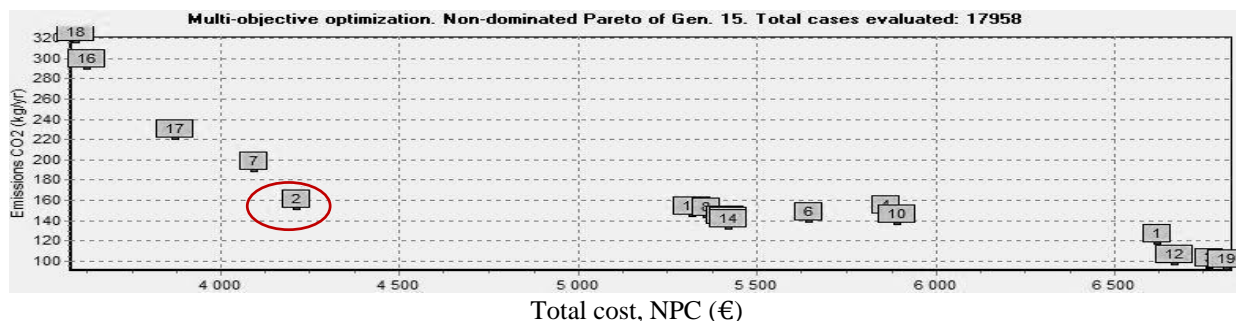


Рисунок 5 – Множина розв'язків БОЗ (фронт Парето), отримана в результаті пошуку конфігурацій КЕУ засобами ПІК iHOGA для географічних координат м. Києва

Щоб забезпечити реалізацію комерційних інтересів власника садиби, оснащеної КЕУ, максимальне проектне значення незадоволеного попиту встановлено на рівні 5%, тобто ~200 кВт·год/рік. У такому разі стимулюючий у вигляді привабливого збутового (зеленого) тарифу забезпечує підвищений обсяг генерування від ВДЕ, знижуючи в такий спосіб приведену вартість проекту КЕУ.

На рис. 6 наведено розрахункові дані для конфігураційного варіанту – розв'язку БОЗ, що входить до множини субоптимальних за Парето; у площині двох обраних критеріїв варіант зображено на рис. 5 номером «2» (другий із кращих недомінованих розв'язків, рекомендованих алгоритмом ранжування розв'язків моделі, що його виконує ПІК iHOGA). Основний обсяг генерування забезпечується вітроагрегатом ВЕУ, причому значна частина цієї енергії є надлишковою і із-зі технічних обмежень (пропускна здатність інверторного обладнання) не може бути передана до електричної мережі; водночас значний обсяг збуту забезпечує зниження собівартості виробленої електроенергії проектної КЕУ до рівня 0,05 Євро/кВт год – до рівня централізованого тарифу.

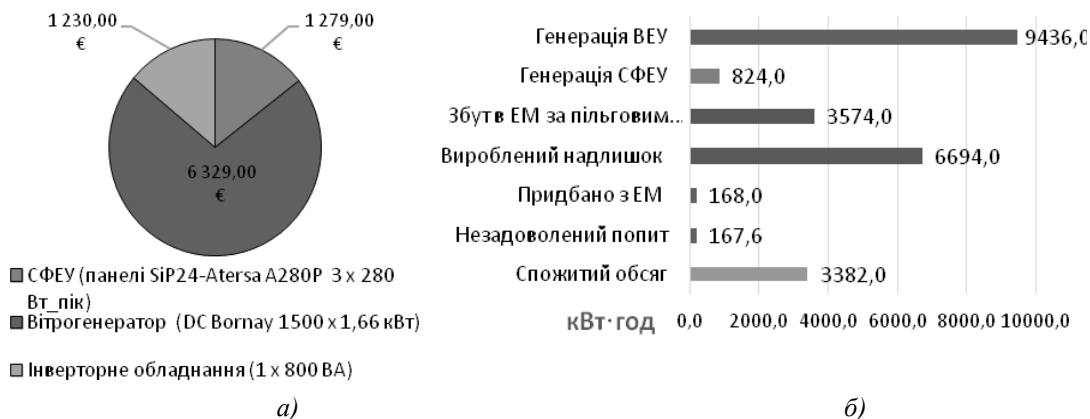


Рисунок 6 – Модельні розрахункові дані: а) капітальні витрати на облаштування КЕУ за проектом субоптимальної структури, позначеної «2» на лінії фронту Парето (рис. 5); б) – річний розрахунковий баланс КЕУ, в кВт год/рік

У разі високих вимог щодо безперервності електропостачання протягом розрахункового періоду (року), показник незадоволеного попиту споживання слід обмежити до рівня 0,5 – 1% (до 40 кВт год/рік), у зв'язку з чим система пропонує дорожчі конфігураційні варіанти. Зазвичай у таких випадках до складу КЕУ входить резервний накопичувач – акумуляторна батарея. Початкова вартість та експлуатаційні витрати на утримання такої системи в робочому стані зростають, відтак вищою є приведена собівартість виробленої електроенергії. Наприклад, субоптимальний розв'язок моделі з конфігурацією за номером «1» на рис.6 забезпечує незадоволений попит споживання на рівні 1,01% завдяки наявності у системі 10-и акумуляторних батарей типу Sonnenschien 27G5 (12В x 23,5 А год) та однієї додаткової фотоелектричної панелі А280Р у складі СФЕУ; загальна ємність АБ становить 2,8 кВт год_{емн.}. Розрахункові значення фінансово-економічних показників обох варіантів відображені у таблиці 3 для співставлення, а на рис. 7 зображено криві кумулятивного дисконтованого грошового потоку, у тис. Євро.

Таблиця 3 – Співставні фінансово-економічні показники за варіантами-розв'язками БОЗ: приведені видатки та доходи від господарської діяльності об'єкта електропостачання

Співставні фінансово-економічні показники	Варіант 2	Варіант 1
Початковий обсяг інвестицій (кап.вартість), €	7109	9125
Кредитні зобов'язання, €	3554,5	4562,5
Сума щорічних виплат за кредитом, €	913,8	1173,0
Приведені витрати на е/енергію, куплену з електромережі (від постачальника), €	202,2	41,3
Надходження від збуту е/енергії, €	4770	4943
Ефективна приведена вартість проекту, €	4212	6617
Співставна приведена вартість за проектом постачання 100% обсягу е/енергії з розподільної мережі протягом розрахункового терміну експлуатації (25 років), €	5476	5476
Приведена нормована собівартість, €/кВт год	0,05	0,08

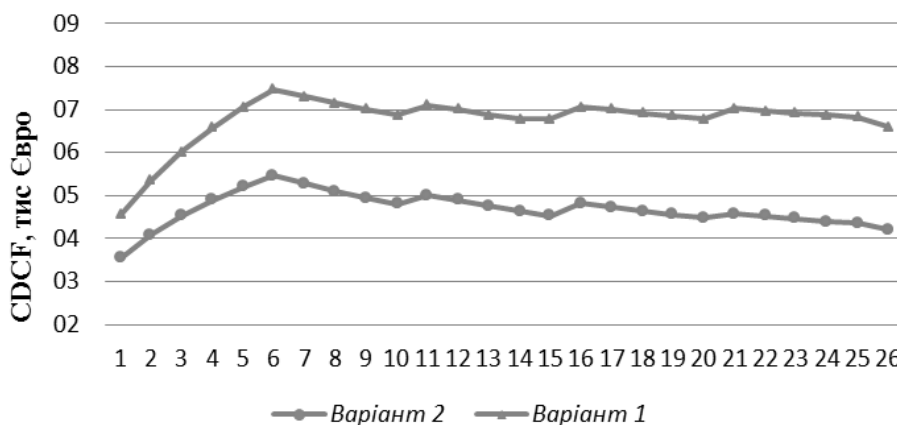


Рисунок 7 – Кумулятивний дисконтований грошовий потік за варіантами розв'язків БОЗ, тис. €

Висновки. Методологія побудови гібридної моделі на основі модифікованих генетичних алгоритмів МОЕА (SPEA і SPEA2 [14,15]) дійсно забезпечує якісні варіантні розв'язки складного багатокомпонентного об'єкта, яким є сучасна комбінована система енергопостачання (КЕУ) з використанням електрогенерації на основі технологій ВДЕ. Програмно-інформаційні комплекси відіграють важливе прикладне значення на етапі ескізного проектування сучасних КЕУ, допомагають інтерпретувати розв'язки складних систем з урахуванням стратегій керування. Основним спрямуванням таких програмних інструментів є сприяння розвитку електротехнічного матеріального виробництва, просування продукції національних виробників, обладнання придатного для конструювання й упровадження об'єктів малої енергетики в умовах реального конкурентного ринку та з урахуванням норм чинного законодавства у сфері електроенергетики.

Список використаної літератури

1. Стогній Б.С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні /Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. // Техн. електродинаміка. –2012. –№5. – С.52–67.
2. Костюк В.О. Техніко-економічні оцінки виробництва електроенергії фотоелектричними станціями і проблема валоризації відновлюваних джерел енергії в Україні / Костюк В.О., Шульженко С.В., Охріменко І.А. // Техн. електродинаміка. – 2014. –№5. – С.59–61.
3. Попов В.А. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей / В.А. Попов, Е.С. Ярмолюк, П.А. Замковой // Восточно-европейский журнал передовых технологий / Наук. журнал. – Харків, 2014. – № 2/2 (68). – С. 61–68.
4. Мхитарян Н.М. Комплексное использование энергии возобновляемых источников /Мхитарян Н.М., Кудря С.О., Яценко Л.В. та ін. // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №17. – С.15-22.
5. Ashok S. Optimized model for community based hybrid energy system /Renewable Energy. – Elsevier, 2007. – No32. – P. 1155-1164.
6. Prabhakant, Basant A., Tiwari G. Return on Capital and Earned Carbon Credit by Hybrid Solar and Wind Turbine Generators // Гелиотехника. Международный научный журнал. – Ташкент: 2010, №1. – P. 5-49.
7. Jamil M. Techno-Economic Feasibility Analysis of Solar Photovoltaic Power Generation: A Review / M.Jamil, Sh. Kirmani, M. Rizwan// Smart Grid and Renewable Energy. – 2012, No.3, P.266-274.
8. Bernal-Agustin J.L. Dufo-Lopez R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems 2009 //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. –V.13, P. 2111–2118.
9. Zitzler E, Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1999. – No.3(4). P.257-271.
10. HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm>
11. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы. Учебное пособие / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик; под. В.М. Курейчика. 2-е изд. испр. доп. – М.: Физматлит, 2006.– 320 с.
12. Dufo-López R., Bernal-Agustín JL. Multi-objective design of PV-wind-diesel-hydrogen-battery systems // Renewable Energy. – 2008, Volume 33, Issue 12. – Pp. 2559-2572.
13. Dufo-Lopez R, Bernal-Agustín JL, Contreras J. Optimization of control strategies for stand-alone renewable energy systems with hydrogen storage // Renewable Energy 2007. – No.32(7). – P.1102–1126.
14. Bäck T. Et al. Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators / Bäck T, Fogel DB, Michalewicz Z // Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2000.
15. Dufo-Lopez R., Bernal-Agustin J.L. et al. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage // Elsevier: Applied Energy 88. –2011. – P.4033-4041. DOI:10.1016/j.apenergy.2011.04.019.

V. Kostiuk

Institute of General Energy National Academy of Sciences of Ukraine

T. Baziuk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

APPLIED PROBLEMS OF HYBRID MODELING APPLICATIONS TO OPTIMIZE THE LOCAL ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS EQUIPPED WITH OWN GENERATING FACILITIES

The principles of modern software tools applicable for suboptimal electricity supply systems' structural and parametric multi-objective design are considered, namely, the advantageous features of the ones based on evolutionary algorithms and its effective use for further analytical studies. The modeling results of isolated combined power-supply unit suboptimal design, providing conversion and utilization of wind and solar energy flows have been presented. The system considered is capable to supply an excessively produced electricity to the grid.

Keywords: electricity supply, multi-objective design problem, genetic algorithms, project net present value, levelized energy cost, emission value equivalent.

References

1. Stogniy B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnik A.V. & Denysiuk S.P. (2012) Evoliutsia intelektual'nykh elektrychnykh mrezh ta jichni perspektyvy v Ukraini [The evolution of Smart Grids and their prospects in Ukraine]. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, No 5, Pp. 52–67, [in Ukrainian].
2. V.Kostiuk, S.Shulzhenko & I.Okhrimenko. (2014) Tekhniko-ekonomichni ocinky vyrobnyctva elektroenergii fotoelektrychnymy stantsiyamy I problema valoryzatsii vidnovliuvanykh dzherel energii v Ukraini [Feasibility assessment of photovoltaic electricity generation plant and valorization problem of renewable energy sources in Ukraine]. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, No 5, Pp.59–61, [in Ukrainian].
3. V.A. Popov, E.S. Yarmoliuk & P.A. Zamkovej (2014). Algoritm mnogokriterialnogo upravleniya rezhimami raboty microsetei [Algorithm of multi-objective control for microgrids operation] *Vostochno-Evropeiskij Zhurnal Peredovikh Tekhnologij – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 2/2 (68), Pp. 61–68, [in Russian].
4. Mkhitaryan N.M. Kudrya S.O, Yatsenko L.V. etc. (2013). Kompleksnoe ispolzovanie energii vozobnovliaemikh istochnikov [Integrated use of renewable energy sources]. *Alternativnaya energetika i ekologiya – Alternative energy and ecology*, №17, Pp.15-22, [in Russian].
5. Ashok S. Optimized model for community based hybrid energy system /*Renewable Energy*. – Elsevier, 2007. – No32. – P. 1155-1164.
6. Prabhakant, Basant A., Tiwari G. Return on Capital and Earned Carbon Credit by Hybrid Solar and Wind Turbine Generators // *Geliotechnika. International scientific journal*. – Tashkent: 2010, №1. – P. 5-49.
7. Jamil M. Techno-Economic Feasibility Analysis of Solar Photovoltaic Power Generation: A Review / M.Jamil, Sh. Kirmani, M. Rizwan// *Smart Grid and Renewable Energy*. – 2012, No.3, P.266-274.
8. Bernal-Agustin J.L. Dufo-Lopez R. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems 2009 //*Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2009. –V.13, P. 2111–2118.
9. Zitzler E, Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. – 1999. – No.3(4). P.257-271.
10. HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms). www.unizar.es – Retrieved from: <http://www.unizar.es/rdufo/hoga-eng.htm>[in English]
11. Gladkov L.A., Kyreichik V.V. & Kyreichik V.M. (2006) Geneticheskie algoritmy. Uchebnoe posobie [Genetic algorithms. Tutorial]. Moscow: Fizmatlit Publ. [in Russian].
12. Dufo-López R., Bernal-Agustín JL. Multi-objective design of PV–wind–diesel–hydrogen–battery systems // *Renewable Energy*. – 2008, Volume 33, Issue 12. – Pp. 2559-2572.
13. Dufo-Lopez R, Bernal-Agustín JL, Contreras J. Optimization of control strategies for stand-alone renewable energy systems with hydrogen storage // *Renewable Energy* 2007. – No.32(7). – P.1102–1126.
14. Bäck T. Et al. *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators* / Bäck T, Fogel DB, Michalewicz Z // Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2000.
15. Dufo-Lopez R., Bernal-Agustin J.L. et al. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV–wind–diesel systems with batteries storage // *Elsvier: Applied Energy* 88. –2011. – P.4033-4041. DOI:10.1016/j.apenergy.2011.04.019.

УДК 519.2:620.98+621.31

В.О. Костюк, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт общей энергетики НАН Украины
Т.Н. Базюк, асс.

**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ**

Проанализированы принципы построения и возможности использования для дальнейших аналитических исследований современных программно-информационных средств поиска субоптимальных структурно-параметрических решений систем электроснабжения путем решения многокритериальных оптимизационных задач на основе специальных алгоритмов эволюционного типа. Представлены результаты моделирования автономизированной комбинированной установки субоптимальной структуры, сконструированной с использованием промышленных компонентов, обеспечивающих преобразование энергии ветра и Солнца, а также организацию сбыта излишков произведенной электроэнергии в электросеть.

Ключевые слова: электроснабжение, многокритериальная оптимизационная задача, генетические алгоритмы, приведенная стоимость проекта, себестоимость электроэнергии, эквивалентный объем выбросов.

Надійшла 20.05.2016

Received 20.05.2016

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ОЕС УКРАЇНИ

Розглянуто та проаналізовано особливості побудови та функціонування віртуальних електростанцій та їх вплив на роботу ОЕС України. Представлено структурні одиниці VPP та варіанти їх сумісної роботи. Проаналізовано та структуровано основні характеристики джерел розосередженої генерації на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Розглянуто проблеми якості електроенергії, викликані наявністю відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії.

Ключові слова: віртуальні електростанції, розосереджена генерація, ОЕС України, якість електроенергії.

Вступ.

В світовій енергетиці спостерігається зростання кількості електростанцій та автономних систем електроживлення з використанням нетрадиційних та відновлюваних джерел електроенергії (НВДЕ). Не минула ця тенденція і України. За останні роки значно зросла частка джерел розосередженої генерації (РГ) на основі НВДЕ, приєднаних до ОЕС України. І величина їх встановленої потужності у загальному балансі щороку невпинно зростає [1]. Це, в першу чергу, стосується вітрових, сонячних, малих гідроелектростанцій і т. п. [1–3].

При роботі електростанцій виникає необхідність підвищення надійності та стійкості їх роботи, зменшення втрат електроенергії при її передачі, оптимізації графіків навантаження, забезпечення ефективної роботи на енергоринку.

Віртуальні електростанції (Virtual Power Plant – VPP) – це новий тип електричних станцій заснованих на розосереджених технологіях та стратегії керування Smart Grid систем. Використання VPP дозволяє використовувати переваги РГ та частково вирішити проблему забезпечення надійності в електричних мережах ОЕС України. Перш ніж проводити впровадження технологій VPP та території України необхідним є порівняти варіанти майбутнього розвитку енергосистеми (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз варіантів розвитку ОЕС України

Підхід до вирішення проблеми	Позитивний	Негативний
Традиційне рішення		
1. Інвестиції на реконструкцію з метою розширення	Використання відпрацьованих технічних та організаційних рішень; Можливість суттєвого збільшення кількості підключених споживачів.	Збільшення інвестиційного навантаження на тарифи; Відсутність відповідальності споживача (в т.ч. фінансової) за надлишкове замовлення потужності.
Інноваційне рішення		
2. Використання потенціалу існуючих потужностей мережі, управління споживанням та розподіленою генерацією на базі VPP	Додаткова можливість підключення споживачів до закритих центрів живлення; Оптимізація регулювання навантаження мережі; Потенціал зниження інвестиційного навантаження на тарифи (стримування тарифів)	Нормативне обмеження використання технології VPP; Відсутність відпрацьованих технологічних та організаційних рішень.

Отже, впровадження VPP призведе до таких позитивних змін з боку різних учасників ринку електроенергії:

1 Розподілені та магістральні мережі:

- більш прозора діяльність об'єктів розподіленої генерації і контроль їх активності на ринку;

- зниження пікових навантажень мережі за рахунок регулювання навантаження споживачів;
 - зниження ризиків збоїв мережі;
 - зниження рівня інвестицій в мережу;
 - Покращення контролю роботи негнучкої та непостійної розподіленої генерації та НВДЕ.
- 2 Збутові компанії:
- покращення контролю комерційного ринку;
 - новий рівень роботи зі споживачем, можливість пропонувати нові програми управління споживанням;
 - доступ до більш дешевих ресурсів;
 - покращення надійності енергопостачання;
 - покращений білінг.
- 3 Власники розподіленої генерації та споживачі:
- отримання оплати за гнучкість потужності, за участь в програмах управління споживанням;
 - можливість приймати участь на ринку в якості виробника, продаж електроенергії;
 - збільшення вартості активів;
 - більш продумане споживання електроенергії;
 - економія коштів за рахунок зниження споживання електроенергії (у випадку надання гнучкої потужності);
 -
- 4 Регулятор або системний оператор:
- збалансування та оптимізація ринку;
 - відкриття ринку для більш дрібних учасників;
 - отримання додаткової гнучкої потужності;
 - інтеграція об'єктів розподіленої генерації та об'єктів НВДЕ в систему, зберігаючи при цьому її стабільність;
 - зниження викидів CO₂.

Мета та завдання.

Метою дослідження є аналіз складових VPP та особливостей їхньої взаємодії з ЕМ ОЕС України. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Оцінити різні структури VPP та особливості взаємодії їх елементів між собою, з локальними мережами та з ОЕС України.
- Проаналізувати обмінні процеси при роботі різнотипних, різних за природою генераторів у складі VPP з різними параметрами.

Матеріал і результати дослідження.

Віртуальна електростанція (рис. 1) – це структура, що об'єднує в собі елементи трьох видів [4–7]: розосереджені генератори (вітроустановки, фотоелектричні станції, міні- та мікро- ТЕЦ та ін.); споживачі-регулятори навантаження (побутові та промислові); системи акумулювання енергії.

Формально моделі функціонування VPP можна поділити на наступні [3]:

1 Модель агрегатора: на ринку створюється незалежна енергосервісна організація (Агрегатор), що являє собою оператор VPP. Агрегатор активно підключає споживачів до власної VPP, при цьому учасникам виплачується винагорода за участь в так званих програмах «Управління споживанням», яке залежить від умов системного оператора конкретного ринку.

2 Традиційна модель (модель енергозбутової компанії): компанія, що працює на енергоринку, створює мережу, яка контролює різні об'єкти розподіленої генерації та гнучку потужність своїх споживачів.

3 Клієнтоорієнтована модель: споживачі встановлюють на своїй базі технологію VPP для забезпечення власних потреб. В даному випадку VPP використовується для управління власним споживанням. Наприклад, мережа великих супермаркетів таких як Wal-Mart в США, використовують подібні системи для контролю споживання електроенергії різними об'єктами (холодильні установки, кондиціонери, освітлення і т.п.) в магазинах по всій країні. Коли система виявляє, що котрийсь об'єкт споживає більше норми, подається сигнал менеджеру, прот даний пристрій.

Насправді в світі не існує якоїсь однієї «правильної» моделі функціонування VPP оскільки це залежить від енергоринку та його розвитку, а також від того, хто виступає ініціатором введення віртуальної електростанції в систем і які задачі необхідно вирішити. Оператором VPP може виступати мережена

компанія, системний оператор, збутова компанія або група збутових компаній, споживачі або група споживачів.

Великою перевагою VPP є те, що вона має інформацію про доступну генерацію та / або попит в наближеному до реального режимі часу на підключеній до VPP території. Крім вона є гнучкою з боку тої чи іншої генерації або доступно потужності споживача, оскільки система автоматично визначає найбільш ефективне джерело електроенергії в даний проміжок часу.

Зазвичай віртуальні електростанції приєднуються до мережі середнього або низького напруги. Елементи віртуальної електростанції можуть розташовуватися на значних відстанях один від одного. Зв'язують їх ланки мікромереж відомі на заході під терміном Microgrid. Характерною особливістю Microgrid є можливість роботи в автономному режимі.

Керування віртуальними електростанціями здійснюється дистанційно через систему EMS (Energy Management System), яка приймає інформацію про поточний стан кожної енергоустановки та передає на них керуючі сигнали. У EMS використовуються глобальна супутникова система навігації (GPS), за допомогою якої здійснюється синхронізація вимірювань комплексних значень струму та/або напруги на всіх енергоустановках віртуальної електростанції. Пристрої для таких вимірювань називають PMU (Phasor Measurement Units). Віртуальна електростанція може мати комерційне призначення (продаж електроенергії на оптовий ринок), технічне призначення (системні послуги – такі як регулювання частоти та активної потужності, підтримання якості електричної енергії тощо) або ж поєднувати обидві ці функції.

До функціональних можливостей віртуальних електростанцій можна віднести [2, 3]:

- 1) керування розосередженою генерацією (оптимізація режимів мережі);
- 2) керування споживанням електроенергії (співставлення графіків навантаження споживачів та джерел електроенергії);
- 3) керування ринком резерву потужності (можливість використання резервної потужності).

Сучасний набір технологій РГ включає в себе двигуни з використанням природного газу і дизельні двигуни, газові турбіни, паливні елементи, сонячні панелі, малі ГЕС та вітряні турбіни (табл. 2). Розосереджені технології зазвичай за своєю сумарною потужністю менші ніж 100 МВт. Вони дуже гнучкі з точки зору застосування і підходять для живлення цілого ряду споживачів електроенергії та механічної енергії [6–9]. Ці технології умовно можна поділити на «традиційні» та НВДЕ, вони призначені для задоволення конкретних потреб споживача у наданні електроенергії, тепла, пари або механічної енергії.



Рисунок 1 – Приклад структури віртуальної електростанції

Перевагами НВДЕ порівняно з традиційними джерелами живлення є:

- практична невичерпність;
- низька забруднюваність навколишнього середовища;
- відпадає необхідність у добуванні, переробці та доставці палива;
- немає потреби використовувати воду для охолодження, вилучати відходи або продукти розпаду;
- немає необхідності у дефіцитних високотемпературних матеріалах, за винятком сонячних концентраторів тепла;
- можуть працювати без обслуговування; немає потреби в транспортуванні енергії.

Основним недоліком більшості відновлюваних джерел енергії є непостійність їхнього енергетичного потенціалу.

Таблиця 2 – Характеристики джерел РГ на основі НВДЕ.

Характеристика	СЕС	ВЕС	МГЕС	Паливні комірки	ГТУ	ПГУ	ДГ
Наявність	Залежно від географічного положення	Залежно від географічного положення	Залежно від географічного положення	Завжди	Завжди	Завжди	Завжди
Вихідний сигнал	Постійний струм	Постійний / змінний струм	Змінний струм	Постійний струм	Змінний струм	Змінний струм	Змінний струм
Керування	Некерований	Некерований	Некерований	Керований	Керований	Керований	Керований
Перетворювач	Перетворювач типу (DC-DC-AC)	Перетворювач типу (AC-DC-AC)	Синхронний або асинхронний генератор	Перетворювач типу (DC-AC)	Немає	Немає	Немає
Вид палива	Енергія Сонця	Енергія вітру	Енергія річок	Енергія хімічних реакцій	Природний та біогаз	Природний та біогаз	Продукт і нафтопереробки
ККД	6-20%	1-35%	92-94%	до 85 %	30-45%	20-40%	30-45%
Встановл. потужність	до 1 МВт	0,1-2,5 МВт	до 10 МВт	5 кВт – 5 МВт	0,1-30 МВт	30 кВт – 10 МВт	до 6 МВт
Можливість роботи по графіку	Обмежено	Обмежено	Можливо	Можливо	Можливо	Можливо	Можливо
Рівень ПГ	Немає	Немає	Немає	Немає	Високий	Високий	Високий

*AC – змінний струм (Alternating Current), DC – постійний струм (Direct Current).

Впровадження джерел РГ впливає на ланки розподілу VPP та перетворює їх на активні елементи. Це призводить до необхідності внесення змін (або перегляду та модернізації) у прийнятті стратегії керування, експлуатації та планування структури та режимів роботи VPP. При цьому їхній вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно ретельно проаналізувати питання приєднання джерел РГ у VPP. Більшість джерел РГ під'єднані до мережі за допомогою перетворювачів котрі повинні забезпечувати необхідну якість електричної енергії. Тим не менш, висока частота перемикання вентильних елементів в перетворювачах може зумовлювати додаткові гармоніки напруги та струму в ЛЕС та знижувати якість електричної енергії [7,9].

Встановлення джерел живлення РГ неподалік від навантаження може змінювати напрямок потоків потужності [8,9]. Встановлення джерел РГ може як збільшувати, так і зменшувати втрати потужності у VPP, що в основному залежить від місць розташування та потужності джерел РГ, їхнього $\cos\phi$, а також від топології (конфігурації) VPP тощо.

Можна виділити два різновиди впливу РГ на напругу в VPP: вплив на рівні напруги в усталеному режимі роботи VPP та вплив РГ на коливання напруги VPP [7,10]. Встановлення джерел РГ має досить суттєвий вплив на якість електричної енергії, а також на стабільність та надійність функціонування VPP.

Джерела РГ призводять до зростання дози флікера, можуть генерувати гармоніки вищих порядків, а також впливають на провали напруги, що здебільшого пов'язано із типом генератора [5] (табл. 3).

Таблиця 3 – Проблеми з якістю електроенергії, викликані наявністю НВДЕ

Порушення ПЯЕ	ВЕС	СЕС	МГЕС	ДГ
Провисання / стрибки напруги	+	-	+	+
Падіння / перенапруга	+	-	-	+
Дисбаланс напруг	-	+	-	-
Коливання напруги	+	-	-	-
Гармоніки напруги	+	+	+	-
Флікер	+	+	-	+
Гармоніки струму	+	+	+	-
Переривчатий характер генерації	+	+	-	-

Узагальнюючи вищевикладене, можна виокремити перелік обов'язкових заходів в системах з джерелами РГ:

- забезпечення постійного рівня частоти;
- забезпечення резервних потужностей (підвищення надійності);
- компенсація реактивної потужності (причиною появи якої є джерела РГ з пристроями СЕ).

Водночас можна виділити наступні переваги для загальної мережі:

- забезпечення додаткових резервних потужностей енергосистеми при генерації ел. ен. в мережу;
- підвищення якості електропостачання (можливість автономного функціонування при аварійних відключеннях в енергосистемі);
- підтримка рівнів напруги та потужності в обмежених ділянках загальної мережі при генерації від джерел РГ.

Вищезазначені проблеми, а також проблеми нестабільності роботи НВДЕ, що зазвичай викликані їх нерівномірністю, природними чинниками (нестабільність вітру, нічний час, засуха і т.ін.), вирішують за допомогою використання гібридних джерел електроживлення у складі VPP (табл. 4) [13].

Ефект від впровадження для споживача проявиться в підвищенні надійності, енергетичної та економічної ефективності електропостачання. Також перевагою є можливість отримання доходів від продажу надлишків електроенергії в мережу та забезпечення резервних потужностей.

Для енергосистеми це призведе до зниження пікових навантажень мережі, оптимізації регулювання навантаження і режимів мережі, інтеграції віртуальних електростанцій в систему зі збереженням її стабільності, а також збільшення базової потужності АЕС в ОЕС України, зменшення незатребуваної потужності та рівня інвестицій в мережу.

Таблиця 4 – Варіанти поєднання гібридних електрогенеруючих вузлів

№ з/п	Вітрові електростанції (ВЕС)	Сонячні електростанції (СЕС)	Біо-електростанції (БЕС)	Малі гідро-електростанції (МГЕС)	Малі гідроакumuлюючі електростанції (МГАЕС)
1	+	+	-	-	-
2	+	-	-	+	-
3	-	+	-	+	-
4	+	+	-	+	-
5	+	-	-	+	+
6	-	+	-	+	+
7	+	+	-	+	+
8	+	+	+	-	-
9	+	+	+	+	-
10	+	+	+	+	+

Отже, якщо джерела РГ використовуються в VPP тільки як резервні джерела живлення, то можна стверджувати, що надійність системи живлення підвищується. Але коли джерела РГ працюють паралельно із системою, то надійність електропостачання споживачів у деяких випадках може знижуватись. При цьому досить гостро постає проблема автономної роботи джерел РГ [9].

Більш ефективним засобом підвищення надійності електропостачання при виникненні порушень є формування збалансованої структури VPP, яка не обмежується лише джерелом РГ і автономним навантаженням, а охоплює певні фрагменти електромереж зі збалансованою генерацією та

навантаженням. Вказане рішення дозволяє більш ефективно використовувати встановлену потужність джерел РГ, суттєво підвищити надійність та розширити зону охоплення електроспоживачів. Адаже кожна група споживачів має свої особливості. Побутові споживачі (пральні машини, холодильники, телевізори, мікрохвильові печі, системи кондиціонування приміщень, нагрівальні елементи тощо) є найбільш легко керованими. Керованість навантаження промислових споживачів в основному залежить від гнучкості їх технологічних процесів. Для деяких процесів підвищують гнучкість за рахунок систем акумулювання енергії. Системи акумуляції можуть накопичувати енергію в різних формах (теплової, електричної, механічної та хімічної). Для побутових споживачів оптимальним варіантом є акумулювання тепла (по режимам роботи теплоакумулюючі системи добре координуються з мікро-ТЕЦ). Для промислових споживачів оптимальними накопичувачами є акумуляторні батареї. Система акумулювання енергії вибирається виходячи з області застосування і вартості накопичувачів з урахуванням, за необхідності, географічного чинника [10–12].

Для розв'язання задачі оцінювання енергетичних процесів у наведених системах та при виборі параметрів коригуючих пристроїв (КП) доцільно використовувати такий показник, як реактивна потужність за Фризе (Q_{Φ}) для оцінки неоптимальності протікання енергетичних процесів. Для забезпечення можливості урахування несинусоїдальних режимів у VPP і нелінійності та нестационарності навантажень запропоновано виконувати декомпозицію реактивного струму:

$$Q_{\Phi}^2 = U_D^2 \cdot I_p^2 = U_D^2 (I_{p1}^2 + I_{p2}^2) = Q_{\text{Е.х.}}^2 + Q_{\text{І.х.}}^2, \quad (1)$$

де $Q_{\text{Л.ч}}$ – реактивна потужність, яку можна скомпенсувати лінійною частиною двополюсника (що складається з лінійних індуктивностей та ємностей);

$Q_{\text{Н.ч}}$ – реактивна потужність, яку можна скомпенсувати за допомогою «нелінійної частини» двополюсника,

$$Q_{\text{Е.х.}}^2 = U_D^2 \sum_{k=1}^N \frac{I_{m(k)}^2 \sin^2(\varphi_k)}{2} \quad (2)$$

$$Q_{\text{І.х.}}^2 = U_D^2 \left[\left(I_0 - \frac{PU_0}{U_D^2} \right)^2 + \sum_{n,k,n \neq k} \frac{(I_{m(k)} \cos \varphi_k - PU_{m(k)} / U_D^2)^2}{2} + \sum_{n,k,n \neq k} \frac{I_{m(k)}}{2} + \frac{1}{2} \sum_{k,k \neq n} (PU_{m(n)} / U_D^2) \right], \quad (3)$$

де I_0 – постійна складова струму;

P – активна потужність навантаження;

U_0 – постійна складова напруги;

$I_{m(k)}$ – амплітудне значення гармоніки струму, відповідної гармоніки напруги;

$U_{m(k)}$ – амплітудне значення гармоніки напруги, відповідної гармоніки струму;

$I_{m(n)}$ – амплітудне значення гармоніки струму, для якої немає відповідної гармоніка напруги;

$U_{m(n)}$ – амплітудне значення гармоніки напруги, для якої не існує відповідна гармоніка струму;

$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}$ – діюче значення напруги.

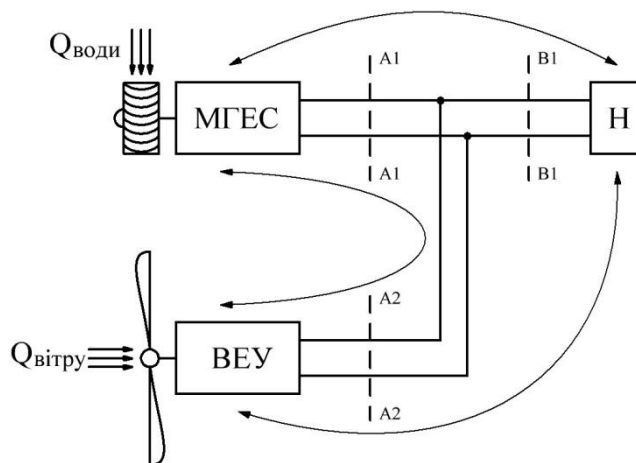


Рисунок 2 – Схема паралельної роботи мікро ГЕС та ВЕУ

Для аналізу обмінних процесів у системі з двома генераторами обрано початкові параметри (діюче значення напруги на навантаженні складає 220 В). Проведено розрахунки напруги між точками в перетині $B1-B1$: $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ та струму, що протікає в системі при відключеному навантаженні $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$.

Обмінні процеси між елементами системи VPP можна оцінити за допомогою обмінної потужності [12], яку визначають за формулою:

$$Q_{об} = \frac{1}{2T} \int_0^{T^+} u(t) \cdot i_p(t) dt$$

де $u(t)$ – миттєва напруга генератора;

$i_p(t) = i(t) - i_a(t)$ – реактивна складова струму;

$i_a(t) = \frac{u(t) \cdot P}{U_D^2}$ – активна складова струму;

$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}$ – діюче значення напруги;

$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$ – активна потужність через перетин.

На рис.3 наведені графічні залежності між обмінною потужністю та кутом ЕРС базисного генератора (гідрогенератора). Функціональні залежності розглядалися для різних типів сигналів.

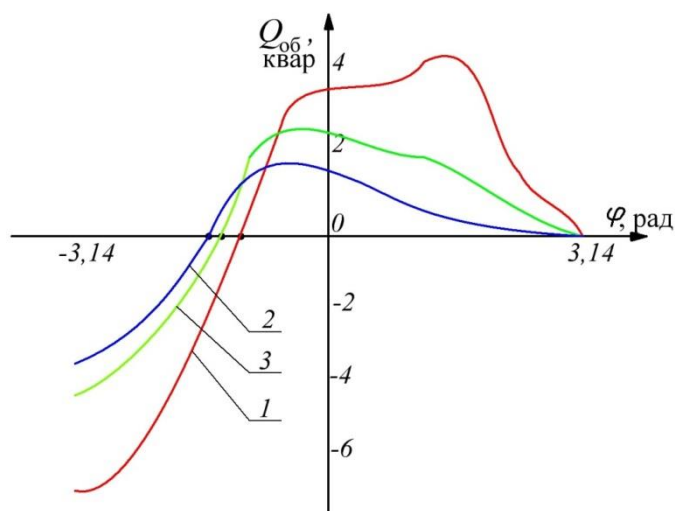


Рис. 3 Залежність обмінної потужності від кута зсуву фаз при дії основної гармонічної складової джерела перешкод

Аналіз графіків на рис. 3 показує, що незалежно від навантаження в системі з двома, або більше генераторами відбуватимуться перетоки енергії. З рисунку видно, що існують інтервали часу, під час яких обмінна потужність змінює знак. За допомогою цих інтервалів, можна проаналізувати періоди генерації та споживання електроенергії генераторами системи VPP. (додати опис)

Висновки.

Здійснено спів ставний аналіз структур і різних типів генераторів електроенергії у складі VPP. Виконано аналіз впливу різних генераторів на показники якості електроенергії в локальних мережах. Виділено переваги та недоліки при спільній роботі різних генераторів у складі VPP, як з боку споживача, так і мережі.

Проведено аналіз спільної роботи вітрової та гідро установок. Побудовано функціональні залежності між обмінною потужністю та кутом зсуву фаз, між напругою та струмом. Проаналізовані залежності

свідчать, що незалежно від форми початкового сигналу характеристики матимуть подібний характер та форму. Визначено інтервали часу, в які базовий генератор споживатиме та генеруватиме електроенергію.

Список використаних джерел

1. Білодід В.Д. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білодід, К.В. Таранець. // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №8. – С. 40–47.
2. Кечкин А.Ю. Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid / А.Ю. Кечкин, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо. – 2015. – С. 50–55.
3. Виртуальная электростанция – «умный контроль» распределенной генерации. // Энергетика и промышленность России. – 2014. – №8.
4. Денисюк С.П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах / С.П. Денисюк, Т.М. Базюк, Д.Г. Дерев'яно // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського – 2013. – №3(80). – С. 54 – 59.
5. Денисюк С.П. Аналіз проблем впровадження віртуальних электростанцій [Текст] // С.П. Денисюк, Д.С. Горенко / Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №2. – С. 25 – 33
6. Кириленко О.В., Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко // Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С.46–53.
7. Праховник А.В. Стан та перспективи інтеграції децентралізованої генерації в єдину систему енергопостачання / А.В. Праховник, О.В. Кулик // Праці ІЕД НАНУ спец. Випуск – 2006. – с. 39 – 42.
8. Стогній Б.С. Розвиток інтелектуальних електричних мереж на основі положень концепції SMART GRID / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. // Інститут електродинаміки НАН України. – 2012. – С. 5–13.
9. Стогній Б.С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні [Текст] / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
10. Денисюк С.П., Особливості аналізу впливу завод від різномірних типів джерел розосередженої генерації на процеси в навантаженнях / Денисюк С.П., Дерев'яно Д.Г., Щербань К.Ю. // «Журнал инженерных наук» – 2014. – № 2. – С. В 1–В 7.
11. Горенко Д.С. Обмінні процеси при паралельній роботі вітро- та гідро- електроенергетичних установках [Текст] // Д.С. Горенко / XVI Міжнародна науково-практична конференція Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті. – 2016. – С. 149 – 152
12. Denysiuk S. Analysis Of Exchangeable Processes During Parallel Operation Of Wind Power Plants [Текст] / S. Denysiuk, D. Horenko // Eastem-European Journal of Enterprice Technologies – 2016. – 4/8(82). – С. 26 – 32.

Derevianko D.G., Horenko D.S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” MAIN FEATURES OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF VIRTUAL POWER PLANTS WHILE THE DEVELOPMENT OF UES OF UKRAINE

The features of construction and operation of virtual power plants and their impact on the work of UES of Ukraine are analyzed. VPP structural units and options for their collaboration are presented in this paper. The main characteristics of distributed generation sources based on alternative and renewable energy sources are analyzed and structured. The problems of power quality caused by the availability of renewable and alternative energy sources are considered.

Keywords: virtual power plants, distributed generation, UES of Ukraine, power quality.

References

1. Blodd V.D. Mala Energetyka ta - znachennya in regonline systems of the future / V.D. Blodd, K.V. Taranets. // The problems zagalna energy. – 2008. – №. 8. – P. 40-47.
2. Kechkin A.U., Issues of creation of virtual power plants at the scale of Micro-Grid / A.U. Chechkin, E.N. Sosnin, A.V. Saluja. – 2015. – P. 50-55.
3. Virtual power plant – "smart control" of distributed generation. Power and industry of Russia. – 2014. – № 8.
4. Denisyuk S.P. Onca effektivnost Sumska of work resserected jerez generic electroenergy, ukljucujuci vanbladel, elektroenergetyczny systems / S.P. Denisyuk, T.M., Buzuk, D.G. Derevianko // Visnyk Kremenchutskaja national University imeni Mikhaila Ostrogradskogo – 2013. – №3(80). – P. 54 – 59.

5. Denisyuk S.P. Anals problems vprovadzheniya virtualnih of elektrostantsiy [Text] / S.P. Denisyuk, D.S. Gorenko / Energy: economy, technology, ecology. – 2016. – № 2. – P. 25 – 33
6. Kyrylenko O.V., Technon aspect vprovadzheniya jereh raspodele generic in elektrichnih the traps / O.V. Kirilenko, V.V. Pavlovskii, L.M., Yanenko Look// Tech. elektrodynamika. – 2011. – № 1. – P. 46–53.
7. Prakhovnik A.V. Mill ta progress and prospects ntegrat decentralizovanno General in a United system energopostachalna / A.V. Prohovnik, O.V. Kulik // Pratsi ED the NAS spec. The issue – 2006. – P. 39 – 42.
8. Stogniy B.S. Rozvytok intelektualna elektrichnih traps on snow polozani concepts SMART GRID / B.S. Stogniy, O.V. Kyrylenko, S.P. Denisyuk. // Elektrodinamiki Institute of NAS of Ukraine. – 2012. – P. 5-13.
9. Stogniy B.S. Evolution intelektualna elektrichnih traps that HN, progress and prospects in Ukraine [Text] / Stogniy B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnyk A.V., Denysiuk S.P. // Technical. elektrodynamika. – 2012. – № 5. P. 52-67.
10. Denisyuk S.P., Features analso vpliva Zabad from rsenic tips jereh resoureces generic on Procesi in navantazheniya / Denisyuk S.P. Derevianko, D.G., Shcherban K.Y. // "Journal of engineering Sciences" in 2014. – № 2. – P. 1–7.
11. Horenko D. S. Exchangeable processes in parallel operation, wind and hydro - electric power plants [Text] // D. S. Gorenko / XVI Miniratna science-practical conference Vanousova the energy efficiency in XXI Stolt. – 2016. – P. 149 – 152
12. Denysiuk S. Analysis Of Exchangeable Processes During Parallel Operation Of Wind Power Plants [Text] / S. Denysiuk, D. Horenko // Eastem-European Journal of Enterprice Technologies– 2016. – 4/8(82). – P. 26 – 32.

УДК 621.31

Деревянко Д.Г., ассистент, Горенко Д.С.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ОЭС УКРАИНЫ**

Рассмотрены и проанализированы особенности построения и функционирования виртуальных электростанций и их влияние на работу ОЭС Украины. Представлены структурные единицы VPP и варианты их совместной работы. Проанализированы и структурированы основные характеристики источников распределенной генерации на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Рассмотрены проблемы качества электроэнергии, вызванные наличием НВИЭ.

Ключевые слова: виртуальные электростанции, распределенная генерация, ОЭС Украины, качество электроэнергии.

Надійшла 09.10.2016

Received 09.10.2016

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

УДК 621.311.1

Б.В. Циганенко,
Національна комісія, що здійснює державне
регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг,
В.В. Кирик, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЗЕРВНИХ ПЕРЕМИЧОК РОЗПОДІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Представлено метод багатоцільової оптимізації конфігурації розподільної мережі в післяаварійних режимах з використанням теорії нечітких множин. Синтезовано нечіткий логічний контролер для визначення рейтингів вимикачів резервних перемичок з врахуванням втрат напруги в найвіддаленішій ділянці, коефіцієнта потужності на головній ділянці з допустимості режиму по струму. Передатна характеристика синтезованого нечіткого логічного контролера дозволяє визначити за вхідними характеристиками параметрами мережі рейтинг комутаційних елементів резервних перемичок для різних конфігурацій схем мережі та сформувати дві резервні перемички з максимальними значеннями рейтингів, для яких уточнюються втрати потужності, і за мінімальним значенням втрат приймається рішення щодо використання даної перемички.

Ключові слова: розподільні мережі, реконфігурація, оптимізація, нечітка логіка

Вступ

Розподільні мережі організовано за радіальними схемами: від центру живлення до споживачів відходять протяжні фідери з відгалудженнями. Із цієї причини пошкодження на будь-якій ділянці такої мережі призводить до відключення споживачів по всій довжині лінії і, що часто спостерігається, – на тривалий термін. Для забезпечення безперебійності електропостачання в разі аварійного відключення фідера, живлення здійснюється через резервні перемички від сусідніх фідерів.

При проектуванні розподільних мереж в основі прийняття рішення щодо розміщення комутуючих елементів резервних перемичок у схемі мережі для забезпечення електропостачання в післяаварійних режимах, а також у процесі експлуатації, для покращення ефективності функціонування мереж, необхідно вирішувати складну задачу багатоцільової оптимізації. При тому, що реконфігурація схеми мережі виконується за умови обмежень на втрати потужності, рівень напруги, надійності і неоднорідності мережі з урахуванням нелінійності поточкорозподілу та допустимості режиму.

На сьогодні управління конфігурацією мережі стає важливою частиною менеджменту електричних мереж. Досить велика кількість наукових праць відображає різні підходи до вибору оптимальної конфігурації розподільної мережі, але в основній частині вони приймають за критерій оптимальності втрати потужності, а обмеженням виступають відхилення напруги або струми в вітках.

Одним з напрямків наукових досліджень щодо реконфігурації мережі, спрямований на зменшення втрат електричної енергії, є реалізація алгоритму перебору варіантів схем, за яким всі вимкнені комутаційні апарати в схемі послідовно вимикаються з метою розмикання замкнених контурів для визначення радіальних відгалуджень [7]. Використовуються індексні методи визначення ступеня порушення певних обмежень в пунктах схеми та індексації відгалуджень за втратами електроенергії [8]. В методі, викладеному в роботі [6], пропонується перенесення навантаження між пунктами для зменшення втрат по відгалудженнях та симетрування навантаження. Мають місце і методи перенесення навантаження за умови обмежень потоків потужності і рівнів напруги в пунктах [5], а також розподіл мережі на збалансовані підсистеми [9]. В роботах [1, 2] для визначення місць секціонування розподільної електричної мережі запропоновано оцінку якості функціонування розподільної електричної мережі за критерієм, який отримано при поєднанні теорії марковських процесів та критеріального методу.

На практиці, оптимальні місця зв'язку між фідерами формують в точках поточкорозподілу вихідної замкнутої (радіально-кільцевої) мережі за результатами розрахунку поточкорозподілу в R-схемі. Для оцінки економічності режимів розподільних мереж персонал структурних підрозділів енергосистеми щорічно розробляє так звану «нормальну» схему експлуатації з чітко встановленими точками розмикання контурів та формуванням радіальної топології з умовами роботи засобів захисту та автоматики.

Мета та завдання

Виходячи зі світової концепції формування інтелектуальних систем Smart Grid, пріоритетом якої є підвищення надійності та ефективності функціонування електричних мереж, авторами запропоновано метод визначення оптимальної конфігурації розподільної мережі шляхом аналізу режиму вихідної розімкненої мережі на основі математичного апарату нечіткої логіки, який дозволяє проводити оптимізацію одночасно за декількома критеріями.

Мета роботи – розробка методу визначення оптимальної конфігурації розподільної мережі, а точніше – місць розташування резервних комутаційних переминок для забезпечення мінімальних втрат електроенергії при реконфігурації схеми у разі аварійних вимикань фідерів.

Особливість методу полягає не в комбінаторному перенесенні навантаження між фідерами, шляхом замикання комутуючих елементів, введених в схему переминок та розмикання комутуючих елементів в основних пунктах живлення фідерів, а в знаходженні конфігурації схеми шляхом визначення нечітким логічним контролером (НЛК) рейтингу комутуючих елементів можливих резервних переминок за трьома критеріями (падіння напруги на кінцевій ділянці, значення струму та коефіцієнта потужності на головній ділянці) з подальшим знаходженням оптимальної перемички за мінімальним втратами електроенергії для комутуючих елементів (вимикачів) з максимальним значенням рейтингу.

Матеріал і результати досліджень

Розглянемо два фідери $f1$ та $f2$, які відходять від шин підстанції живлення ПС (рис.1а). Почерговим вимиканням одного з фідерів формуємо структури дерев мережі в післяаварійному режимі. Зв'язуючими елементами між ділянками двох фідерів будуть вимикачі Q_i , які і визначають кількість варіантів $N = 2i$ конфігурації мережі, тобто i - при живленні по одному фідеру та i – по другому. Для кожного варіанту реконфігурованої мережі проводимо моделювання усталених режимів із визначенням таких параметрів:

потокорозподіл по ділянках

$$P_{n-1} = P_n + r_n \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2}, \quad (1)$$

$$Q_{n-1} = Q_n + x_n \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_n^2}; \quad (2)$$

напруга в пункті f

$$U_f = \sqrt{U_0^2 - 2 \sum_{n=1}^f (P_{nn} r_{nn} - Q_{nn} x_{nn})}; \quad (3)$$

струм на головній ділянці

$$I_0 = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^f (P_{nn}^2 + Q_{nn}^2)}}{\sqrt{3} U_0}; \quad (4)$$

коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ на головній ділянці

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \frac{\sum_{n=1}^f P_{nn}}{\sum_{n=1}^f Q_{nn}} \right); \quad (5)$$

сумарні втрати потужності по фідеру

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum_{n=1}^f (\Delta P_n + J \Delta Q_n). \quad (6)$$

Указані перші п'ять параметрів (1), (2), (3), (4), (5), які розраховані для i конфігурацій схем по кожному фідеру живлення, визначають вхідні лінгвістичні змінні нечіткого логічного контролера. Вихідною лінгвістичною змінною контролера є рейтинг «rating» R_{i1} та R_{i2} активного елемента (вимикача Q_i), тобто НЛК формує множину рейтингів $\{R_{11}, R_{21}, \dots, R_{i1}\}$ вимикачів Q_i в схемі живлення від першого $f1$ фідера та множину рейтингів $\{R_{12}, R_{22}, \dots, R_{i2}\}$ тих же вимикачів в схемі живлення від другого $f2$ фідера. В подальшому визначається максимальний рейтинг на одній та другій множині

$$R_{k1} = \max\{R_{11}, R_{21}, \dots, R_{i1}\}, \quad R_{l2} = \max\{R_{12}, R_{22}, \dots, R_{i2}\},$$

де k – номер вимикача з максимальним рейтингом, при $1 \leq k \leq i$, для одного фідера і l – номер вимикача з максимальним рейтингом, для другого фідера при $1 \leq l \leq i$.

У випадку, коли вимикач має максимальні рейтинги при живленні від фідерів $f1$ та $f2$, тобто $k = l$, номер вимикача для резервної перемички визначається однозначно.

В інших випадках, коли вимикач може мати максимальний рейтинг при живленні схеми від одного фідера, і нижчий максимального при живленні від другого, номер вимикача для резервної перемички визначається шляхом визначення мінімального значення сумарних втрат потужності для конфігурацій схем з перемичками, що реалізовані вимикачами Q_k та Q_l , які мають в одному з варіантів схеми максимальний рейтинг

$$\min[(\Delta S_{\Sigma}^{kf1} + \Delta S_{\Sigma}^{kf2}), (\Delta S_{\Sigma}^{lf1} + \Delta S_{\Sigma}^{lf2})] \Rightarrow (Q_k | Q_l), \quad (7)$$

де $\Delta S_{\Sigma}^{kf1}, \Delta S_{\Sigma}^{kf2}$ – сумарні втрати потужності для конфігурації схем з перемичкою, яка реалізована вимикачем Q_k , відповідно, при живленні від фідерів $f1$ та $f2$; $\Delta S_{\Sigma}^{lf1}, \Delta S_{\Sigma}^{lf2}$ – сумарні втрати потужності для конфігурації схем з перемичкою, яка реалізована вимикачем Q_l , відповідно, при живленні від фідерів $f1$ та $f2$.

Для реалізації представленого методу визначення місця резервної перемички між фідерами за рейтингом вимикача синтезовано нечіткий логічний контролер (НЛК), який виконує аналіз режимних параметрів конфігурацій схем мережі на основі математичного апарату нечітких множин. Прийняття логічного рішення щодо встановлення рейтингу вимикача виконується за алгоритмом Мамдані [3, 4] з вихідною лінгвістичною змінною рейтингу «rating» (R), яка включає п'ять нечітких змінних {низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий} або в вигляді терм множини $R=\{l, lm, m, hm, h\}$. Нечіткі змінні l та h представлені Z та S сплайн-функціями належності, а всі інші - трикутними. Графічне представлення розміщення терм множини лінгвістичної змінної «rating» на прийнятому діапазоні рейтингу в межах від 1 до 5 показано на рис.2.

Вхідна лінгвістична змінна «відхилення напруги», яка позначена термом dU включає п'ять нечітких змінних {негативне дуже високе, негативне високе, нормальне, позитивне високе, позитивне дуже високе} або в вигляді терм множини $dU=\{nvh, nh, n, ph, pvh\}$. Нечіткі змінні nvh та pvh представлені Z та S сплайн-функціями належності, а всі інші - трикутними. Графічне представлення розміщення терм множини лінгвістичної змінної « dU » з гранично допустимим відхиленням напруги $\pm 10\%$ на прийнятому діапазоні $[-1,1]$ в відносних одиницях показано на рис.3а.

Вхідна лінгвістична змінна «струм», яка позначена термом $Curr$, включає дві нечітких змінних {допустимий, недопустимий} або в вигляді терм множини $Curr=\{p, np\}$, представлені Z та S функціями належності. Графічне представлення розміщення терм множини лінгвістичної змінної «Струм» на прийнятому діапазоні $[0,1]$ в відносних одиницях показано на рис.3б.

Вхідна лінгвістична змінна «коефіцієнт потужності», яка позначена термом cos включає три нечітких змінних {низький, середній, високий} або в вигляді терм множини $cos=\{l, m, h\}$. Нечіткі змінні nvh та pvh представлені Z та S сплайн-функціями належності, а m – трикутною. Графічне представлення розміщення терм множини лінгвістичної змінної « cos » на прийнятому діапазоні $[0,1]$ в відносних одиницях показано на рис.3в.

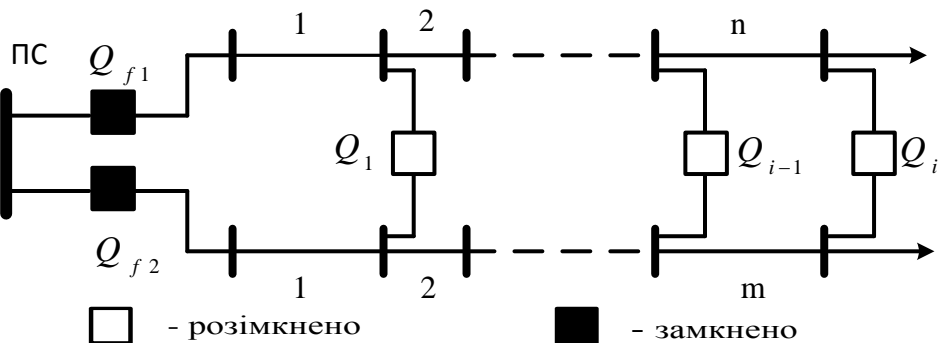


Рисунок 1 – Схема мережі з двома фідерами живлення в нормальному режимі

База знань включає 16 правил, 15 з яких представлено в таблиці, і додатково введено правило реагування контролера на недопустимі значення струму: Якщо $Curr \in np$, тоді $rating \in l$. Всі правила мають ваговий коефіцієнт на рівні одиниці.

Приклад процедури визначення рейтингу вимикача перемички від режимних параметрів відхилення напруги в найвіддаленому пункті мережі в післяаварійному режимі, струм та коефіцієнт потужності на головній ділянці нечітким логічним контролером представлено на рис.4.

Передатна характеристика синтезованого нечіткого логічного контролера дозволяє визначити по вхідних розрахункових параметрах мережі рейтинги комутаційних елементів резервних перемичок для різних конфігурацій схем мережі та сформувані дві резервні перемички з максимальними значеннями рейтингів, для яких уточнюються втрати потужності, і за мінімальним значенням втрат приймається рішення щодо використання даної перемички.

Розроблений метод реконфігурації схеми розподільної мережі в післяаварійному режимі на основі синтезу нечіткого логічного контролера дає можливість на етапі проектування розподільної мережі визначити місце резервної перемички між двома фідерами на основі нечіткого логічного висновку щодо рейтингу комутуючих елементів в резервних перемичках та сформувати конфігурацію розподільної мережі з оптимальним поточкорозподілом при мінімальному значенні втрат електроенергії з урахуванням характеру навантаження в мережі за допустимості режиму.

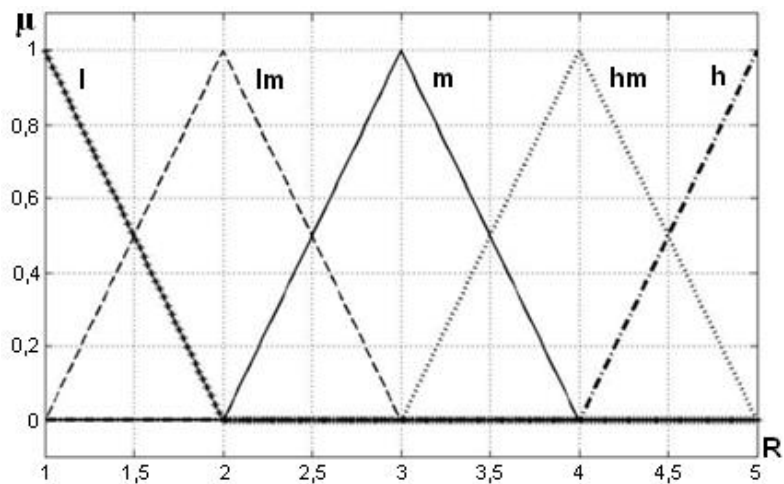


Рисунок 2 – Терм-множина лінгвістичної змінної R «rating»

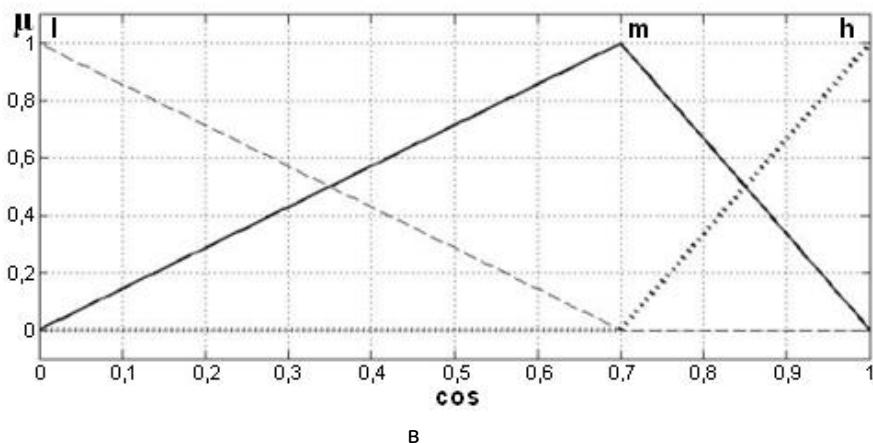
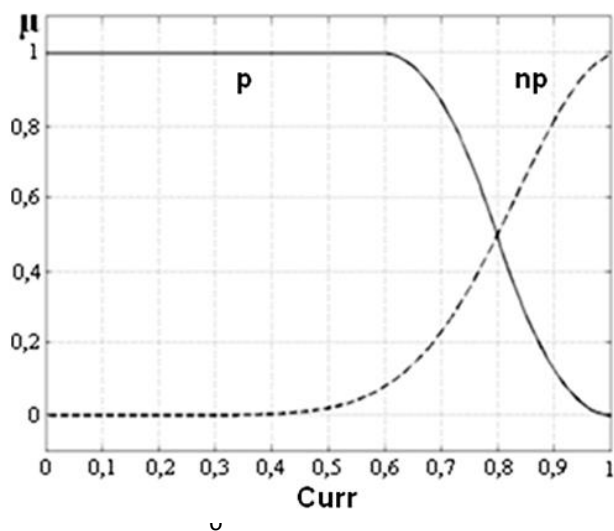
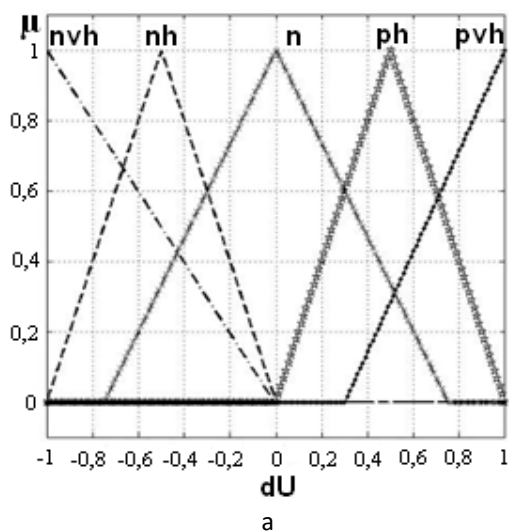


Рисунок 3 – Терм-множина лінгвістичних змінних: а – відхилення напруги; б – струм; в – коефіцієнт потужності

Таблиця 1 – Правила роботи нечіткого логічного контролера

dU	curr{p}		
	cos		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
<i>nvh</i>	<i>l</i>	<i>lm</i>	<i>m</i>
<i>nh</i>	<i>lm</i>	<i>m</i>	<i>hm</i>
<i>n</i>	<i>m</i>	<i>hm</i>	<i>h</i>
<i>ph</i>	<i>lm</i>	<i>m</i>	<i>hm</i>
<i>pvh</i>	<i>l</i>	<i>lm</i>	<i>m</i>

Метод визначення місць розміщення резервних комутаційних переминок для забезпечення мінімальних втрат електроенергії при реконфігурації схеми у разі аварійних вимикань фідерів використано для реконфігурації розподільної електричної мережі СО «Тиврівські ЕМ» ПАТ «Вінницяобленерго» в проектній схемі переведення існуючої мережі 6 кВ на клас напруги 20 кВ.

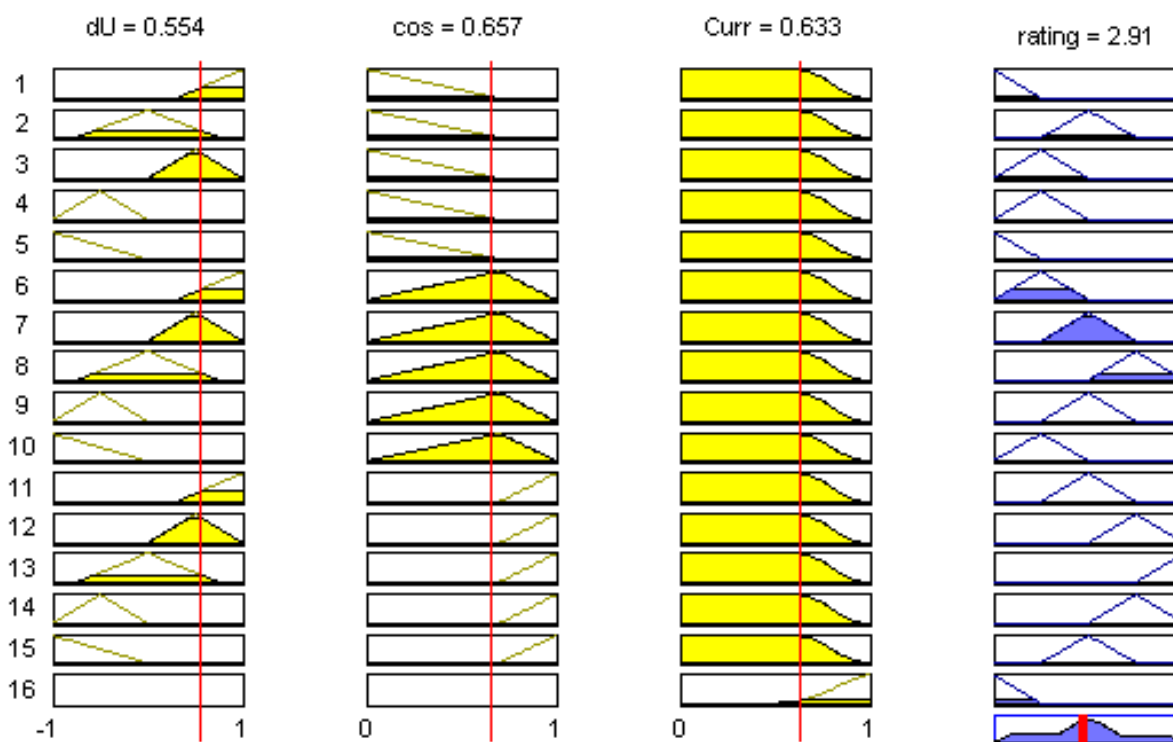


Рисунок 4 – Процедура прийняття рішення щодо рейтингу вимикача нечіткими логічним контролером

Висновки

Використання представленого методу дає можливість на етапі проектування розподільної мережі визначити місце вимикача резервної перемички між двома фідерами на основі нечіткого логічного висновку щодо рейтингу вимикачів з наступним визначенням мінімальних втрат потужності в післяаварійному режимі для вимикачів резервних переминок мережі, що дозволяє сформувати конфігурацію радіальної розподільної мережі в післяаварійному режимі з оптимальним поточкорозподілом при мінімальному значенні втрат електроенергії з врахуванням характеру навантаження в мережі за допустимості режиму.

Апробація методу підтвердила ефективність його використання при визначенні місць розташування резервних переминок у розподільних мережах.

Список використаної літератури

1. Комар В.О, Петрушенко Ю.В. Комплексна оцінка місць секціонування розподільної електричної мережі / Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Том.1-2016.-№6.- С.67-70

2. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. Функціональна залежність складових втрат потужності у вітках електричної мережі від потужності у вузлах // Вісник Вінницького політехн. ін-ту. – 2005. – № 4. С. 58-62.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzyTECH.–СПб.: БХВ-Петербург, 2003.–736 с.–ISBN 5-94157-087-2
4. Щерба А. А. Системи з нечіткою логікою регулювання електроенергетичних режимів / А. А. Щерба, В. В. Кирик. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – 329 с. – ISBN 978-966-02-5988-1
5. Aoki K., Kuwabara H., Satoh T., and Kanezashi M. "An Efficient Algorithm for Load Balancing of Transformers and Feeders by Switch Operation in Large Scale Distribution Systems", IEEE PES Summer Meeting, 1987, paper no: 87SM 543-2
6. Civanlar S., Grain&r J. J., Lee S. H., "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE PES Winter Meeting, Feb. 1987, paper no: 87WM 140-7.
7. Merlin A.and Back H. "Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in Urban Power Distribution Systems", Proc. of5 th Power Systems Comp. Con., Cambridge, U.K., Sept. 1-5,1975
8. Ross D. W., Carson M., Cohen A., et al., "Development of Advanced Methods for Planning Electric Energy Distribution Systems", DEO final report no SCI-5263, Feb 1980
9. Solanki J.M., Solanki S.Kh., Schulz N. Multi-agent-based reconfiguration for restoration of distribution systems with distributed generators // Journal Integrated Computer-Aided Engineering – Multi-Agent Systems for Energy. – 2010. – Vol. 17, iss. 4. – P. 331–346. – doi: 10.3233/ICA-2010-0351.

B.V. Tsyhanenko,

National commission that carries out government control in the spheres of energy and building services

V.V. Kyryk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

METHOD OF LOCATION OF ESTABLISHMENT OF RESERVE BRIDGES OF DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORK

The method of multi-purpose optimisation of a configuration of a distributive power network in post fault modes with use of the theory of fuzzy sets is presented. The fuzzy logic controller for definition of ratings of switches of reserve crosspieces taking into account pressure losses in the most remote site, power factor on the main site is synthesised at a mode admissibility on a current. The transfer characteristic of the synthesised fuzzy logic controller allows to define on entrance design variables of a network ratings of switching elements of reserve connectors for different configurations of system diagrammes and to generate two reserve connectors with the maximum meanings of ratings for which power losses are specified and on the minimum meaning of losses the solution of use of the given connector is made.

Keywords: distributive networks, reconfiguration, optimization, fuzzy logic

References

1. Komar V.O., Petrushenko U.V. Kompleksna ocinka misc sekcionuvannia rospodilnoi electrychnoi mereji // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypysk.–Vol.1.–2016.–№6.–pp.67-70. (Ukr)
2. Lezhniuk P.D., Kulik V.V., Burykin O.B. Funkcionalna salejnist skladovykh vtrat potujnosti u vitkakh electrychnoi mereji vid potujnosti u vuslakh // Visnyk Vinnyckogo politekhnichnogo instytutu.–2005.–№4.–pp.58-62 (Ukr)
3. Leonenkov A.V. Fuzzy modeling in the environment of MATLAB and fuzzyTECH.– SPb.: BKhV-Peterburh, 2003.–736 p.–ISBN 5-94157-087-2 (Rus)
4. Scherba A. A. Systems with fuzzy logic regulation mode of electricity / A. A. Scherba, V. V. Kyryk. – Kyiv. 2011. – 329 p. – ISBN 978-966-02-5988-1 (Ukr)
5. Aoki K., Kuwabara H., Satoh T., and Kanezashi M. "An Efficient Algorithm for Load Balancing of Transformers and Feeders by Switch Operation in Large Scale Distribution Systems", IEEE PES Summer Meeting, 1987, paper no: 87SM 543-2
6. Civanlar S., Grain&r J. J., Lee S. H., "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE PES Winter Meeting, Feb. 1987, paper no: 87WM 140-7.
7. Merlin A.and Back H. "Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in Urban Power Distribution Systems", Proc. of5 th Power Systems Comp. Con., Cambridge, U.K., Sept. 1-5,1975
8. Ross D. W., Carson M., Cohen A., et al., "Development of Advanced Methods for Planning Electric Energy Distribution Systems", DEO final report no SCI-5263, Feb 1980
9. Solanki J.M., Solanki S.Kh., Schulz N. Multi-agent-based reconfiguration for restoration of distribution systems with distributed generators // Journal Integrated Computer-Aided Engineering – Multi-Agent Systems for Energy. – 2010. – Vol. 17, iss. 4. – P. 331–346. – doi: 10.3233/ICA-2010-0351.

УДК 621.311.1

Б.В. Цыганенко,
Национальная комиссия, осуществляющая государственное
регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг,

В.В. Кирик,
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА УСТАНОВКИ РЕЗЕРВНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Представлен метод многоцелевой оптимизации конфигурации распределительной сети в послеаварийных режимах, с использованием теории нечетких множеств. Синтезирован нечеткий логический контроллер для определения рейтингов выключателей резервных перемычек с учетом потерь напряжения в наиболее удаленном участке, коэффициента мощности на главном участке при допустимости режима по току. Передаточная характеристика синтезированного нечеткого логического контроллера позволяет определить по входным расчетным параметрам сети рейтинги коммутационных элементов резервных перемычек для разных конфигураций схем сети и сформировать две резервные перемычки с максимальными значениями рейтингов, для которых уточняются потери мощности, и по минимальному значению потерь принимается решение использования данной перемычки.

Ключевые слова: распределительные сети, реконфигурация, оптимизация, нечеткая логика

Надійшла 08.09.2016

Received 08.09.2016

УДК 621.314

С.В. Казанський, канд. техн. наук, доц., В.І. Моссаковський, інженер, А.В. Яковенко, магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДИНАМІЧНЕ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ СИЛОВИХ ОЛИВНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Розглянуто особливості дослідження внутрішнього теплового стану силових оливних трансформаторів. Наведено послідовність динамічного 3D-моделювання теплових режимів за різних умов експлуатації силових оливних трансформаторів в електричних мережах.

Мета дослідження: визначення найвищого значення температури ізоляції обмоток для підвищення експлуатаційної надійності електричних мереж і систем за рахунок інтенсифікації навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів.

Методика реалізації: запровадження новітніх алгоритмів і програм динамічного 3D-моделювання термодинамічних процесів нагрівання оливи та ізоляції обмоток силових оливних трансформаторів для автоматизованого контролю внутрішнього теплового стану.

Результати дослідження: визначено доцільність застосування програмного пакету SolidWorks для проведення динамічного 3D-моделювання теплових режимів силових оливних трансформаторів; проаналізовано отримані результати щодо уточнення навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів.

Висновки: показано, що впровадження сучасних програмних пакетів динамічного 3D-моделювання дозволяє побудувати ефективну систему автоматизованого контролю внутрішніх теплових режимів силових оливних трансформаторів в електричних мережах.

Ключові слова: силовий трансформатор, динамічне моделювання, тепловий режим, навантажувальна здатність.

Вступ. Підтримання надійної роботи обладнання електроенергетичних систем і електричних мереж є загальнонаціональним стратегічним завданням, яке впливає на економічну безпеку держави [1]. Одним із найголовніших елементів системи передавання електричної енергії є силові трансформатори, надійна та ефективна робота яких є запорукою забезпечення надійності електропостачання.

Підвищення навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів є нагальним практичним завданням, оскільки в електричних мережах існує значний дефіцит трансформаторної потужності, що ускладнює підключення нових споживачів та гальмує розвиток мереж.

Загальні вимоги щодо визначення теплового стану та навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів викладено в міждержавному стандарті МГОСТ 14209-97 [2] та оновленому стандарті ІЕС 60076-7 [3]. Зазначені нормативні документи, зокрема, визначають методика розрахунку температури найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток $\Theta_h(t)$ силових оливних трансформаторів з різними системами охолодження оливи. При цьому зазначається, що ця температура є функцією від значення струмового навантаження, а також температури оливи та температури навколишнього середовища і її може бути визначено опосередкованим розрахунковим шляхом або за допомогою моделювання. Крім того, значення $\Theta_h(t)$, а також інтегральне значення теплового старіння ізоляції обмоток L_h є критеріями допустимості та тривалості перевантаження.

Мета і завдання моделювання. Безпосереднє визначення температури $\Theta_h(t)$ ізоляції обмоток силових оливних трансформаторів є досить складним технічним завданням, оскільки розташувати на поверхні ізоляції датчики температури, які могли би працювати тривалий час (бажано впродовж всього терміну експлуатації трансформатора) практично неможливо (хоча останнім часом надходить інформація про практичні спроби здійснення таких вимірів). Крім того, що найголовніше, неможливо визначити де саме встановлювати такий датчик, оскільки це місце може змінюватись (тобто «мігрувати» всередині бака) залежно від багатьох факторів – симетричності струмового навантаження фаз, конструктивних особливостей роботи охолоджувальної системи, погодних умов тощо. Саме тому найефективнішим методом визначення значення $\Theta_h(t)$ ізоляції обмоток є динамічне моделювання. Широке використання динамічних моделей пов'язане, перш за все, з тим, що дає змогу різко скоротити обсяг і масштаби натурних експериментів [4].

Метою динамічного 3D-моделювання теплових режимів силових оливних трансформаторів є візуалізація термодинамічних температурних полів оливи та ізоляції обмоток силових трансформаторів у різних експлуатаційних режимах з урахуванням конструктивних особливостей та температурних умов навколишнього середовища.

Для досягнення зазначеної мети в процесі моделювання вирішувались такі завдання:

- відтворення конструктивних елементів (включно із системою охолодження) силового оливного трансформатора та охолоджуючого середовища (трансформаторної оливи);
- розрахунок значень температури найбільш нагрітої точки ізоляції як функції струму навантаження та температури оливи силового трансформатора;
- структурне моделювання температури $\Theta_h(t)$ ізоляції обмоток та інтегрального значення теплового старіння ізоляції обмоток L_h ;
- побудова 3D-алгоритму просторового пошуку місця розташування точки $\Theta_h(t)$ на поверхні ізоляції обмоток;
- динамічне відтворення зміни внутрішніх температурних полів за різних експлуатаційних умов.

Результати моделювання. Моделювання проводилося на прикладі силового оливного трансформатора ТДН-16000/110 (система охолодження – ONAF) із застосуванням програмного пакету SolidWorks.

Загальний вигляд моделі трансформатора та системи охолодження наведено на рис. 1. Створена модель за габаритами та площиною поверхні внутрішнього та зовнішнього теплообміну відповідає фактичним параметрам трансформатора ТДН-16000/110. Певні труднощі виникли із моделюванням теплообмінних процесів у внутрішньому просторі трансформатора, оскільки параметри та характеристики трансформаторної оливи відсутні в бібліотеці SolidWorks.

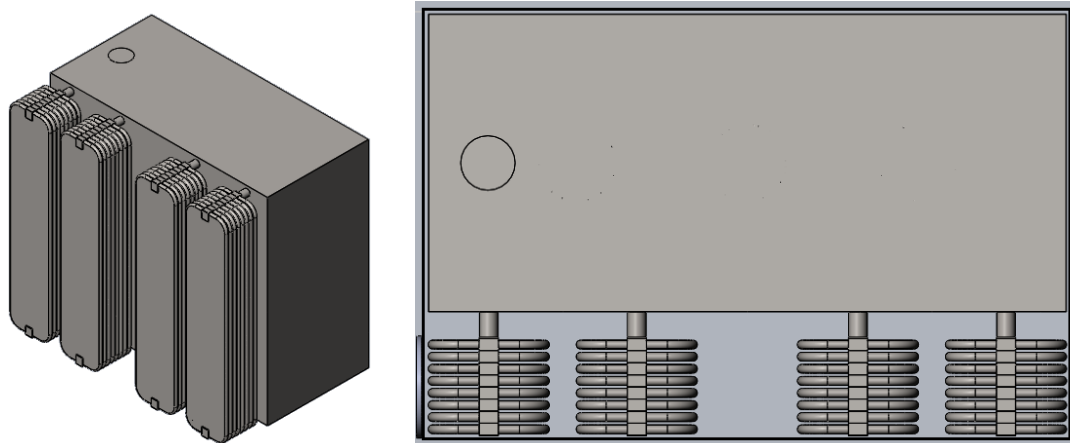


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделі трансформатора та системи охолодження

Для визначення температури ізоляції та інтегрального значення теплового старіння ізоляції обмоток силових оливних трансформаторів з системою охолодження ONAF згідно [1] використовуються такі розрахункові співвідношення:

температура найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток, °C

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{br} \cdot \left[\frac{1 + R \cdot K^2}{1 + R} \right] + H_{qr} \cdot K^y, \quad (1)$$

де θ_a – температура навколишнього середовища; $\Delta\theta_{br}$ – перевищення температури оливи над температурою навколишнього середовища; R – відношення втрат потужності за номінального навантаження до втрат холостого ходу; K – коефіцієнт навантаження; H_{qr} – градієнт температури найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток; y – емпіричний коефіцієнт обмоток трансформаторів (для різних систем охолодження);

перевищення температури оливи над температурою навколишнього середовища в кінці інтервалу часу t , °C

$$\Delta\theta_{bt} = \Delta\theta_{bi} + (\Delta\theta_{bu} - \Delta\theta_{bi}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right), \quad (2)$$

де $\Delta\theta_{bi}$ – початкове значення перевищення температури оливи над температурою навколишнього середовища; $\Delta\theta_{bu}$ – усталене значення перевищення температури оливи над температурою навколишнього середовища в кінці інтервалу часу t за навантаження, незмінного впродовж цього інтервалу; τ_0 – теплова стала нагрівання оливи трансформатора;

відносна швидкість теплового старіння ізоляції обмоток

$$V = \frac{\text{швидкість зношення при } \theta_h}{\text{швидкість зношення при } 98^\circ\text{C}} = 2^{\frac{\theta_h - 98}{6}} \quad (3)$$

де θ_h – фактичне значення температури найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток, визначене за виразом (1); 98 °C – значення температури ізоляції обмоток, за якого відносна швидкість теплового старіння ізоляції дорівнює одиниці;

відносне значення теплового старіння ізоляції обмоток (скорочення терміну використання) впродовж декількох інтервалів часу

$$L = \frac{1}{t} \int_{t_1}^t V dt \quad \text{або} \quad L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n, \quad (4)$$

де n – порядковий номер інтервалу часу; N – загальні кількість інтервалів часу спостереження.

Наступний крок – моделювання просторового розподілу температури внутрішніх елементів силового трансформатора (магнітопровід, олива, ізоляція обмоток) за різних експлуатаційних умов (значення струмового навантаження та температура навколишнього середовища, а також стан системи охолодження).

Нижче наведено результати моделювання розподілу температури в магнітопроводі без обмоток (рис. 2), магнітопроводі з обмотками нижчої (рис. 3) та вищої (рис. 4) напруги, а також розподіл температур у повздовжньому зрізі трансформатора (рис. 5) за наступних експлуатаційних умов:

- температура навколишнього середовища -20°C ;
- швидкість вітру -2 м/с ;
- струмове навантаження – номінальне;
- система охолодження – не працює

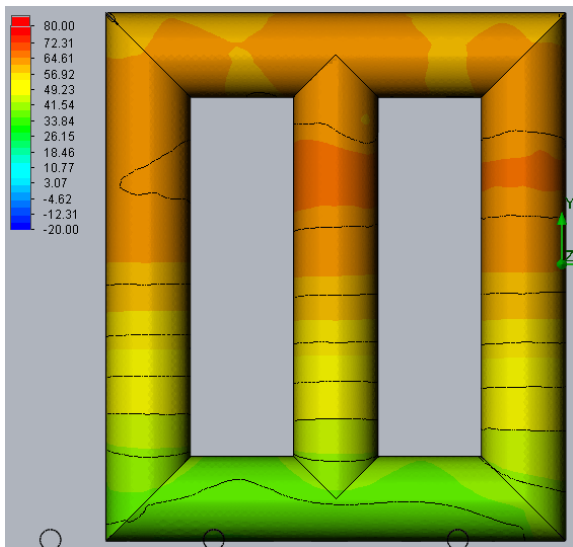


Рисунок 2 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода без обмоток

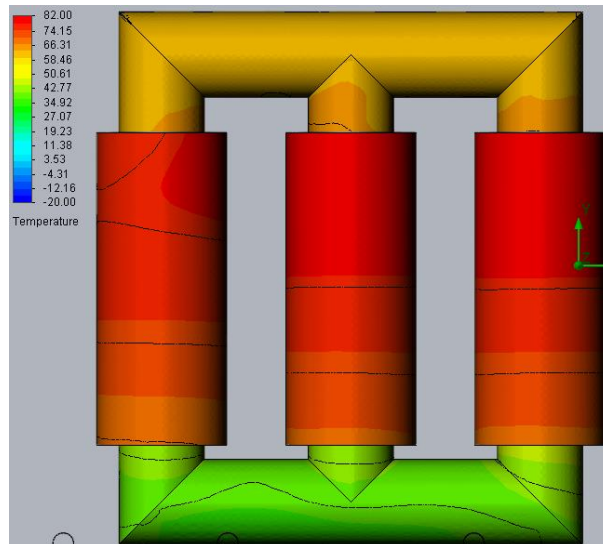


Рисунок 3 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками нижчої напруги

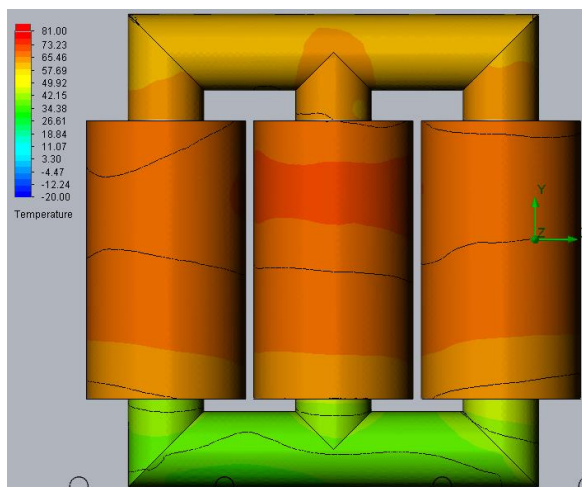


Рисунок 4 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками вищої напруги

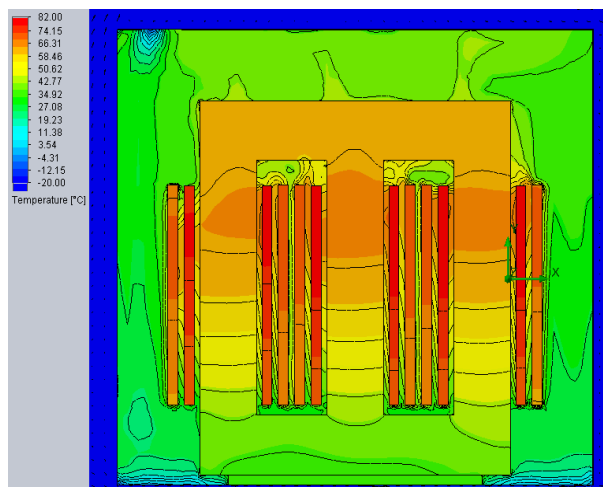


Рисунок 5 – Результати моделювання розподілу температури у повздовжньому зрізі трансформатора

На рис. 6 – 9 наведено результати моделювання розподілу температури в магнітопроводі та в обмотках за аналогічних експлуатаційних умов, крім температури навколишнього середовища, яка становить $+40^{\circ}\text{C}$.

На рис. 10 – 13 наведено результати моделювання розподілу температури в магнітопроводі та в обмотках за температури навколишнього середовища $+40^{\circ}\text{C}$ та ввімкненої системи охолодження.

Аналіз наведених результатів моделювання свідчить що значення найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток $\theta_n(t)$, як і зазначалося вище, переміщується на поверхні обмоток нижчої напруги. Тому наступним кроком було 3D-моделювання траєкторії переміщення цієї точки. Результати моделювання переміщення найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток наведено на рис. 14.

На заключному етапі створено динамічну модель зміни температури у часі залежно від значення навантаження та інших початкових експлуатаційних умов роботи силового оливного трансформатора.

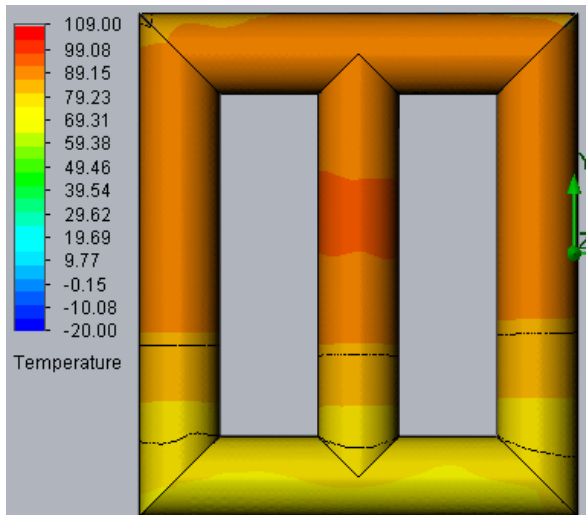


Рисунок 6 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода без обмоток

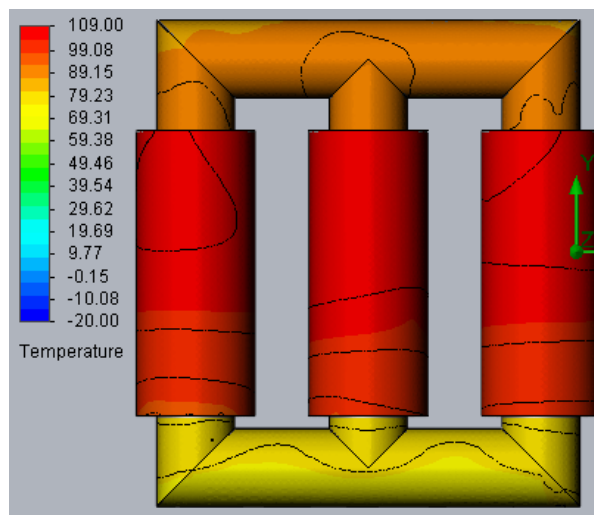


Рисунок 7 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками нижчої напруги

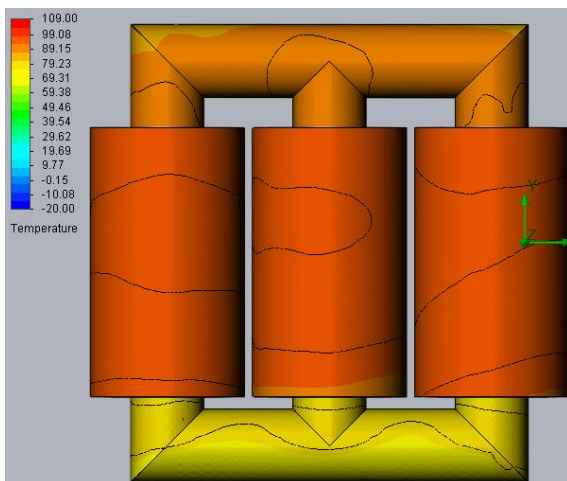


Рисунок 8 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками вищої напруги

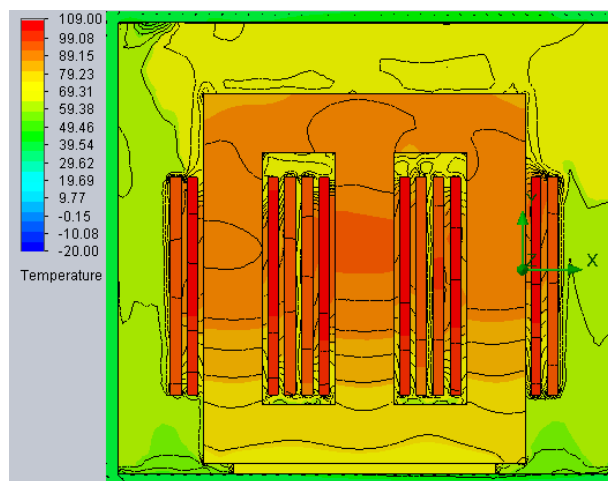


Рисунок 9 – Результати моделювання розподілу температури у поздовжньому зрізі трансформатора

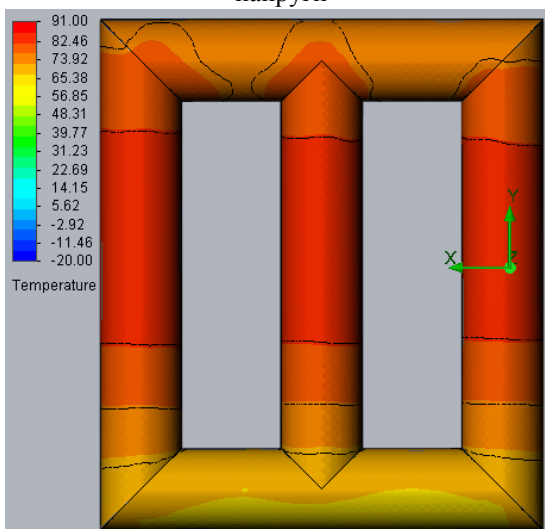


Рисунок 10 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода без обмоток

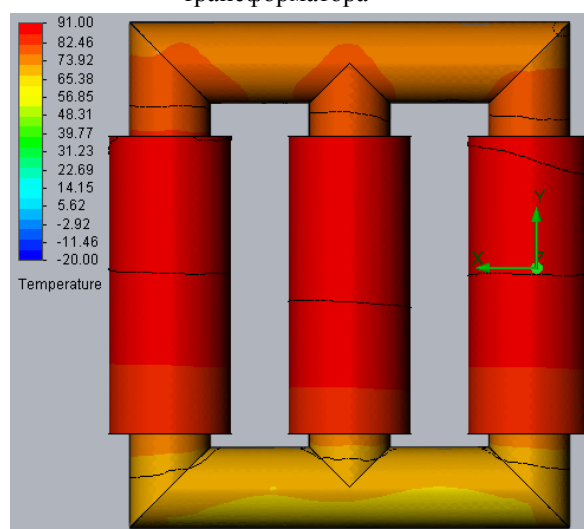


Рисунок 11 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками нижчої напруги

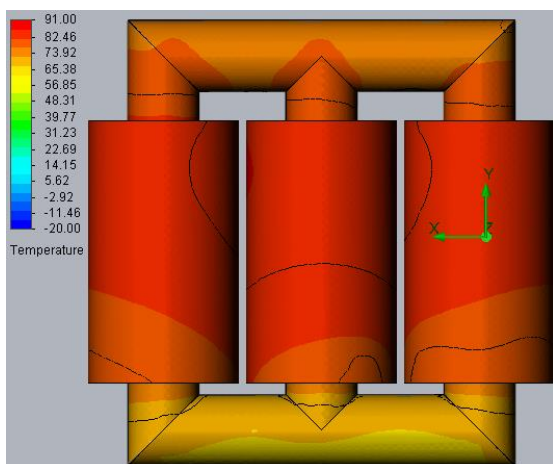


Рисунок 12 – Результати моделювання розподілу температури магнітопровода з обмотками вищої напруги

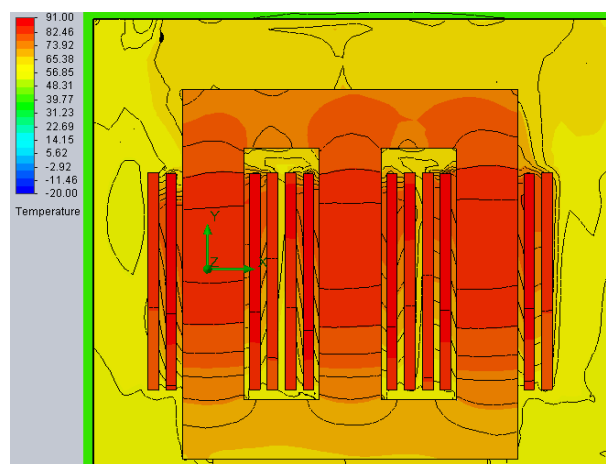


Рисунок 13 – Результати моделювання розподілу температури у повздовжньому зрізі трансформатора

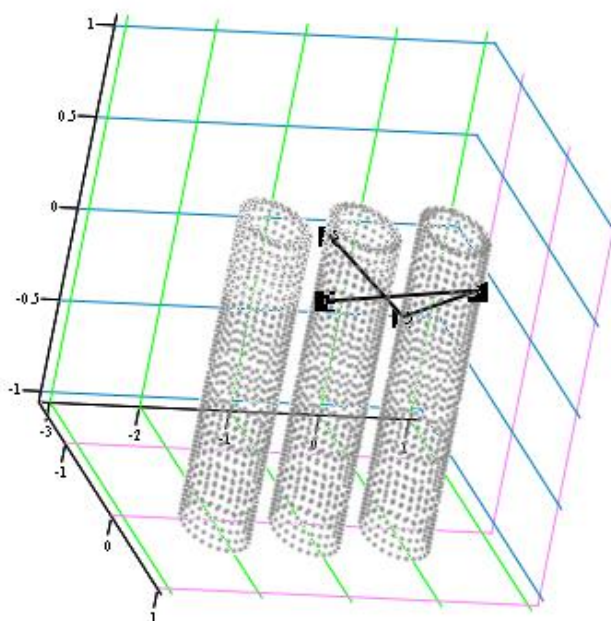


Рисунок 14 – Результати моделювання переміщення найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток

Висновки. Забезпечення ефективної роботи силових трансформаторів – запорука надійного електропостачання. При цьому інтенсифікація навантажувальної здатності силових оливних трансформаторів можлива лише за умови постійного автоматизованого моніторингу їх внутрішнього теплового стану.

Створена динамічна 3D-модель теплових режимів силових оливних трансформаторів дозволяє з високою точністю визначити значення та місце знаходження найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток та відслідкувати динаміку її переміщення за різних умов експлуатації.

Список використаної літератури

1. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник [Текст] / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – ISBN 978-966-622-453-1.
2. МГОСТ 14209-97 (МЭК 354) Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. Дата введения 2002.01.01.

3. IEC 60076-7:2005 Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Released: 2005-12-15.

4. Хусаїнов Д.Я. Моделювання динамічних систем: навчальний посібник [Текст] / Д.Я. Хусаїнов, І.І. Харченко, А.В. Шатирко. – К.: Київський ун-т, 2011. – 135 с. – ISBN 966-439-483-0.

S. Kazanskiy, V. Mossakovskiy, A. Yakovenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

DYNAMIC 3D-SIMULATION OF THERMAL MODES OF OIL POWER TRANSFORMERS

The content considered the feature of oil power transformers internal thermal mode researchers. It shows in 3D-vision the sequence of non-stationary thermal modes of oil power transformers under external environment in electrical networks.

Objective: operational reliability growth of electrical networks and systems through the intensification of the capacity load of oil power transformers determining the highest temperature level of winding insulation.

Results: introduction of advanced algorithms and CAD-systems for thermal modes 3D-visualisation of oil power transformers and automatic control of the internal thermal states of both winding insulation and oil.

Conclusions: introduction of advanced CAD-systems of non-stationary 3D-visualisation allows for the creation of automated control system of internal thermal modes of oil power transformers.

Key words: power transformer, non-stationary simulation, thermal mode, load capacity.

References

1. Kazansky S. Reliability of power systems: training aid [Text]/S. Kazansky, Y. Mateyenko, B. Serdyuk. – К.: NTUU «КPI», 2011. – P.216 – ISBN 978-966-622-453-1.

2. MGOST 14209-97 (IEC 354) Manual load power oil transformers. Date of introduction 2002.01.01.

3. IEC 60076-7: 2005 Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers. Released: 2005-12-15.

4. Khusianov D. Modeling of dynamic systems: training aid [Text]/ D.Khusianov, I. Kharchenko, A. Shatyrko. – К.: Kyiv University, 2011. – P.135 – ISBN 966-439-483-0.

УДК 621.314

С.В. Казанский, канд. техн. наук, доц., **В.И. Моссаковский**, инженер, **А.В. Яковенко**, магистрант

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ДИНАМИЧЕСКОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ

СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрены особенности исследования внутреннего теплового состояния силовых масляных трансформаторов. Приведена последовательность динамического 3D-моделирования тепловых режимов в различных условиях эксплуатации силовых масляных трансформаторов в электрических сетях.

Цель исследования: определение наивысшего значения температуры изоляции обмоток для повышения эксплуатационной надежности электрических сетей и систем за счет интенсификации нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов.

Методика реализации: внедрение передовых алгоритмов и программ динамического 3D-моделирования термодинамических процессов нагрева масла и изоляции обмоток силовых масляных трансформаторов для автоматизированного контроля внутреннего теплового состояния.

Результаты исследования: определена целесообразность применения программного пакета SolidWorks для проведения динамического 3D-моделирования тепловых режимов силовых масляных трансформаторов; проанализированы полученные результаты в части уточнения значения нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов.

Выводы: показано, что внедрение современных программных пакетов динамического 3D-моделирования позволяет создать эффективную систему автоматизированного контроля внутренних тепловых режимов силовых масляных трансформаторов в электрических сетях.

Ключевые слова: силовой трансформатор, динамическое моделирование, тепловой режим, нагрузочная способность.

Надійшла 04.10.2016

Received 04.10.2016

Е.А. Кондратьева, канд. техн. наук, Ю.Ю. Ковецкая, А.В. Кравчук,
А.И. Скицко, канд. техн. наук, Т.В. Сорокина, канд. техн. наук
Институт технической теплофизики НАН Украины

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ТЕЧЕНИИ ВОДЫ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В КАНАЛЕ С ОБОГРЕВАЕМЫМИ СТЕРЖНЯМИ В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ МОЩНОСТИ

Выполнено численное моделирование теплообмена при течении воды сверхкритического давления в семистержневой тепловыделяющей сборке с центральным необогреваемым стержнем в режиме с изменением тепловой мощности. Проанализированы условия возникновения режимов ухудшенного теплообмена. Режим ухудшенного теплообмена возникает локально в центральных ячейках тепловыделяющей сборки между обогреваемыми стержнями после того, как температура теплоносителя достигает критического значения. В этих ячейках наблюдается резкое возрастание температуры стенки тепловыделяющих элементов и ее сильная азимутальная неравномерность.

Ключевые слова: ядерный реактор, теплообмен, тепловыделяющая сборка, сверхкритическое давление теплоносителя.

Введение. В последние годы активно обсуждается вопрос перехода на сверхкритические параметры теплоносителя в атомной энергетике [1-3]. Основная задача использования легководных реакторов со сверхкритическим давлением SCWR (Supercritical Water Reactor) состоит в том, чтобы повысить экономичность существующих технологий с реакторами PWR (Pressurized Water Reactor). Эта концепция реакторов рассматривается специалистами России, Японии, США, Франции, Канады, Китая и других стран в рамках международных программ по разработке реакторов четвертого поколения. Строительство АЭС с реакторами SCWR позволит существенно повысить КПД установок, снизить металлоемкость оборудования по сравнению с существующими АЭС с ВВЭР или PWR. Рассматриваются концепции реакторов корпусного и канального типа, с тепловым и быстрым спектром нейтронов. Ядерные энергоблоки с реактором SCWR характеризуются следующими особенностями:

- низким расходом теплоносителя и высоким его подогревом в активной зоне, что позволяет снизить мощность, потребляемую циркуляционными насосами;
- высокой энтальпией теплоносителя, что обеспечивает высокий КПД установки;
- однофазностью теплоносителя, следовательно, отсутствием режимов с кризисом теплообмена;
- реализацией прямого цикла, что приводит к компактности реакторной системы;
- возможностью использования технологий и оборудования энергоблоков СКД на органическом топливе.

Учитывая существующую структуру ядерной энергетике Украины, основанную на использовании ядерных реакторов с водой под давлением и открытого ядерного топливного цикла (ЯТЦ), представляется целесообразным ее развитие после 2030 года с использованием реакторов SCWR. В работе [4] показано, что применение SCWR позволяет на 20% снизить накапливаемые до 2100 г объемы отработанного ядерного топлива (ОЯТ), сократить финансовые затраты на обращение с ОЯТ в долгосрочной перспективе и при этом сохранить существующую долю АЭС в производстве электроэнергии в условиях реализации открытого ЯТЦ.

Основная задача использования SCWR состоит в том, чтобы повысить экономичность легководных реакторов за счет повышения КПД энергоблоков до 44...48%, снижения металлоемкости оборудования.

Однако переход на сверхкритическое давление теплоносителя в энергетике связан с рядом теплофизических проблем, одной из которых является определение безопасной области тепловых нагрузок, исключающих возникновение режимов ухудшенной теплоотдачи. Такие режимы возникают в обогреваемых каналах при течении воды сверхкритического давления в области резкого изменения теплофизических свойств. Исследованию условий возникновения режимов ухудшенной теплоотдачи, которые сопровождаются резким локальным повышением температуры стенки канала, способным вызвать ее разрушение, уделяется большое внимание [5-11]. В мире проведено большое количество исследований гидродинамики и теплообмена при течении жидкости сверхкритического давления в обогреваемых трубах. Исследования показали наличие режимов с нормальной, улучшенной и ухудшенной теплоотдачей. В режимах с нормальной теплоотдачей наблюдается монотонное изменение температуры стенки по длине трубы, в режимах с ухудшенной теплоотдачей может наблюдаться резко выраженное локальное повышение температуры стенки. До сих пор нет единого мнения по определению граничного значения плотности теплового потока $q_{гр}$, превышение которого приводит к возникновению режимов с ухудшенной теплоотдачей, и зависимости $q_{гр}$ от режимных и геометрических параметров.

Резкое изменение теплофизических свойств воды в области критических параметров свидетельствует о существенном изменении ее структуры. Пики теплоемкости на сверхкритических изобарах наблюдаются в области температур, где происходит интенсивный распад крупных молекулярных образований на более мелкие. В работе [12] методом молекулярной динамики проанализировано влияние температуры, давления, плотности воды на ее структурные и динамические свойства. Расчеты показали, что на образование структур и разрывы водородных связей в до- и сверхкритической воде в основном влияет изменение температуры, влияние плотности менее выражено. При сверхкритическом давлении с ростом температуры наблюдается полное исчезновение тетраэдрических структур и превращение единой сетки водородных связей в отдельные образования из 2-3 молекул, находящихся в окружении несвязанных частиц.

Результаты экспериментальных исследований теплообмена при течении воды сверхкритического давления в каналах с пучками обогреваемых стержней также свидетельствуют о возникновении режимов ухудшенного теплообмена [13,14]. На границу возникновения режимов ухудшенного теплообмена в пучках существенно влияют его геометрические характеристики и режимные параметры. Об этом свидетельствуют как экспериментальные данные, так и результаты расчетов гидродинамики и теплообмена при течении воды сверхкритического давления в пучках с треугольной и квадратной упаковками. Расчеты проводились как с использованием поканальной методики, так и трехмерного моделирования [15-17]. В локальной области, где возникает режим ухудшенного теплообмена, отмечается недопустимо высокая азимутальная неравномерность температуры оболочки тепловыделяющего элемента.

Моделирование нестационарного процесса в тепловыделяющей сборке

Проведено численное исследование теплообмена при течении воды сверхкритического давления в вертикальной семистержневой тепловыделяющей сборке. Геометрические и режимные параметры сборки соответствуют параметрам активной зоны реактора ВВЭР-СКД [2]. Рассматривается вертикальное положение сборки, ось z направлена вдоль оси канала. Пучок стержней диаметром 9 мм, обогреваемой длиной 4,05 м расположен в треугольной упаковке с соотношением шага к диаметру стержней $s/d=1,4$ (рис.1). Центральный стержень и стенка канала не обогреваются, на стенках шести обогреваемых стержней задается плотность теплового потока. На вход подается вода с температурой, меньшей критической для данного давления.

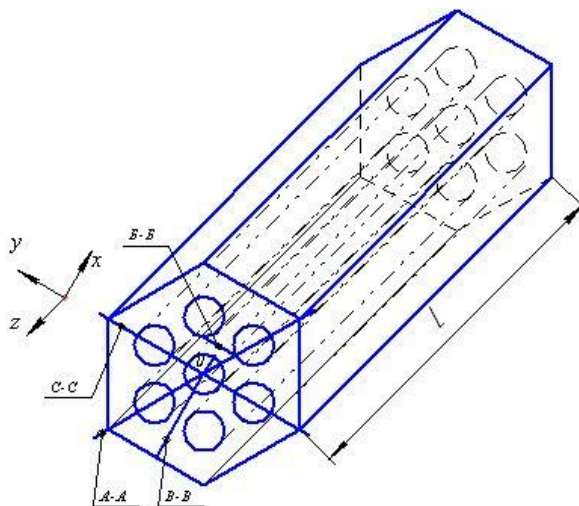


Рисунок 1 – Схема тепловыделяющей сборки.

Исследование гидродинамики и теплообмена в сборке проводилось на основе RNG $k-\epsilon$ модели турбулентности, включающей систему уравнений сохранения массы, количества движения, энергии теплоносителя, а также уравнения для кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации энергии [18,19]. Уравнения состояния воды при до- и сверхкритических параметрах задавались согласно формуляции IFC-97 [20]. Граничные условия на входе в тепловыделяющую сборку: температура воды 290°C, скорость 0,5 м/с, давление 25МПа.

Наиболее интересными, с точки зрения безопасности и надежности работы оборудования, являются исследования нестационарных режимов, связанных с изменением тепловой нагрузки. Экспериментальных данных об условиях возникновения и развития режимов ухудшенного теплообмена при течении воды сверхкритического давления в каналах в нестационарных режимах крайне мало.

Рассматривается нестационарный режим при скачкообразном изменении плотности теплового потока на стенках тепловыделяющих элементов от 0 до 400 кВт/м² за 1 с. В разных ячейках пучка нестационарный процесс протекает по-разному. Наиболее теплонапряженной областью являются центральные ячейки пучка. На рис. 2,3 представлено изменение во времени и по длине канала профилей скорости и температуры теплоносителя в самой теплонапряженной области – в сечении Б-Б.

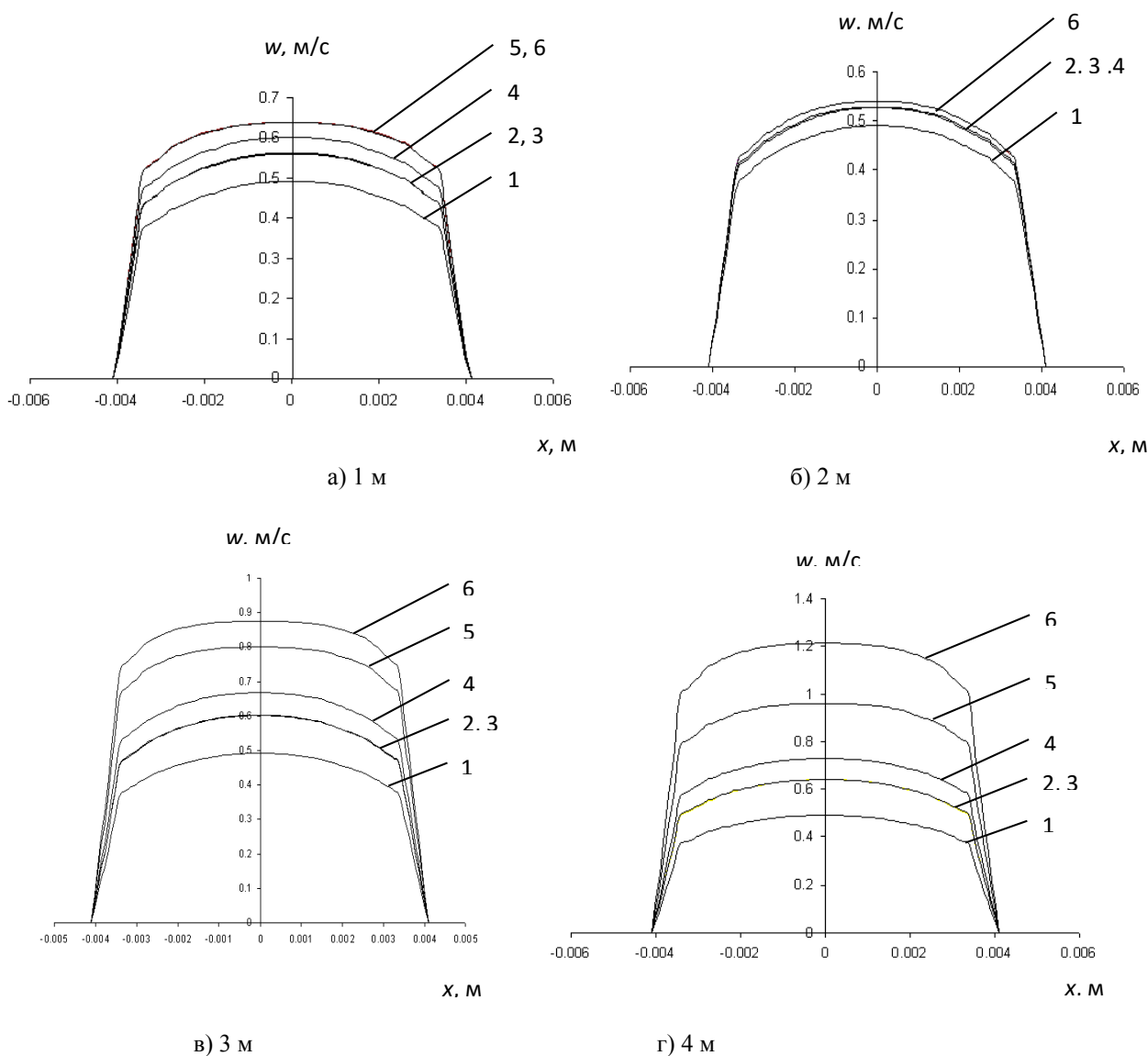


Рисунок 2 – Изменение во времени и по длине ТВС скорости в сечении Б-Б: 1 – 0 с, 2 – 0,2 с, 3 – 1 с, 4 – 3 с, 5 – 5 с, 6 – 6,8 с, 7 – стационар.

Кривые 1 на рис. 2,3 соответствуют исходному состоянию системы. Длительность переходного процесса составляет 7с. В сечении $z=1$ м профиль скорости слабо изменяется во времени (рис. 2а), температура теплоносителя и стенки обогреваемого стержня увеличивается равномерно и через 3 с выходит на стационарное значение (рис.3а). В сечении $z=2$ м скорость (рис.2б) и температура теплоносителя (рис.3б) увеличиваются, причем на 3 с наблюдается резкий скачок температуры. Далее профиль температуры выпрямляется, становится более равномерным. Сечение $z=3$ м характеризуется резким возрастанием скорости на пятой секунде (рис.2в, кривая5), при этом профиль температуры становится равномерным, температура теплоносителя достигает критического значения 385°С (соответствует максимуму теплоемкости c_p). Затем следует резкое увеличение температуры стенки тепловыделяющего элемента, что характеризует начало развития режима ухудшенного теплообмена. Наиболее существенные изменения скорости (рис.2г) и температуры (рис.3г) наблюдаются в выходном сечении тепловыделяющей сборки $z=4$ м. Здесь наблюдается сильное ускорение потока после 3 с, в конце переходного процесса (7с) скорость достигает 1,2 м/с. Профиль температуры теплоносителя становится равномерным на пятой секунде, после чего температура стенки резко возрастает.

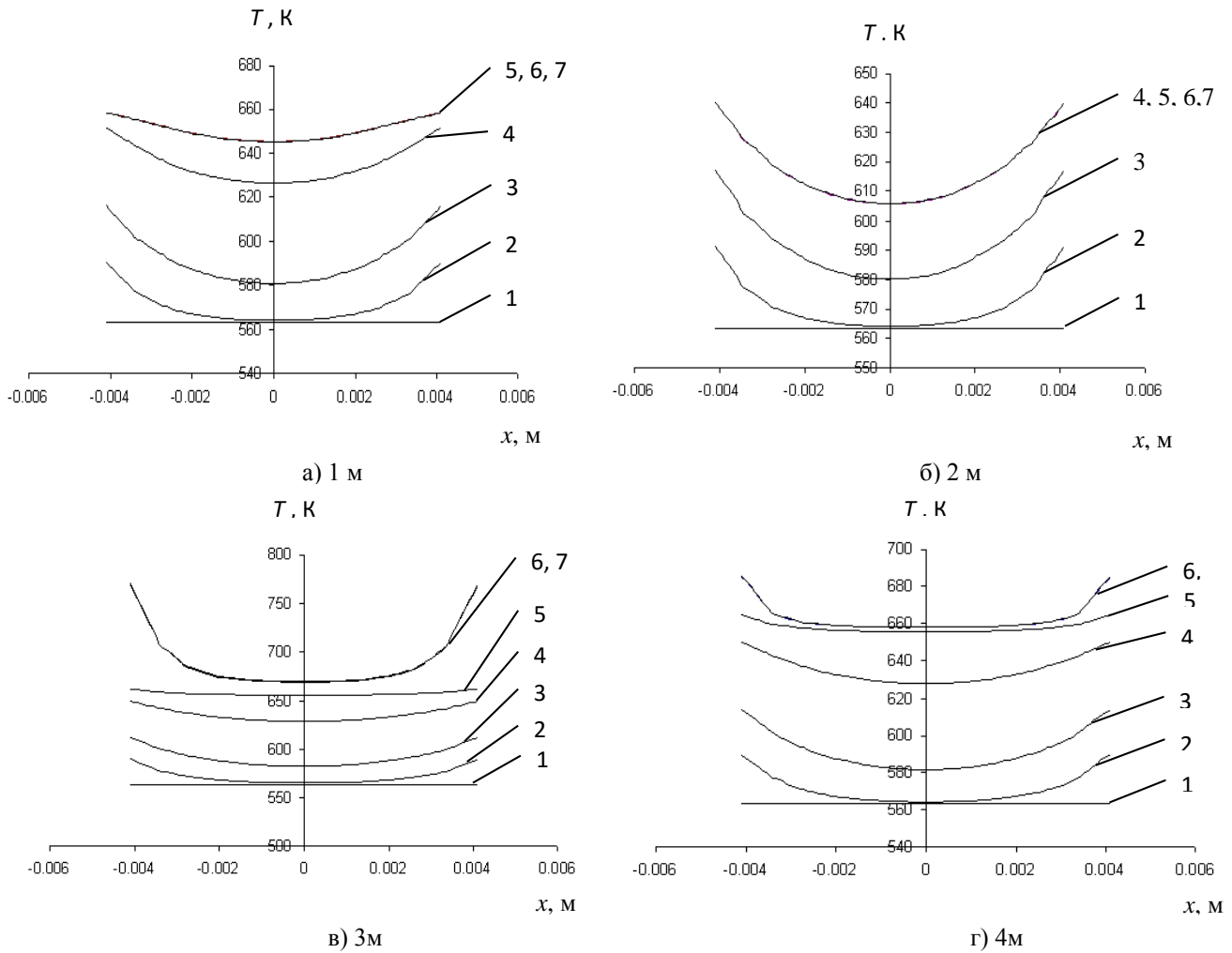


Рисунок 3 – Изменение во времени и по длине ТВС температуры в сечении Б-Б: 1 – 0 с, 2 – 0,2 с, 3 – 1 с, 4 – 3 с, 5 – 5 с, 6 – 6,8 с, 7 – стационар.

На рис. 4,5 представлено изменение во времени и по длине тепловыделяющего элемента в теплонапряженной точке температуры стенки и коэффициента теплоотдачи.

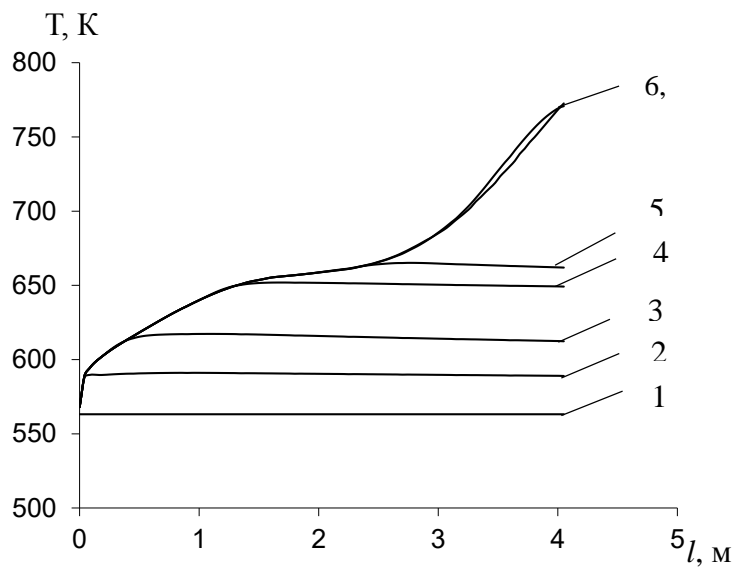


Рисунок 4 – Изменение температуры стенки во времени и по длине тепловыделяющего элемента в теплонапряженной точке: 1 – 0 с, 2 – 0,2 с, 3 – 1 с, 4 – 3 с, 5 – 5 с, 6 – 6,8 с, 7 – стационар.

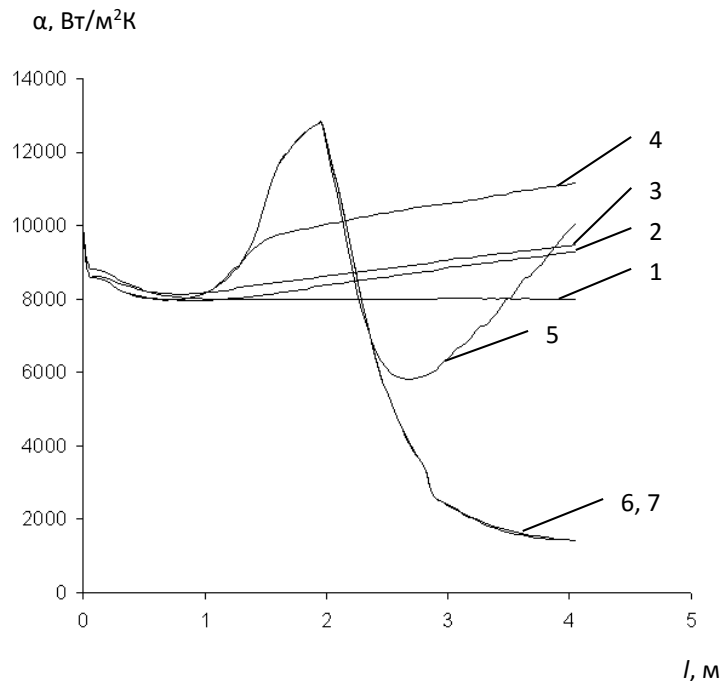


Рисунок 5 – Изменение коэффициента теплоотдачи во времени и по длине тепловыделяющего элемента в теплонапряженной точке: 1 – 0 с, 2 – 0,2 с, 3 – 1 с, 4 – 3 с, 5 – 5 с, 6 – 6,8 с, 7 – стационар.

До пятой секунды температура стенки изменяется равномерно, а коэффициент теплоотдачи увеличивается, режим ухудшенного теплообмена не наблюдается. Начиная с пятой секунды коэффициент теплоотдачи до сечения $z=2$ м резко увеличивается, затем резко падает по длине и после прохождения минимума в сечении $z=3$ м снова возрастает (рис.5, кривая 5). При этом температура стенки по длине в момент времени 5 с меняется равномерно. Режим ухудшенного теплообмена возникает после пятой секунды, начиная с сечения $z=3$ м, о чем свидетельствует резкое уменьшение коэффициента теплоотдачи и резкое увеличение температуры стенки тепловыделяющего элемента. Выход на стационарный режим происходит через 6,8 с от начала нестационарного процесса.

В угловой ячейке пучка скорость теплоносителя изменяется слабо, максимальное значение скорости на выходе из сборки в конце процесса достигает 0,8 м/с. В угловой ячейке режим ухудшенного теплообмена не возникает, температура стенки по длине обогреваемых стержней и во времени изменяется равномерно. В конце переходного процесса на выходе из сборки температура стенки достигает 380°C , при этом средняя по сечению температура теплоносителя меньше критической (362°C).

Выводы

При течении воды сверхкритического давления в семистержневой тепловыделяющей сборке с центральным необогреваемым стержнем наиболее теплонапряженными являются центральные ячейки пучка. Угловые ячейки пучка являются наименее теплонапряженными.

В нестационарном режиме с изменением тепловой нагрузки в центральных ячейках, на определенном расстоянии от входа, в сечениях, где температура теплоносителя достигает критического значения, возникает режим ухудшенного теплообмена. При этом наблюдается сильное ускорение потока и практически равномерный профиль температуры теплоносителя.

Список использованной литературы

1. *Pioro I., Kirillov P.* Generation IY Nuclear Reactors as a Basis for Future Electricity Production in the World / <http://www.formatex.info/energymaterialbook/book/>. – 2013. – p.818 – 830
2. *Кириллов П.Л.* Водохлаждаемые реакторы на воде сверхкритических параметров // Теплоэнергетика. – 2008. – №5. – С.2–5.
3. *Cao L., Oka Y., Ishiwatari Y., Shang Z.* Core Design and Subchannel Analysis of a Superfast Reactor // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2008. – v.45, № 2. – P.138–148
4. *Власенко Н.И., Годун О.В., Кирьянчук В.Н.* Сравнительная оценка инновационных вариантов открытого ядерно-топливного цикла в Украине // Ядерна та радіаційна безпека. – 2014. – 3(63). – С.10–13

5. Грабежная В.А., Кириллов П.Л. Теплообмен при сверхкритических давлениях и границы ухудшения теплообмена// Теплоэнергетика.–2006. –№4. –С.46–51.
6. Yang X., Su G.H., Tian W, Wang J., Qiu S. Numerical study on flow and heat transfer characteristics in the rod bundle channels under super critical pressure condition// Annals of Nuclear Energy. – 2010. –37. –р.1723–1734
7. Gu Y.Y., Cheng X., Yang Y.H. CFD analysis of thermal – hydraulic behavior of supercritical water in sub –channels// Nucl. Eng. Des. . – 2010. –240(2). –р.364–374
8. Разумовский В.Г. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление гладких каналов при турбулентном течении воды сверхкритического давления// Диссертация канд. техн. наук. –1984. –222 с
9. Петухов Б.С., Курганов В.А., Анкудинов В.Б. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубах при турбулентном течении жидкости околокритических параметров состояния//ТВТ. –1983. –т.21, №1. –С.92–100
10. Курганов В.А. Теплообмен в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя : некоторые итоги научного исследования // Труды РНКТ-4. – 2006. –т.1. –С.74–83
11. Алексеев Г.В., Силин В.А., Смирнов А.М., Субботин В.И. Исследование температурных режимов стенки трубы при теплосъеме водой сверхкритического давления// ТВТ.– 1976. –т.14, №4. –С.769–774
12. Ведь О.В., Петренко В.Е., Антипова М.Л., Альпер Г.А. Влияние параметров состояния на свойства сверхкритической воды. Компьютерное моделирование структуры и динамики сетки водородных связей// Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика. –2007. –т.2, №2. –С.55–68
13. Силин В.А., Семченков Ю.М., Алексеев П.Н., Митькин В.В. Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления при течении воды сверхкритических параметров применительно к реакторным установкам// Атомная энергия. –2010. –т.108, №6. –С.340–347
14. Габараев Б.А., Смолин В.Н., Соловьев С.Л. Перспективное направление развития водоохлаждаемых реакторов АЭС в XXI в. – использование сверхкритических параметров//Теплоэнергетика.–1984. – №9. – С.33–40
15. Смирнов В.П., Папандин М.В., Ложинов А.Я., Ванюкова Г.В., Афонин С.Ю. Применение CFD – кода к расчету теплообмена в реакторе со сверхкритическими параметрами// Атомная энергия. –2011. –т.111, № 4.– С.196–201.
16. Yang X., Su G.H., Tian W, Wang J., Qiu S. Numerical study on flow and heat transfer characteristics in the rod bundle channels under super critical pressure condition// Annals of Nuclear Energy. – 2010. –37. –р.1723–1734
17. Авраменко А.А., Ковецкая М.М., Кондратьева Е.А., Тыринов А.И. Гидродинамика и теплообмен потока воды с сверхкритическими параметрами в вертикальной сборке тепловыделяющих элементов// Инженерно-физический журнал. –2013. –т.86, № 4. –С.760–767
18. Авраменко А.А. Ренормгрупповой анализ нестационарной турбулентности // Доповіді НАН України. – 2007. – № 12. – С.88 – 93.
19. Авраменко А.А., Басок Б.И., Кузнецов А.В. Групповые методы в теплофизике. Киев. Нукова думка. – 2003. – 483 с.
20. Александров А.А., Орлов К.А., Очков В.Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики. Москва. Изд. дом МЭИ.- 2009

**E.A.Kondratieva, Yu.Yu. Kovetskaya, A.V. Kravchuk, A. Skitsko, T. Sorokina
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine
HEAT TRANSFER OF SUPERCRITICAL PRESSURE WATER IN THE CHANNEL WITH HEATED
RODS IN UNSTEADY REGIME WITH CHANGE OF POWER**

Numerical simulation of heat of supercritical pressure water flow in fuel assembly with seven fuel elements and a central unheated rod with changing thermal power was carried. The conditions of deteriorated heat transfer were analyzed. Regime of degraded heat transfer occurs locally in the central cells of the fuel assembly between heated fuel elements after reaching the critical temperature of coolant. In these cells sharp increase of temperature of walls of heat emitting elements and a strong azimuthally non-uniformity of the heat transfer coefficient were observed.

Keywords: nuclear reactor, heat transfer, heat emitting assembly, supercritical pressure of coolant

References

1. Pioro I., Kirillov P. Generation IY Nuclear Reactors as a Basis for Future Electricity Production in the World / <http://www.formatex.info/energymaterialbook/book/>. – 2013. – P.818 – 830. (Eng.)
2. Kirillov P. L. Water-cooled reactors, supercritical water // Теплоэнергетика. –2008. –№5. – С.2–5. (Rus.)
3. Cao L., Oka Y., Ishiwatari Y., Shang Z. Core Design and Subchannel Analysis of a Superfast Reactor // Journal of Nuclear Science and Technology. –2008. – V.45, № 2. – P.138–148. (Eng.)
4. Vlasenko N.I., Godun O.V., Kiryanchuk V.N. Comparative evaluation of innovative options open for nuclear fuel cycle in Ukraine // Nuclear and Radiation Safety. – 2014. – V.3, №63. – С.10–13. (Rus.)

5. *Hrabezhnaya V.A., Kirillov P.L.* Heat transfer at supercritical pressures and limits of heat transfer deterioration // *Teploenergetika*. – 2006. – №4. – С.46–51. (Rus.)
6. *Yang X., Su G.H., Tian W, Wang J., Qiu S.* Numerical study on flow and heat transfer characteristics in the rod bundle channels under super critical pressure condition // *Annals of Nuclear Energy*. – 2010. – №37. – P.1723–1734. (Eng.)
7. *Gu Y.Y., Cheng X., Yang Y.H.* CFD analysis of thermal – hydraulic behavior of supercritical water in sub –channels // *Nucl. Eng. Des.* – 2010. – V.240, №2. – P.364–374. (Eng.)
8. *Razumovsky V.G.* Heat transfer and hydraulic resistance of smooth channel in turbulent water flow supercritical pressure / PhD dissertation . – KPI. Kiev. – 1984. – 222 P. (Rus.)
9. *Petukhov B.S., Kurganov V.A., Ankudinov V.B.* Heat transfer and hydraulic resistance in the pipes in turbulent fluid flow near-critical state parameters // *High Temperature*. – 1976. – V.14, №4. – P.769 – 774. (Rus.)
10. *Kurganov V.A.* Heat transfer in pipes at supercritical pressure coolant: some of the results of scientific research // *Works of the Russian National Heat Transfer Conference - 4*. – 2006. – V.1. – P.74-83. (Rus.)
11. *Alekseev G.V., Silin V.A., Smirnov A.M., Subbotin V.I.* Study of temperature modes of the pipe wall at the heat take off supercritical water // *High Temperature*. – 1976. – V.14, №4. – P. 796 – 774. (Rus.)
12. *Vedy O.V., Petrenko V.E., Antipova M.L., Alper G.A.* Effect of state parameters on the properties of supercritical water. Computer modeling of the structure and dynamics of the hydrogen bond network // *Supercritical Fluids: Theory and Practice*. – 2007. – V.2, №2. – P.55–68. (Rus.)
13. *Silin V.A., Semchenkov Yu.M., Alekseev P.N., Mit'kin V.V.* The study of heat transfer and flow resistance for the flow of supercritical water in relation to the reactor plants // *Atomic Energy*. – 2010. – V.108, №6. – P.340–347. (Rus.)
14. *Gabaraev B.A., Smolin V.N., Solovyov S.L.* Promising direction of development of water-cooled nuclear reactors in XXI c. // *Teploenergetika*. – 1984. – №9. – С.33–40
15. *Smirnov V.P., Papandin M.V., Loninov A.Ya., Vanyukova G.V., Afonin S.Yu.* Application of CFD - code to the calculation of heat transfer in the reactor with supercritical parameters // *Atomic Energy*. – 2011. – V.111, № 4. – P.196–201. (Rus.)
16. *Yang X., Su G.H., Tian W, Wang J., Qiu S.* Numerical study on flow and heat transfer characteristics in the rod bundle channels under super critical pressure condition // *Annals of Nuclear Energy*. – 2010. – №37. – P.1723–1734. (Eng.)
17. *Avramenko A.A., Kovetskaya M.M., Kondratieva E.A., Tyrinov A.I.* Hydrodynamics and heat flow with supercritical parameters in the vertical assembly of fuel // *Journal of Engineering Physics*. – 2013. – V.86, № 4. – P.760–767. (Rus.)
18. *Avramenko A.A.* Renormalization-group analysis of unsteady turbulence // *Reports of National Academy of Sciences of Ukraine*. – 2007. – № 12. – P.88 – 93. (Rus.)
19. *Avramenko A.A., Basok B.I., Kuznetsov A.V.* Group methods in thermal physics. Kiev.: Naukova Dumka. – 2003. – 483 p. (Rus.)
20. *Aleksandrov A.A., Orlov K.A., Ochkov V.F.* Thermophysical properties of working substances of power system. Moscow.: Izd.Dom MEI.- 2009. (Rus.)

УДК621.039.5:536.24

О.О. Кондратьєва, канд. техн. наук, **Ю.Ю. Ковецька**, **О.В. Кравчук**,
О.І. Скілько, канд. техн. наук, **Т.В.Сорокіна**, канд. техн. наук
Інститут технічної теплофізики НАН України

ТЕПЛООБМІН ПРИ ТЕЧІЇ ВОДИ НАДКРИТИЧНОГО ТИСКУ В КАНАЛІ ЗІ СТРИЖНЯМИ, ЩО ОБІГРІВАЮТЬСЯ, В НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ ЗІ ЗМІНОЮ ПОТУЖНОСТІ

Виконано числове моделювання теплообміну при течії води надкритичного тиску в семистрижневої тепловидільної збірки з центральним стрижнем, що не обігрівається, в режимі зі змінною теплової потужності. Проаналізовано умови виникнення режимів погіршеного теплообміну. Режим погіршеного теплообміну виникає локально в центральних комірках тепловидільної збірки між обігрівальними стрижнями після того, як температура теплоносія досягне критичного значення. В цих комірках спостерігається різке зростання температури стінки тепловиділяючих елементів та її сильна азимутальна нерівномірність.

Ключові слова: ядерний реактор, теплообмін, тепловиділяюча збірка, надкритичний тиск теплоносія.

Надійшла 17.10.2016

Received 17.10.2016

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

УДК 699.86:504.05

А.А. Маліновський, д-р техн. наук, проф.,
М.Й. Олійник, канд. техн. наук, доц., А.З. Музичак, канд. техн. наук
Національний університет «Львівська політехніка»

ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БЮДЖЕТНИХ ТА ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Кожне підвищення тарифів на енергоносії актуалізує проблему утеплення будинків з метою зменшення витрат на опалення. Розглянуто доцільність утеплення будівель за чинних економічних умов та визначено оптимальну товщину теплової ізоляції для кожної тарифної групи. Показано, що важливим фактором підвищення привабливості енергоощадних заходів може бути врахування супутніх екологічних вигод, фінансова оцінка яких внесена як складова дисконтованих витрат на опалення будинку. Врахування екологічної складової дозволить підвищити привабливість енергоощадних заходів з використанням під час утеплення краєвих теплоізолювальних матеріалів та більшої товщини їх шару. Оскільки населення не є платником екологічного податку, частину витрат на утеплення з позитивним екологічним ефектом мала б компенсувати держава.

Ключові слова: опалення, утеплення, екологічний податок, забруднення довкілля.

Вступ

Лише рік тому, навесні 2015 року населення України пережило один з етапів підвищення тарифів на теплову енергію [1], як уже необхідно готуватися до чергового витка підвищення цін [2]. Збільшення витрат на опалення та господарсько-побутові потреби є спонукальним чинником, що підштовхує мешканців до утеплення своїх будівель.

Необхідність утеплення породжує багато запитань, адже на сьогодні існує чималий вибір утеплювальних матеріалів, у кожного з яких є свої переваги та недоліки. Між тим висока капіталоемність енергоощадних заходів, а також значна очікувана тривалість їх дії, вимагають зваженого підходу до проведення будь-яких реконструкцій.

Неоднозначними є не лише вибір матеріалів, а й оптимальна товщина шару утеплювального матеріалу. Вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинків в Україні регулюють ДБН В.2.6-31:2006 [3] – норма теплоспоживання для другої зони складає 70-95 кВт год/м² за рік, а термічний опір – 2,1-2,4 м² К/Вт. У Європі нормують загальне енергоспоживання – з 2011 року для нових будівель встановлено 15 кВт год/м² за рік чи нульове [4], що значно перевищує вимоги вітчизняних нормативів.

Нормативні документи [3] визначають лише мінімальний термічний опір огорожувальних конструкцій будівель, проте не дають відповіді на питання оптимальної товщини шару теплової ізоляції. Адже доцільна товщина теплової ізоляції є також економічним чинником та визначається з одного боку вартістю утеплювальних матеріалів, а з іншого боку – тарифами на теплову енергію та енергоносії. Інтегральним загальноприйнятим критерієм доцільності виконання утеплення є мінімум дисконтованих витрат B_{oc} за певний період (горизонт існування проекту)

$$B_{oc} = K + \sum_{i=1}^{T_e} B_a E_{di}, \quad (1)$$

де K – капіталовкладення (вартість утеплення); B_a – щорічні видатки на опалення за чинними на час розрахунку тарифами; E_{di} – коефіцієнт дисконтування; i – номер поточного року; T_e – горизонт існування проекту (прийнято 20 років).

Традиційно складова B_a включає лише щорічні видатки на природний газ (чи на теплову енергію у випадку централізованого теплопостачання). Окрім заощадження енергоресурсів зниження енергоспоживання також зменшує забруднення довкілля від спалювання органічних палив (природний газ, торф, вугілля), що дає позитивний екологічний ефект.

Зауважимо, що затверджена в Україні типова методика проведення енергетичного аудиту [5] передбачає визначення зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин. Проте як враховувати цю вигоду для обґрунтування енергоощадних заходів у [5] не наведено.

Мета та завдання

У країнах Європейської спільноти звіт з енергетичного аудиту будівель окрім оцінки енергоспоживання та розроблення енергоощадних заходів також повинен містити розділ, пов'язаний із екологічним впливом на довкілля [6]. Таку практику необхідно поширити на вітчизняні терени. При цьому екологічна вигода обов'язково повинна мати чітку фінансову оцінку та давати відчутний позитивний економічний ефект.

Матеріал і результати досліджень

Підставою для фінансової оцінки впливу забруднень на довкілля є Податковий кодекс України [7] який регламентує ставку екологічного податку за забруднення довкілля. В Україні екологічний податок було запроваджено з 1 січня 2011 р. замість збору за забруднення довкілля, на якому базуються вимоги типової методики [5].

Порядок нарахування екологічного податку визначено розділом VIII Податкового кодексу (статті 240-250). Згідно з Податковим кодексом екологічний податок справляється за фактичні обсяги викидів у атмосферне повітря та скидів у водні об'єкти забруднюючих речовин, розміщення відходів, фактичного обсягу утворення та тимчасового зберігання радіоактивних відходів.

Стосовно шкідливого впливу на довкілля, зумовленого опаленням будівель, мова в першу чергу йде про статтю кодексу, яка стосується викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення. Відповідно до [7] платниками екологічного податку за цією статтею є суб'єкти господарювання, юридичні особи, що не провадять господарську (підприємницьку) діяльність, бюджетні установи, громадські та інші підприємства, установи та організації, постійні представництва нерезидентів. Населення не є платником цього податку.

Для вирішення цілей статті спочатку оцінимо привабливість впровадження енергоощадних заходів за традиційного підходу, а після цього розглянемо як на це може вплинути екологічна складова.

У роботі розглянуто, як приклад, чотириповерхові будинки розміром 10 м×24 м×13 м, що належать різним категоріям споживачів (житло, бюджет, релігійна, інша). Загальний вигляд будинку наведено на рис. 1. Для спрощення розрахунків, з усіх складових тепловтрат тут розглянуто лише тепловтрати через стіни та дах.



Рисунок – 1. Загальний вигляд будинку

Розрахунок теплових потреб опалення виконувався з використанням програми «Енергоефективна будівля» спеціалізованого пакету енергоменеджера [8]. Теплове навантаження такого будинку $P=0,0722$ Гкал/год, щорічне споживання теплової енергії за нормативних кліматичних умов $Q=146,2$ Гкал. Потреби у природному газі, за умови, що коефіцієнт корисної дії газового котла прийнято 92%, становлять 19,74 тис. куб. м.

Щорічні видатки на опалення будинку для різних категорій абонентів суттєво різняться, що зумовлено диференціацією тарифів. Тарифи на природний газ та централізоване теплопостачання наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Тарифи на природний газ та на теплову енергію ЛМКП «Львівтеплоенерго»

Складові тарифу	Категорія споживачів			
	житло	бюджет	релігійна	інші
тариф на природний газ				
в опалюваний період, грн/тис. куб. м.	3600	8935,4	3600	8930
тариф на централізоване теплопостачання				
змінна складова тарифу c_1 , грн/Гкал	572	1335,62	737,74	1335,62
постійна складова тарифу c_2 , грн/(Гкал/год) в місяць	21927,14	17557,3	17557,3	17557,3

Умовно постійну складову в тарифі на теплову енергію в Україні було введено в 2010 році, щоб теплопостачальні організації у неопалюваний період могли компенсувати витрати на заробітну плату, відрахування податків в бюджет, ремонт, амортизаційні відрахування тощо [9].

Таким чином щорічні видатки на опалення визначають за виразом:

$$B_a = c_1 Q + 12c_2 P, \quad (2)$$

де c_1, c_2 – змінна та умовно постійна складові тарифу на теплову енергію відповідно; Q – кількість спожитої за опалюваний сезон теплової енергії, Гкал; P – теплове навантаження будинку, Гкал/год.

Видатки на опалення, розраховані за наведеними тарифами для прийнятого як приклад будинку (для кожної з категорій споживачів), наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Видатки на опалення будинку, тис. грн.

Складові тарифу	Категорія споживачів			
	житло	бюджет	релігійна	інші
індивідуальне опалення природним газом	71,07	176,4	71,07	176,29
централізоване тепlopостачання	102,62	210,48	123,07	210,48

В розрахунках не враховано видатків на експлуатацію системи опалення, тому отримані видатки на опалення у випадку індивідуального опалення дещо занижені.

Оцінимо доцільність термомодернізації будинку. Розглянемо варіанти утеплення стін шаром пінопласту товщиною 20, 50, 100, 150, 200, 250 і 300 мм. Результати розрахунку тепловтрат наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Тепловтрати будинку після утеплення

Параметр	Товщина утеплювача, мм						
	20	50	100	150	200	250	300
Теплове навантаження, Гкал/год	0,0615	0,0541	0,0488	0,0462	0,0447	0,0437	0,043
Споживання теплової енергії, Гкал	120,8	103,4	90,6	84,5	80,9	78,6	76,9

За отриманими даними та тарифами, наведеними в табл. 1, визначаємо дискontовані видатки на опалення будинку для різних варіантів (розрахунок ведемо за тарифами на теплову енергію, як витратнішими). Результати розрахунку наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Дискontовані витрати на опалення будинку (утеплювач пінопласт), тис. грн

Категорія будинку	Товщина утеплювача							
	нема	20	50	100	150	200	250	300
житло	873,74	849,15	773,69	742,57	750,13	772,33	801,98	835,23
бюджет	1792,02	1607,07	1421,79	1309,82	1278,88	1278,34	1293,49	1315,99
релігійна	1047,81	992,15	895,44	848,63	848,74	866,53	893,38	924,54
інша	1792,02	1607,07	1421,79	1309,82	1278,88	1278,34	1293,49	1315,99

Як бачимо, оптимальна товщина утеплювача для бюджетного будинку становить 200 мм, а для житлового будинку – лише 100 мм (рис. 2).

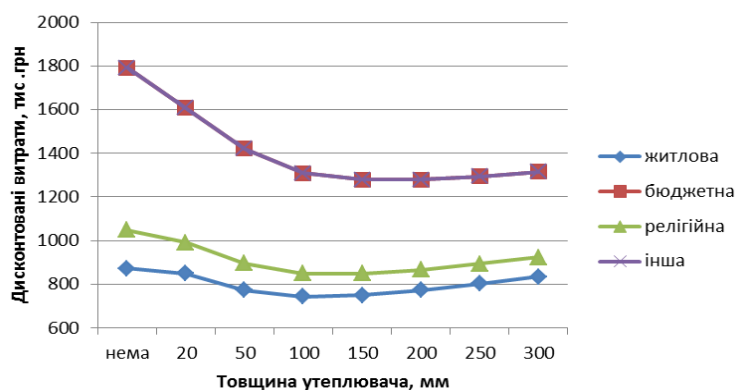


Рисунок 2 – Дискontовані видатки на опалення будинку за утеплення стін шаром пінопласту

Інакші результати отримуємо у випадку утеплення будинку мінеральною ватою, яка втричі дорожча за пінопласт. Результати розрахунку дисконтованих витрат наведено в табл. 5.

Оптимальна товщина утеплювача для бюджетного будинку в цьому випадку складає 100 мм, а житловий будинок можна узагалі не утеплювати (дисконтовані витрати практично такі самі, як у випадку утеплення будинку 50 мм шаром мінеральної вати).

Таблиця 5 – Дисконтовані витрати на опалення будинку (утеплювач мінеральна вата), тис. грн

Категорія будинку	Товщина утеплювача, мм							
	нема	20	50	100	150	200	250	300
житло	873,74	890,91	871,47	933,12	1032,47	1147,17	1269,32	1395,33
бюджет	1792,02	1653,90	1524,59	1505,43	1565,02	1656,34	1763,33	1878,65
релігійна	1047,81	1034,91	994,17	1040,17	1131,84	1241,98	1361,20	1485,16
інша	1792,02	1653,90	1524,59	1505,43	1565,02	1656,34	1763,33	1878,65

Як видно з наведених розрахунків, утеплення будинку не є надзвичайно привабливим енергоощадним заходом. З іншого боку, їх впровадження необхідне, адже енергоємність вітчизняних будівель у кілька разів перевищує європейські. У той же час тарифи на енергоносії фактично вже досягли світового рівня. Необхідний інший економічний механізм, яким може бути врахування екологічних вигод з внесенням їх фінансової оцінки у формулу дисконтованих витрат (1). Тепер формула дисконтованих витрат (1) на опалення будинку набуде вигляду

$$B_{oc} = K + \sum_{i=1}^{T_e} (B_a + B_e) E_{di}, \quad (3)$$

де B_e – щорічні видатки на екологічний податок на час розрахунку.

Для обчислення екологічного податку необхідно визначити обсяги викидів забруднюючих речовин у довкілля. В Україні розрахунок таких викидів від стаціонарних джерел забруднення затверджено галузевою методикою [10]. У випадку індивідуальних систем опалення можна скористатися спрощеною методикою [11]. За використання на потреби опалення природного газу отримано такі річні обсяги викидів для неутепленого будинку (табл. 6).

Таблиця 6 – Річні обсяги викидів шкідливих речовин до утеплення та податок на них

Параметр	Вид шкідливої речовини						Сума
	CO ₂	CO	NO ₂	N ₂ O	SO ₂	CH ₄	
Обсяги викидів, т	38,274	0,0348	0,0403	0,0007	0,0007	0,0021	–
Ставка податку, грн/т	0,33	74,17	196,86	1968,65	1968,65	111,26	–
Податок, грн	12,63	2,58	7,94	1,37	1,37	0,23	26,12

За чинних нормативів екологічний податок за забруднення довкілля становить 26,12 грн, тобто лише дві сотих відсотка від витрат на саме паливо.

Складається враження, що запровадження екологічного податку було зумовлене радше для приведення вітчизняного законодавства у відповідність до європейської практики, ніж для вирішення екологічних завдань. Адже навіть, не зважаючи на нещодавнє підвищення екологічного податку більше ніж на 26%, він залишається значно меншим ніж у країнах Європейської спільноти.

У січні 2016 року ставки екологічного податку [7] було вчергове проіндексовано [12]. Так ставка екологічного податку за викиди двоокису вуглецю зросла – на 26,92%, а ставка за викиди інших забруднюючих речовин – на 26,71%.

Екологічний податок на викиди вуглекислого газу в Україні сьогодні становить 0,33 грн/тону, у той же час в Євросоюзі податок на тону CO₂ становить від 4 до 30 євро [13], а у Великобританії – 8 фунтів (планується збільшення податку до 18 фунтів/тону). Це у 500 і більше разів перевищує вітчизняний податок.

Слідування стратегії сталого розвитку зумовлює необхідність суттєвого підвищення ставки екологічного податку. Проте мова не йде про механічне його збільшення та, як наслідок, збільшення фінансового навантаження на сімейний бюджет. Необхідно врахувати досвід країн Євросоюзу, де введення податку на двоокис вуглецю та перегляд ставки оподаткування в бік її підвищення, супроводжувався одночасним зниженням ставок податку на доходи чи працю [14]. Лише таким чином податок на CO₂ стане основою зваженої енергетичної політики з обмеженням негативного впливу на довкілля та сталого розвитку держави.

У випадку збільшення ставки податку у 500 разів, що відповідає мінімальній ставці країн Євросоюзу, річний екологічний податок за забруднення довкілля для розглянутого вище будинку становитиме 13061,3 грн. Це 12,7% річних видатків на тепло житлового будинку та 6,2% від видатків бюджетного

будинку. Врахування цих коштів у дискontованих витратах сприятиме зменшенню терміну окупності енергоощадних заходів чи використанню кращих утеплювальних матеріалів та/чи більшої їх товщини за того самого терміну окупності.

Результати розрахунку дискontованих витрат на опалення будинку з врахуванням підвищеної ставки екологічного податку наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Дискontовані витрати на опалення будинку (утеплювач пінопласт), тис. грн

Категорія будинку	Товщина утеплювача, мм							
	нема	20	50	100	150	200	250	300
житло	998,72	952,42	862,08	827,14	822,37	841,49	869,18	900,97
бюджет	1917,00	1710,34	1510,18	1387,27	1351,12	1345,35	1352,04	1381,73
релігійна	1172,79	1095,42	983,84	926,08	920,98	935,69	960,58	990,28
інша	1917,00	1710,34	1510,18	1387,27	1351,12	1347,50	1360,68	1381,73

Таким чином у випадку утеплення стін пінопластом доцільна товщина для бюджетного будинку становитиме вже 20-25 см, а для житлового – 15-20 см (рис. 3).

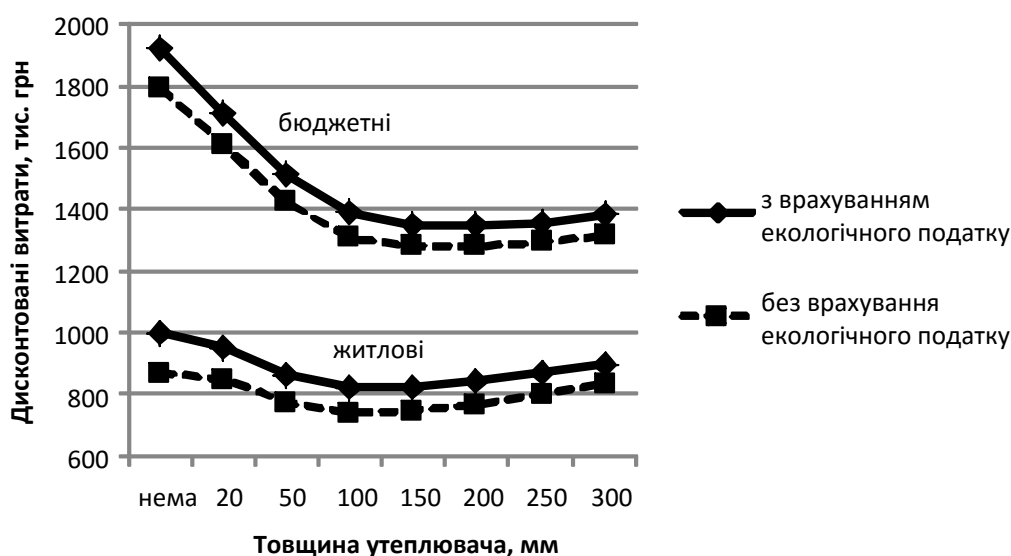


Рисунок 3 – Дискontовані видатки на опалення будинку за утеплення стін шаром пінопласту (без та з врахуванням екологічного податку)

У випадку утеплення будинку мінеральною ватою доцільна товщина утеплювача для бюджетного будинку становитиме 100 мм, а для житлового будинку – 50 мм. У випадку підвищення ставки екологічного податку до середнього європейського значення, впровадження енергоощадних заходів буде ще привабливішим.

Нагадаємо, що населення не є платниками екологічного податку, а тому не відчує фінансової вигоди від зменшення викидів шкідливих речовин у довкілля за рахунок утеплення. У той же час цю вигоду відчує держава, одним із обов'язків якої є покращення стану довкілля, зокрема за взятими на себе зобов'язаннями перед світовою спільнотою (Київський протокол, Угода мерів тощо). Тому держава мала б компенсувати витрати населення на утеплення, які дали позитивний екологічний ефект.

Підставою для такої фінансової компенсації може бути рівність дискontованих витрат за період існування проекту без врахування екологічного податку та з його врахуванням

$$(K + K_{\text{комп}}) + \sum_{i=1}^{T_e} B_a E_{di} = K + \sum_{i=1}^{T_e} (B_a + B_e) E_{di}, \quad (4)$$

де $K_{\text{комп}}$ – розмір компенсації державою витрат населення на утеплення з позитивним екологічним ефектом.

З отриманої рівності випливає, що розмір компенсації населенню видатків на енергоощадні заходи повинна бути рівною сумарному екологічному податку за розрахунковий період з врахуванням дисконтної ставки

$$K_{\text{ком}} = \sum_{i=1}^{T_e} B_e E_{di}, \quad (5)$$

Обсяги повернення коштів державною населенню у випадку утеплення стін пінопластом становитимуть 25-30% вартості утеплення, а у випадку утеплення мінеральною ватою – 12-18% капіталовкладень.

Висновки

В Україні екологічний податок є радше формальним; для того, щоб він став відчутним механізмом забезпечення сталого розвитку держави та відігравав вагомий роль в підвищенні привабливості енергоощадних заходів, необхідне суттєве його підвищення.

Оцінка зменшення викидів шкідливих речовин та зменшення витрат на екологічний податок повинні бути невід'ємними складовими звітів з енергетичного обстеження будівель. Запропоновано фінансову оцінку екологічних вигод внести як одну зі складових дисконтованих витрат на опалення будинків.

Для громадських та інших організацій наявність екологічної складової підвищить привабливість енергоощадних заходів, а для населення може бути підставою для отримання від держави компенсації частини витрат на утеплення.

Список використаної літератури

1. Як зростуть тарифи на «комуналку» [Електронний ресурс] // Українська правда / Від 06.03.2015.– Режим доступу: <http://www.pravda.com.ua/cdn/cd1/2015year/tarify/>. [Online].
2. Нові тарифи на газ і тепло. Як це буде. [Електронний ресурс] // Українська правда / Від 28.04.2016.– / Режим доступу: <http://www.epravda.com.ua/publications/2016/04/28/591053/>. [Online].
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель – [Чинний від 01-04-2007] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 72 с.
4. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of building.
5. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» / Затверджено наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів №56 від 20.05.2010.
6. Energy Auditing of Buildings – Introduction // ENSI – Energy Saving International AS, 2013. – 12 p.
7. Податковий кодекс України. Остання редакція від 01.02.2016. Внесення змін (закон від 24.12.2015 №909-VIII /909-19/).
8. Komputerowe wspomaganie audytu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», Kraków, pp.321-329, 2008.
9. Зміни, що вносяться до Порядку формування тарифів на виробництво, транспортування, постачання теплової енергії та послуги з централізованого опалення і постачання гарячої води // Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України №231 від 2.03.2010 р. [Не чинний].
10. Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України. Затверджено наказом Мінбуду України №67 від 16.03.2006.
11. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах. Затверджено наказом Державного комітету статистики України № 98 від 22.04.2011.
12. Про зміну у 2016 році ставок екологічного податку [Електронний ресурс] // Державна фіскальна служба. Лист № 2938/7/99-99-15-04-02-17 від 29.01.2016 р. – Режим доступу: <https://docs.dtkr.ua/doc/1041.73984.0>. [Online].
13. Carbon tax [Електронний ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tax#European_Union. [Online].
14. Маслюківська О.П. Використання податку на двоокис вуглецю як інструмент енергозбереження в Україні // Економіка природокористування і охорони довкілля: Зб. наук. праць/ РВПС України НАН України. – К.:РВПС України НАН України, 2007. – с.174-180

A.A. Malinowski, M.I. Oliinyk, A.Z. Muzychak
Lviv Polytechnic National University

ECOLOGICAL COMPONENT THERMOMODERNIZATION OF BUDGET AND RESIDENTIAL BUILDINGS

Each increase of energy tariffs actualizes the problem insulation of buildings with the purpose of reduction heating costs. Consider the appropriateness of buildings for insulation of existing economic conditions and identified optimal insulation thickness for each tariff group. It is shown that an important factor in increasing the

attractiveness of energy efficiency measures can be account related environmental benefits. Their financial evaluation is included as a component of discounted costs on home heating. Taking into account the environmental component will increase the attractiveness of energy efficiency measures and use while warming better heat insulating materials or greater thickness of their layer. People are not ecological tax payer therefore part of the cost of insulation with a positive environmental effect would have to compensate the state.

Key words: heating, insulation, environmental tax, pollution.

References

1. How to increase the tariffs for "communal". (2015), Ukrainian Pravda, available at: <http://www.pravda.com.ua/cdn/cd1/2015year/tarify/>.
2. New tariffs for gas and heat. As it will be. (2016), Ukrainian Pravda, available at: <http://www.epravda.com.ua/publications/2016/04/28/591053/>. [Online].
3. Thermal insulation of buildings: DBN V.2.6-31:2006. – [Valid from 01.04.2007] // Ministry of Construction of Ukraine. – Kyiv: Ukrarhbudinform, 2006. – 65 p. – (State Building Standards of Ukraine).
4. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of building.
5. General requirements for the organizing and execution of energy audit: Typical methodic. (2010), Approved by National Agency of Ukraine for the Efficient Use of Energy Resources N56, 20.05.2010.
6. ENIS – Energy Saving International AS (2013), Energy Auditing of Buildings – Introduction.
7. Tax Code of Ukraine. (Redaction 01.02.2016), Amendments (law 24.12.2015 N909-VIII /909-19/).
8. Komputerowe wspomaganie audytu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», Kraków, pp.321-329, 2008.
9. Changes made to the procedure for formation of tariffs for production, transportation, supply of heat energy and services for centralized heating and hot water supply. (2010), Approved by Cabinet of Ministers of Ukraine №2316 2.03.2010.
10. Industry method of calculating the emissions that come from thermal generating plants municipal heating Ukraine. (2006), Approved by Ministry Construction of Ukraine N67, 16.03.2006.
11. The method of calculating emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from fuel for domestic purposes in households. (2011), Approved by State Statistics Committee of Ukraine N98 22.04.2011.
12. State Fiscal Service (2016), On the change in 2016 rates the environmental tax – letter N 2938/7/99-99-15-04-02-17, 29.01.2016, available at: <https://docs.dtkr.ua/doc/1041.73984.0>.
13. Carbon tax. (2015), Wikipedia, the free encyclopedia, available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tax#European_Union.
14. Masliukivska O.P. (2007), The use tax on carbon dioxide as a tool for energy efficiency in Ukraine. Environmental Economics and Environment: Coll. Science papers, pp.174-180.

УДК 699.86:504.05

А.А. Малиновский, д-р техн. наук, проф.,

М.И. Олийнык, канд. техн. наук, доц., **А.З. Музычак**, канд. техн. наук.

Национальный университет «Львовская политехника»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ БЮДЖЕТНЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Каждое повышение тарифов на энергоносители актуализирует проблему утепления зданий с целью уменьшения затрат на отопление. Рассмотрена целесообразность утепления зданий при действующих экономических условиях и определена оптимальная толщина тепловой изоляции для каждой тарифной группы. Показано, что важным фактором повышения привлекательности энергосберегающих мероприятий может быть учет сопутствующих экологических выгод, финансовая оценка которых внесена как составляющая дисконтированных расходов на отопление дома. Учет экологической составляющей позволит повысить привлекательность энергосберегающих мероприятий с использованием во время утепления лучших теплоизоляционных материалов и большей толщины их слоя. Поскольку население не является плательщиком экологического налога, часть расходов на утепление с положительным экологическим эффектом могло бы компенсировать государство.

Ключевые слова: отопление, утепление, экологический налог, загрязнение окружающей среды.

Надійшла 23.06.2016

Received 23.06.2016

УДК 697.1

В.І. Дешко, д-р техн. наук, проф.; І.Ю. Білоус
Національний технічний університет України

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

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

В роботі розглянуто управління режимами опалення будівель за умови прогнозування рівня внутрішньої температури повітря.

Запропоновано регресійну модель для прогнозування середньодобової внутрішньої температури повітря. Середньодобова внутрішня температура повітря в умовах регулювання рівня опалення не є показовою. В роботі розглянуто добові коливання внутрішньої температури повітря та проаналізовано період виходу внутрішньої температури повітря в неробочі години на комфортну температуру повітря в робочі години. Розглянуто різні варіанти переривчастого опалення та визначено економію для різних графіків теплового навантаження. Запропоновано рекомендації щодо підбору переривчастого опалення.

Ключові слова: рівень опалення, переривчасте опалення, регулювання, форсування, комфортні умови, енергоефективність.

Вступ

Проблема економії енергетичних ресурсів на сьогодні стоїть як ніколи гостро. За даними [1] витрата теплової енергії на підтримання функціонування будівель складає біля 2,3 ГДж/рік, тобто більше 25% в енергобалансі України. При цьому витрати на опалення в Україні майже в 2-3 рази вищі в порівнянні з розвиненими державами з різко вираженим континентальним кліматом, де проблема енергозбереження є пріоритетною.

Зниження витрати енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. Один з них – це використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій на стадіях проектування і експлуатації. Другим напрямком є використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії в системах розподіленої генерації. Третій напрямок – масове використання автоматичного керування системами теплопостачання будівель (локальне керування теплоспоживанням). Останній підхід є найбільш ефективним з точки зору забезпечення комфортних умов, з урахуванням добових та сезонних коливань зовнішніх погодних умов [2-4]. Регулювання температури приміщень є найбільш маловитратним, але широко застосування даного напрямку має ряд проблем. Теплові процеси в будівлі є складним динамічним процесом тепломасообміну. Аналіз ефективності управління системою опалення базується на створенні адекватної математичної моделі. В основі регулювання лежить зниження температури повітря в приміщеннях до визначеного рівня в період відсутності людей, потім у визначений момент система опалення вмикається або збільшує теплове навантаження для прогрівання повітря до комфортної температури до моменту приходу людей в приміщення.

Потенціал зниження енергозатрат добре вивчений у стаціонарному режимі, зниження температури повітря в приміщенні на 1°C дозволяє знизити тепловтрати на 2...5%. Значне зменшення споживання теплової енергії може бути досягнуто шляхом зниження внутрішньої температури в період відсутності людей в житлових чи офісних будівлях. Добове використання економічних режимів з обмеженням температури повітря в приміщенні 10°C протягом 5 робочих днів тижня дозволяє зменшити енергозатрати на опалення до 14,7% у порівнянні з постійним режимом комфортної температури [4].

Мета та завдання

Метою роботи є моделювання переривчастого опалення та визначення економії теплової енергії в залежності від особливостей регулювання системи опалення.

Завдання:

- 1) створити нестационарну модель об'єкта;
- 2) побудова лінійної регресійної моделі для визначення температурного стану приміщень;
- 3) отримати та проаналізувати значення температури приміщення в залежності від зниження рівня опалення в неробочі години;
- 4) дослідити введення форсування системи опалення для забезпечення комфортних умов у робочі години;
- 5) визначення рівня енергозбереження при застосуванні регулювання опалення.

Матеріали і результати дослідження

Процес теплоспоживання будівель є складним динамічним розподіленим процесом теплообміну, в умовах впливу великого числа фізичних і конструкційних параметрів, а також зовнішніх кліматичних факторів.

Один з елементів оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів є створення математичних моделей на базі програмних продуктів. Імітаційна модель кімнати побудована в програмному середовищі EnergyPlus. Програмний продукт дозволяє аналізувати енергетичні характеристики будівель, визначати їх енергетичну потребу з метою підвищення енергоефективності, а також дозволяє відслідковувати температурні залежності від зміни кліматичних умов та конструкції приміщення та вплив зміни графіка рівня опалення на внутрішню температуру приміщення. [5]

Опис моделі. Для дослідження переривчастого опалення була створена модель кімнати за допомогою EnergyPlus. Розміри кімнати 5,5х6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну (5,5 м) з вікном (5х2,5 м), орієнтовану на північ. Конструкція будівлі відповідає вимогам забудови 70-х років. Зовнішня масивна стіна з термічним опором 1,2 м²С/Вт (цегляна кладка в дві цеглини). Вікно з подвійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях. Внутрішні стіни малої масивності – цегляна кладка в півцеглини. Перекриття над опалювальними приміщеннями – залізобетонні –20 см.

1) Регресійні моделі для прогнозування середньодобової температури внутрішнього повітря

Внутрішня температура повітря в приміщеннях є залежною величиною від ряду факторів. Вагомими факторами, які найбільш суттєво впливають на комфортні умови в приміщенні є зовнішня температура та рівень теплонадходжень включно з опаленням.

Імітаційного моделювання використана для визначення температури повітря в приміщенні при збуренні кожного з цих двох факторів в обраному діапазоні. На базі імітаційного моделювання розроблялися регресійні моделі для передбачення теплового режиму приміщень.

Погодні умови обирались для лютого місяця типового року за міжнародними даними IWEC (International Weather for Energy Calculations) для міста Києва, за характером зміна температури близькі до середньої температури за опалювальний період [6]. Зовнішня температура змінювали в діапазоні $t_{зв}=[0...-9]$. Зміна добових коливань зовнішньої температури моделювалася в діапазоні $\Delta t_{зв}=[0...3]$. На рис.1а наведено добову зміну зовнішнього повітря, яка була обрана за основу. Сонячну радіацію обрали незмінну протягом всього періоду моделювання. На рис. 1б наведено графік добової активності сонячних надходжень в кімнату. Кратність повітрообміну приймалася рівною 1 год⁻¹.

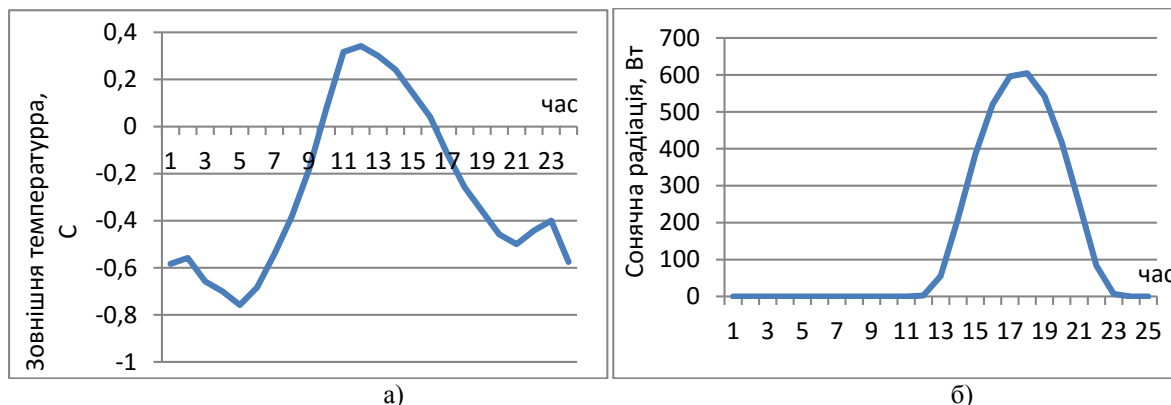


Рисунок – 1 Зовнішня температура (а) та кількість сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню вікна

Крім погодних умов задавався рівень опалення, який забезпечував прийнятний рівень температури повітря в приміщенні. Величина внутрішніх середньодобових теплових надходжень, які включають опалення, варіювалася в діапазоні 800...1100 Вт.

Розглядалися варіанти з врахуванням різного числа днів передісторії добової зміни зовнішньої температури та рівня внутрішніх теплонадходжень. При збуренні розглянутих факторів в заданому діапазоні середньодобові значення внутрішньої температури знаходяться в діапазоні 14...19°C.

Масив значень за якими будувалась регресійна модель було нормалізовано відповідно до розглянутого діапазону зміни параметру. Серед лінійних регресійних моделей з достатньою точністю описує фактичні значення внутрішньої температури, отримані на базі імітаційного моделювання, модель, що враховує вплив зміни факторів за попередні два дні.

Регресійна модель має наступний вигляд:

$$t_{вн,i} = -0,3522 + 0,4746t_{зв,i} - 0,0576t_{зв,i-1} + 0,4206t_{зв,i-2} + 0,2696Q_i + 0,0504Q_{i-1} + 0,0619Q_{i-2} \quad (1)$$

$$R_{НОДМ}^2 = 0,987,$$

де i -номер поточного дня.

На рис. 2 наведено порівняння фактичних середньодобових добових даних внутрішньої температури з отриманими на базі прогнозу за регресійною залежністю. Дана модель дає середню похибку біля 3%, максимальна похибка розбіжності значень 5%, в розглянутому діапазоні зміни значень.

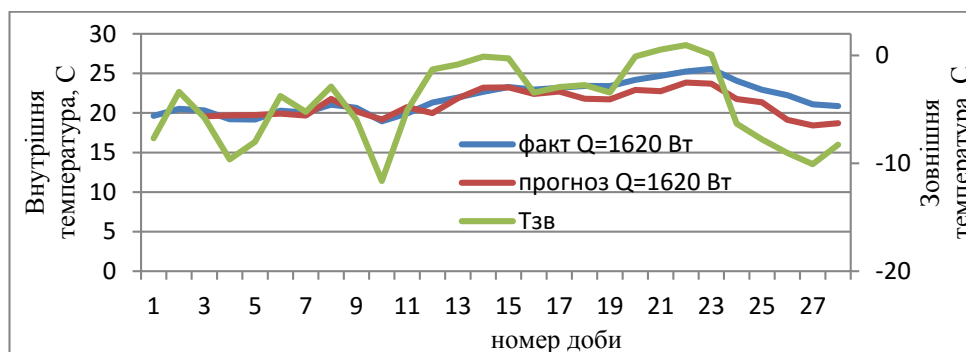


Рисунок 2 – Порівняння результатів фактичних результатів імітаційного моделювання з прогнозними за рівнянням регресії

2) Переривчасте опалення

2.1) Зниження температури в не робочі години

Зниження внутрішньої температури в неробочі години дозволяє знизити енергоспоживання. Використаний вище аналіз по середньодобовим значенням внутрішньої температури нівелює добові зміни внутрішньої температури особливо при використанні переривчастого опалення. За допомогою створеної моделі в EnergyPlus проаналізуємо більш детально поведінку добових коливань внутрішньої температури для різних графіків теплового навантаження.

Для дослідження переривчастого опалення моделювались теплові режими кімнати при різних значеннях рівня опалення у нічні години та розігріву перед початком робочого періоду.

Розглянуто випадок, коли система працює без регулювання, та починаємо вводити переривчасте опалення. Рівень опалення в неробочі години (20:00 – 6:00) понижували. На рис. 3 наведена температура внутрішнього повітря для різних рівнів опалення.

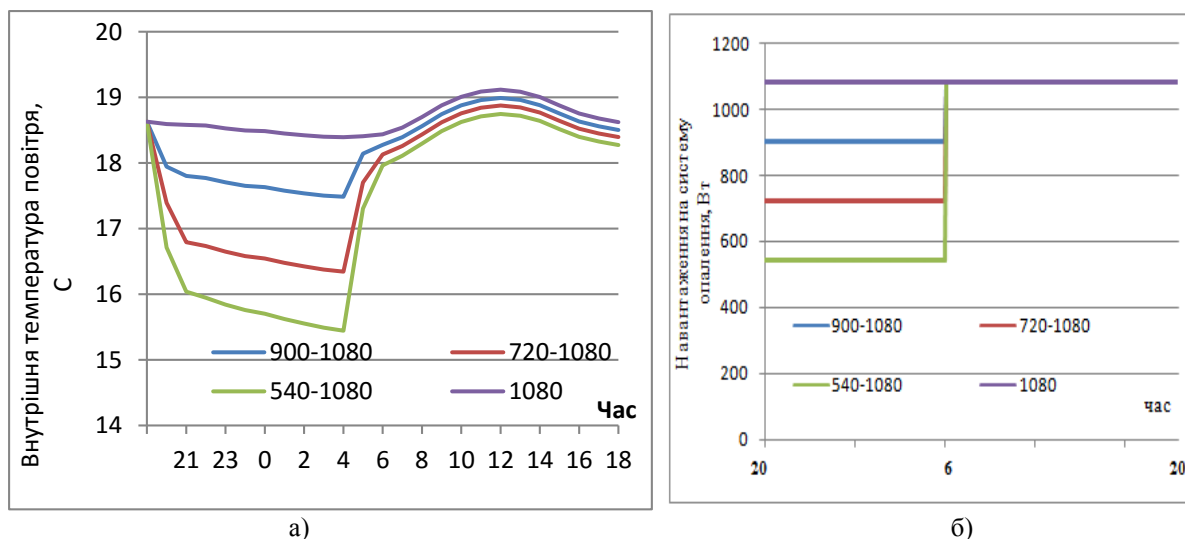


Рисунок 3 – Добова зміна температури внутрішнього повітря на початку регулювання (а) для різних графіків зниження опалення (б)

На рис. 4 наведено залежності внутрішньої температури від різної глибини провалу для точок, де температура стрімко змінює свої значення. Проаналізовано точки: початок підвищення рівня опалення після нічного провалу (6:00); після першої години підвищення рівня опалення, коли температура в приміщенні стрімко змінюється (7:00); коли внутрішня температура в робочі години не суттєво залежить від величини провалу (12:00).

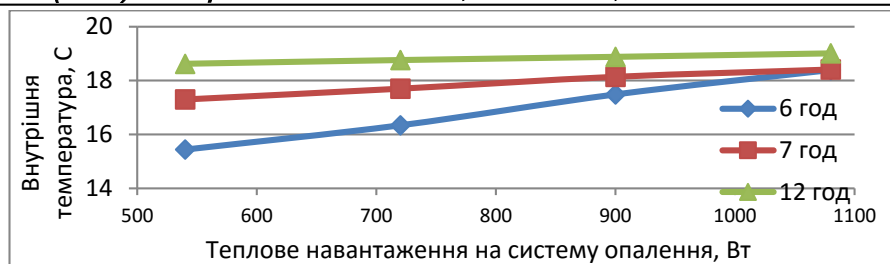


Рисунок 4 – Залежність внутрішньої температури повітря від величини рівня опалення

При потужності системи опалення 1080 Вт (без регулювання) температура в 7:00 та 6:00 співпадає, що пов'язано з відсутністю сонячних теплонадходжень та однаковим рівнем опалення. За відсутності регулювання та додаткових теплонадходжень з 20:00 до 7:00 внутрішня температура майже не змінюється, що видно з рис. 3а. Сонячні теплонадходження змінюють рівень температури в приміщенні о 12:00 на 1°C.

Зі збільшенням глибини провалу в неробочі години, температура внутрішнього повітря в робочі години не встигає догрітися до рівня температури без регулювання. За умови однакової добової зміни внутрішніх та зовнішніх чинників, що впливають на рівень температури в приміщенні, тривале використання графіку зміни переривчастого опалення призведе до просідання графіка зміни та зменшення середнього значення внутрішньої температури повітря.

Для розглянутого типу конструкцій та зовнішніх умов стабілізація графіка зміни внутрішньої температури повітря досягається на 6-8 день, для розглянутого діапазону пониження рівня опалення в неробочі години, при цьому знижується внутрішня температура повітря на 1,5–2 °С.

На рис. 5 наведено зміну середньодобової температури внутрішнього повітря після введення різних рівнів зниження опалення.

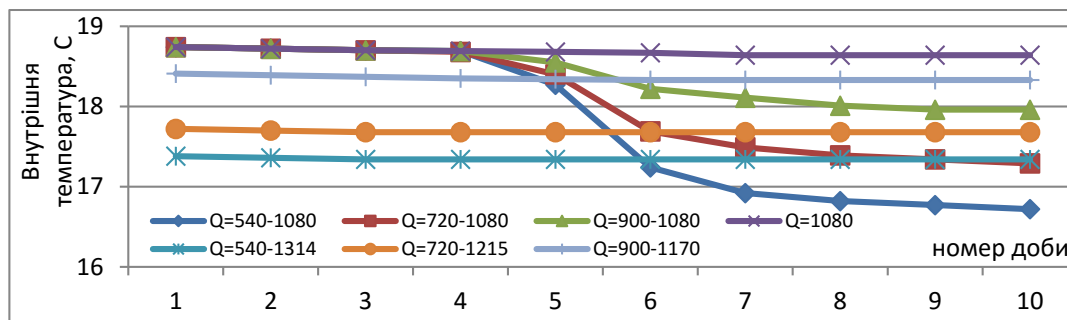


Рисунок 5 – Середньодобова внутрішня температура повітря для різних графіків навантаження на систему опалення

На рис. 6 наведено добові коливання температури для випадків, коли регулювання рівня опалення вводиться разове та при постійному регулюванні для графіка з зниженням рівня опалення в неробочі години до 540 Вт. При постійному регулюванні підбір рівня опалення здійснено відповідно до рівня температури в робочі години для базисного варіанту розрахунку (постійні внутрішні теплонадходження 1080 Вт).

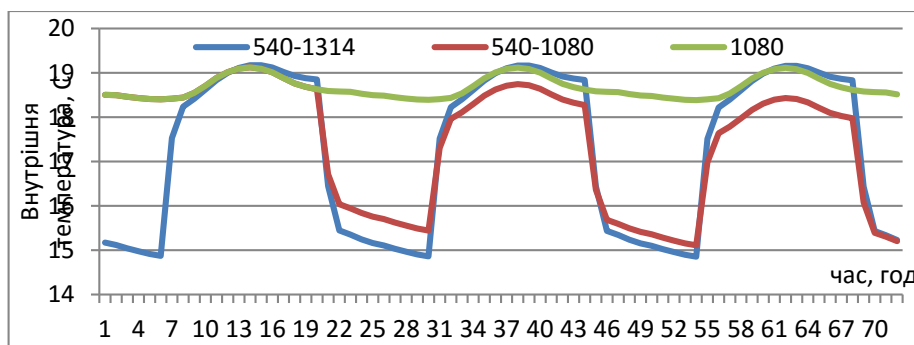


Рисунок 6 – Добові коливання внутрішньої температури повітря

Компенсація зменшення температури в приміщенні в робочі години при постійному використанні переривчастого опалення досягається за рахунок відповідного збільшення базового його рівня. На рис. 7

наведено рівень опалення та внутрішню температуру повітря для різної глибини провалу в неробочій годині, за умови, що в робочій годині температура в приміщенні буде така само як без регулювання, що досягається підбором відповідного збільшення рівня базового опалення, а саме з 1080 до 1314 Вт при опаленні в нічному провалі 540 Вт, до 1224 Вт при 720 та 1179 при 900 Вт.

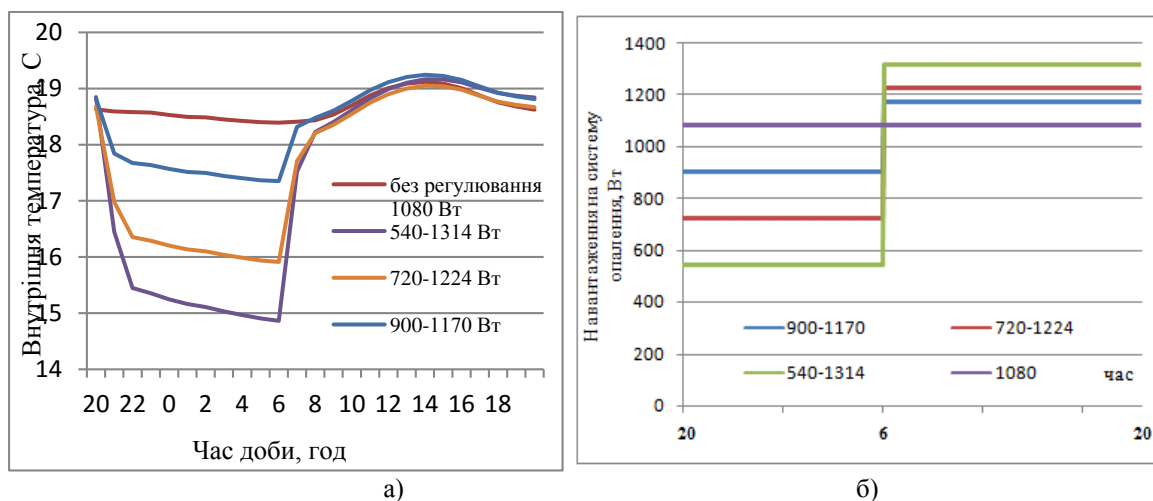


Рисунок 7 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години

2.2) Введення форсування системи опалення перед початком робочих годин

При прийняттю графіку теплового навантаження в неробочій період комфортний рівень температури в робочій годині досягається з запізненням (див. рис.3). Для забезпечення комфортного рівня температури в робочій годині вводили форсування системи опалення. На рис. 8 наведено внутрішню температуру повітря за наявності форсування системи опалення. Перед поверненням до базового рівня опалення 1080 Вт після нічного провалу досліджувалися різні варіанти короткочасного збільшення потужності рівня опалення до 1800 Вт тривалістю відповідно 1, 2, 3 год.

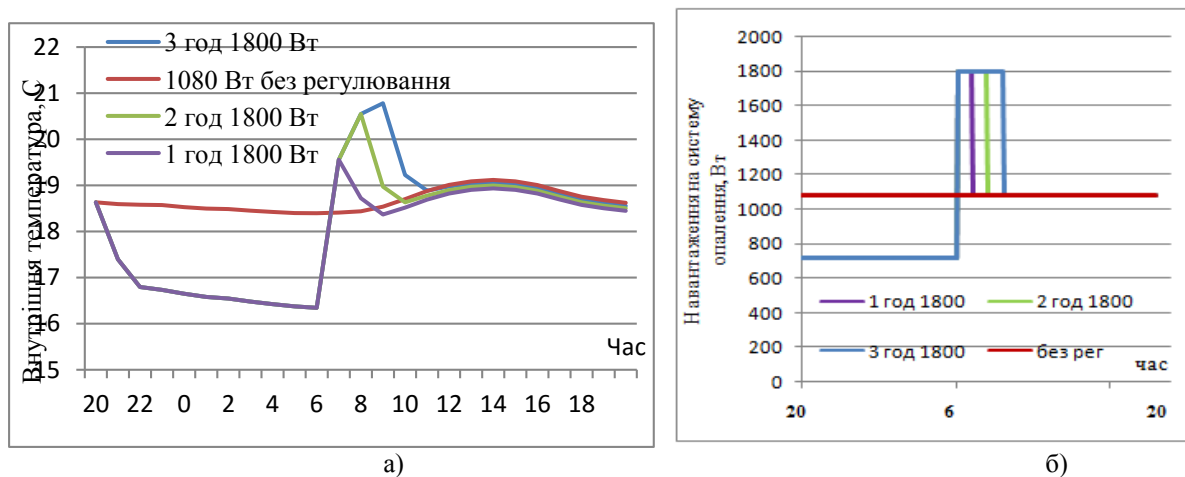


Рисунок 8 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з форсуванням системи опалення

З рис. 5.а видно, що внутрішня температура повітря під час форсування системи опалення має явно виражену максимальну та мінімальну температури.

Різниця відхилення температур з введенням регулювання для годин з максимальною внутрішньою температурою незначна. Форсування системи опалення дозволяє швидше вийти на потрібну температуру в робочій годині. Збільшення тривалості періоду форсування дозволяє знизити просідання графіку зміни внутрішньої температури в подальші дні при умові постійного регулювання.

На рис. 9 – розглянуті варіанти для форсування системи опалення тривалістю 3 та 4 год, коли кількість теплоти, підведена за форсування системи опалення, однакова.

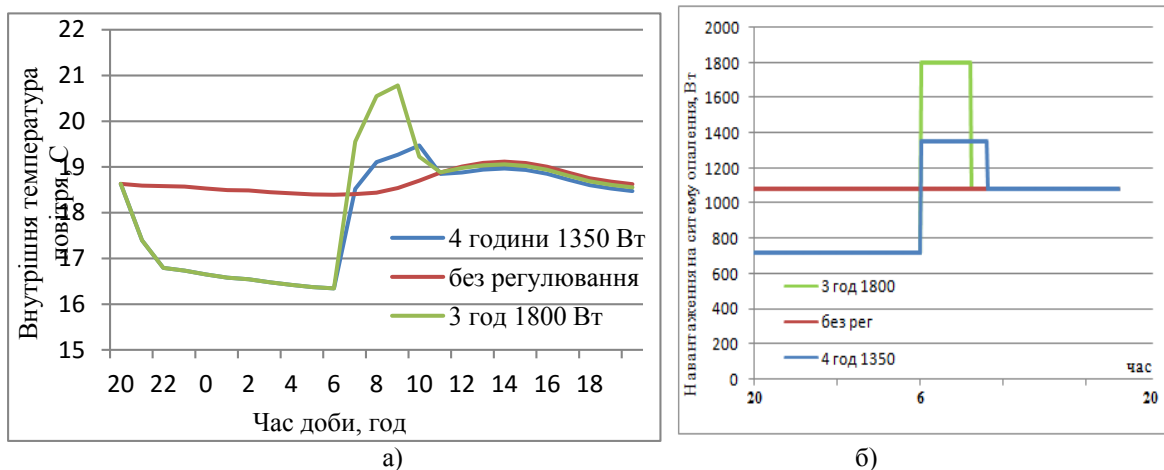


Рисунок 9 – Вплив різних форм форсування системи опалення (б) на внутрішню температуру повітря (а)

В обох випадках при форсуванні системи опалення було спожито 5,4 кВт·год теплової енергії. При розігріванні системи опалення 4 години з потужністю 1350 Вт досягнуто меншого зростання температури внутрішнього повітря під час форсування.

2.3) Визначення економії теплової енергії від регулювання рівня теплонаджоджень

При сталих значеннях зміни внутрішньої температури та переривчастого режиму опалення з параметрами зниження рівня опалення в неробочі години до 540, 720, 900 Вт та однаковими зовнішніми умовами визначено економію теплової енергії визначено відповідно до даних, наведених на рис. 7б.

При зниженні рівня опалення з 20:00 до 6:00 економія теплової енергії становитиме: 2% для графіка 900-1170 Вт; 6% – для 720-1224 Вт; 8,2% – для 540-1314 Вт.

Аналогічні розрахунки економії теплової енергії проведено за наявності форсування та підбору графіків зміни навантаження на систему опалення для стабілізації температури внутрішнього повітря в робочі години (рис. 10).

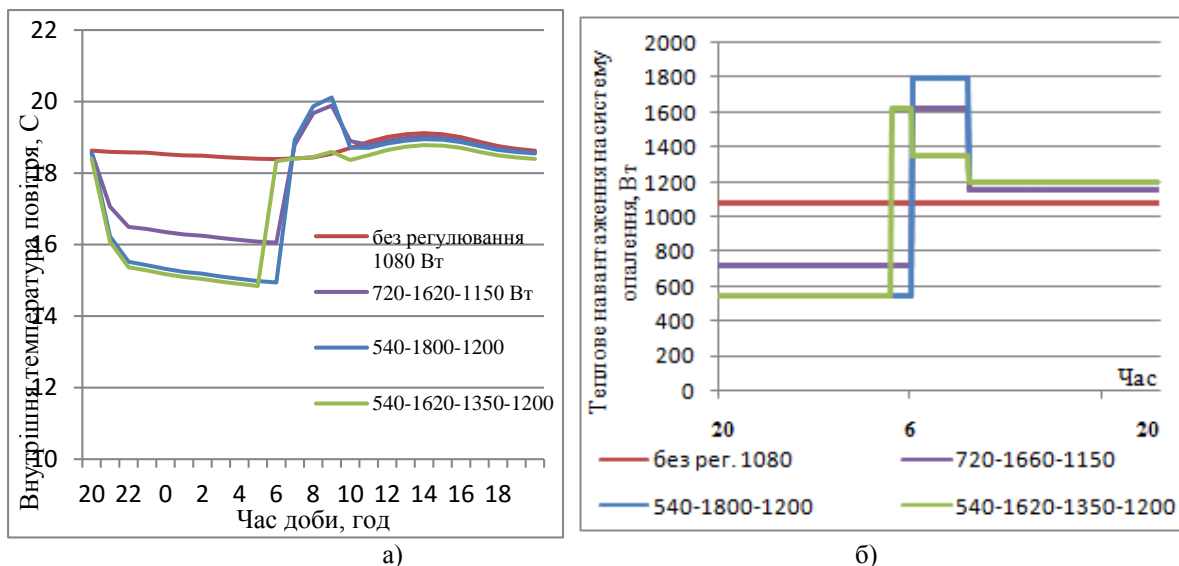


Рисунок 10 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години та розігрівом системи опалення

Економія теплової енергії від зниження температури в нічні години та форсування системи перед робочими годинами становить: для графіку 4,6% для графіку 720-1620-1150 Вт; 7,2% – для 540-1800-1200 Вт; 8,2% – для 540-1620-1350-1200 Вт.

Висновки

В результаті проведених досліджень за допомогою створеної нестационарної моделі кімнати в програмному середовищі EnergyPlus опрацьовані методи та отримані дані для визначення режимів переривчастого опалення будівель. Враховані особливості конструкції оболонки та зміни погодних умов.

Розроблена регресійна модель для прогнозування внутрішньої температури повітря в приміщеннях в залежності від зовнішньої температури та рівня опалення ($R^2_{\text{норм}} = 0,987$). Кожен з даних факторів враховує передісторію за попередні два дні. Дана модель дозволяє отримувати середньодобові значення внутрішньої температури повітря з середньою похибкою 3%.

Розглянуто різні варіанти переривчастого опалення неробочі годин та визначено економічний ефект від впровадження регулювання системи опалення. За умови постійного регулювання рівня опалення добовий графік зміни внутрішньої температури повітря починає просідати, тому для вирівнювання графіка в робочі години потрібно проводити збільшення рівня базового опалення в порівнянні з базовим рівнем при відсутності регулювання.

Форсування системи опалення дозволяє забезпечити повернення до комфортного рівня температури в робочі години без запізнення та забезпечити менше просідання графіку добової зміни внутрішнього повітря. Потрібно також враховувати, що форсування системи опалення потребує значного запасу потужності системи опалення, тому рівень зниження температури в неробочі години має ряд обмежень.

Використання різних графіків переривчастого опалення розглянутих в роботі дозволяють скоротити споживання теплової енергії на 2-9% для розглянутого типу будівель масової забудови.

Список використаної літератури

1. Маляренко В.А. Анализ критерия энергoeffективности здания и сооружения / В.А. Маляренко, Н.А. Орлова // Интегрированные технологии та энергосбережения, 2004. – №2. – С. 43–48.
2. Дешко В.І. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. Випуск 80, Київ 2014. С. 68–72.
3. Дешко В.І. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк, А.В. Ленкин // Промышленная теплотехника. Т.31 - 2009. - №6. - С. 75-80.
4. Круковский П.Г. Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений / П.Г. Круковский, М.А. Метель, О.Ю. Тадля // Промышленная теплотехника. - 2009. - №7. - С. 24.
5. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
6. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

V. Deshko, I. Bilous

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” MODELING OF HEATING SPACE MODE

We consider management regimes provided heating buildings predict the level of internal temperature.

The proposed regression model for predicting average daily internal temperature. Average internal temperature regulation in terms of heating is not exponential. In this work the daily fluctuations of the internal temperature and analyzed during the release of the internal temperature in the after hours at a comfortable temperature during business hours. Different variants of intermittent heating and savings identified for different schedules heat load. The recommendations on the selection of intermittent heating.

Keywords: level heating, intermittent heating control, forcing, comfortable temperature, energy efficiency.

References

1. Maliarenko V.A., Orlova N.A. (2004) Analyz kryteryia enerhoeffektyvnosti zdaniya y sooruzheniya [Analysis criteria and energy efficiency of the building constructions of]. Intehrovani tekhnolohii ta enerhoberezhennia – Integrated Technology and Energy Conservation, 2, 43–48 [in Ukrainian].
2. Deshko V.I., Bilous I.Yu. (2014) Matematychni modeli budivel dlia otsinky enerhospozhyvannia [Mathematical models for assessing energy buildings]. Budivelni konstruktzii: Mizhvidomchyi naukovotekhnichnyi zbirnyk naukovykh prats – Building construction: Scientific and technical technologies, 80, 68–72 [in Ukrainian].
3. Deshko V.I., Shovkalyuk M.M., Lenkin A.V. (2009) Modelling of the thermal state of the premises in the measurement of parameters of heating modes [Modelling of the thermal state of the premises in the measurement modes of heating options]. Promyshlennaya teplotekhnika. – Industrial Heat Engineering, T.31, 75-80 [in Ukrainian].
4. Krukovskiy P.G. Metel M.A., Tadya O.Yu. (2009) Vozmozhnosti i problemy primeneniya sposoba ekonomii energii putem regulirovaniya temperatury pomeshcheniy [Opportunities and challenges of the method of energy saving by adjusting the room temperature control]. Promyshlennaya teplotekhnika – Industrial Heat Engineering, 7, 24 [in Ukrainian].
5. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. – Website: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
6. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

В.И. Дешко, д-р техн. наук, проф.; И.Ю. Белоус
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОТОПЛЕНИЯ ПОМИЩЕНИЙ

В работе рассмотрено управление режимами отопления зданий при условии прогнозирования уровня внутренней температуры воздуха.

Предложена регрессионная модель для прогнозирования среднесуточной внутренней температуры воздуха. Среднесуточная внутренняя температура воздуха в условиях регулирования уровня отопления не является показательной. В работе рассмотрены суточные колебания внутренней температуры воздуха и проанализирован период выхода внутренней температуры воздуха в нерабочие часы на комфортную температуру воздуха в рабочие. Рассмотрены различные варианты прерывистого отопления и определена экономия для различных графиков тепловой нагрузки. Предложены рекомендации по подбору прерывистого отопления.

Ключевые слова: уровень отопления, прерывистое отопление, регулирование, форсирование, комфортные условия, энергоэффективность.

Надійшла 07.10.2016

Received 07.10.2016

УДК 677.11: 338.4:006.015.8

Ю.В. Березовський, канд. техн. наук,
Херсонський національний технічний університет

ВПЛИВ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛЛЯНОЇ СИРОВИНИ

Проведено критичний аналіз рекомендацій відомих вчених та впливових установ світового рівня щодо підвищення рівня екологізації товарного виробництва. У статті опрацьовано результати процесу очищення лляних волокон від неволокнистих домішок. Відтворення процесу очищення здійснювалось для різних параметрів та конфігурацій обладнання. Удосконалення обладнання процесу проминання лляної сировини спрямоване на отримання об'єднаного економічного, енергетичного та екологічного ефектів. На основі проведених досліджень та вивчення наукових джерел доведено можливість і доцільність застосування нововведень для підвищення екологічних, експлуатаційних показників товарів широкого вжитку.

Ключові слова: модернізація, льон, волокно, вузол очищення, екологічність, безпечність.

Вступ. В умовах загострення проблем забруднень, епідемій, пов'язаних з індустріалізацією країни на фоні її енергетичного колапсу, різко постають питання екологізації суспільства, безпеки населення та держави. З погіршенням соціально-економічних та екологічних умов розвитку в суспільстві склалися певні вимоги щодо якості матеріалів та виробів з них, в основу яких лягли їх безпечність, гігієнічність та функціональність. Внаслідок цього спостерігається стійка тенденція зростання споживчого попиту на товари, до складу яких входять екологічно чисті компоненти. Постійний пошук відповідей на питання екологізації призводить до використання сучасних безпечних матеріалів, що можна отримати в результаті застосування нових технологій та обладнання при поєднанні з використовуванням традиційних видів сировини.

Одним із традиційних видів сировини для України є льон – сільськогосподарська культура унікальна за своїми гігієнічними властивостями, історично, технічна культура вирощування для її територіального регіону. На сьогодні гігієнічні властивості льону є неперевершеними, але при цьому вони не є його останніми головними властивостями, оскільки він володіє ще іншими не менш цінними властивостями. Він є цінною

сировиною для текстилю, медицини, косметології. Складові льону та його властивості з успіхом використовують у виробництві тканин для одягу як звичайного, так і спеціального призначення, марлі, вати, інших товарів медичного, у т. ч. оборонного призначення, виробів різного технічного застосування, для виробництва целюлози і паперу тощо.

Хоча, не дивлячись на такий беззаперечний імідж льону як технічної екологічно чистої сировини, стан лляної переробної вітчизняної промисловості погіршується. Особливо гостро постає це питання в умовах скорочення посівних площ, зменшення виробництва чистоляних, льонозмішаних тканин та тканопшутчних виробів та іншої продукції.

Постановка проблеми. Особливе місце в переробному секторі економіки займають підприємства, що займаються переробкою лляної сировини. Кризова ситуація на таких підприємствах викликала скруту текстильної промисловості, яка використовувала лляне волокно. Як наслідок, порівняно з початком 90-х років обсяги виробництва лляних тканин становили лише 6 % від обсягів 1990 р. Загалом виробництво продукції зазначеними підприємствами скоротилося у 7-10 разів, частка в структурі промислової продукції зменшилася із 10 до 1,1 %. У лляній галузі більшість підприємств збанкрутували, значна частка простоє, а виробничі потужності решти використовуються лише частково. У текстильній та переробних галузях втрачено понад 300 тис. робочих місць, імпорт лляних тканин та виробів з льону (сорочок, костюмів, білизни) перевищує вітчизняне виробництво у 3 рази, а експорт загалом – майже у 10 разів, причому шовкових тканин у 47 разів, бавовняних – у 26, вовняних – у 7, лляних – у 5 разів.

За останній час парк технічного устаткування лляних підприємств, що має значний моральний і фізичний знос при низькій продуктивності та вагомих енергетичних витратах, практично не поновлювався, а лише зменшувався, що не сприяє покращенню якості продукції. Капіталовкладення в дану галузь практично не відбуваються, не проводиться розробка нового типу устаткування, модернізація та впровадження нових технологій здійснюється з певною затримкою в часі, що не приводить до бажаних позитивних результатів.

При інтенсивних процесах перетворювань природних благ з елементів зовнішнього оточення у готову продукцію під впливом широкого застосування науково-технічного прогресу можливо звести до мінімуму забруднення і занепад навколишнього природного середовища тільки застосуванням принципово нових видів техніки й технології з низьким рівнем енерговитрат, енергоємністю випуску продукції та покращеними показниками отримання кількісних і якісних її характеристик. За таким напрямком розвитку економіки в усіх розвинених країнах світу широкого розповсюдження набув термін «екологізація» [1-3], що розкриває ефективний бережливий процес використання природних ресурсів при впровадженні різних господарських рішень при дотриманні рівнозначності всіх інтересів різних суб'єктів суспільства.

В умовах зростання зовнішнього боргу перед міжнародними фінансовими організаціями в Україні проблема екологічно збалансованого розвитку все більше і більше загострюється. Розбалансованість розвитку різних регіонів країни зберігається ще з початку здобуття незалежності і поки ще лишається чи найважливішою проблемою загального соціально-економічного розвитку. При цьому виробництво продукції все ще залишається енерго- та матеріаломістким, а ресурсозберігаючі технології займають незначну частку [4-6]. У таких умовах покращення розвитку країни видається малоімовірним. Тому потрібна кардинальна зміна екосоціальної загальнодержавної політики, щоб перервати нераціональне використання природного капіталу України та максимально збалансувати економіко-екологічний розвиток держави.

У світі намітилися тенденції зростання попиту на екологічно чисту продукцію. У розвинених країнах обсяг «зеленої» продукції уже на сьогодні займає значну частку [5, 8, 9, 11, 12, 13]. Україна, яка має вигідне геостратегічне розташування та сприятливий клімат, в умовах відсутності вирощування власної бавовни на фоні існування невичерпного лляного ресурсу і постійного подорожчання та поступового вичерпування вуглеводнів, внаслідок розвитку наявного науково-технічного потенціалу та поширення сучасних тенденцій поліпшення екологічних властивостей продукції, змогла б зайняти належну нішу у цьому секторі світового ринку [13]. Розв'язання питань раціонального використання ресурсів рослинної сировини у різних сферах народного господарства України і задоволення продукцією на її основі існуючих та можливих потенційних потреб споживачів залишається актуальним завданням розвитку вітчизняної економіки.

Аналіз останніх досліджень свідчить про те, що в останні роки широко розглядаються в світі технічні, технологічні, товарознавчі, екологічні та економічні аспекти виробництва лляної та льономісткої продукції, враховуючи характерні, виняткові властивості льону. При цьому особливу увагу приділяють проблемам застосування високопродуктивного устаткування в технологічному процесі виробництва інноваційної продукції, оскільки високотехнологічні товари повинні відповідати постійно зростаючим вимогам якості льономістких виробів, їх екологічної безпеки та бажанням споживачів.

В умовах низької ефективності використання природного капіталу України, актуальним стає питання впровадження інноваційних розробок, вдосконалення техніки і технології, застосування новітніх способів

виробництва лляної продукції вітчизняною промисловістю, результатом вирішення якого може бути зниження енергоємності устаткування, підвищення ефективності виробництва та зменшення витрат.

Мета та завдання. Застарілі технології виробництва продукції, значне фізичне та моральне «старіння» технічного обладнання, значні енерговитрати, що впливають на собівартість продукції унеможливають однозначне прогнозування розвитку виробництва інноваційної продукції та не дають змоги сформулювати однозначний підхід у питанні отримання екологічно чистої продукції. У зв'язку з цим необхідно запропонувати способи та механізми, які надають можливість найбільш раціональним чином досягнути підвищення якісних і кількісних показників, розширити асортимент екологічно чистої продукції із забезпеченням безпеки навколишнього світу. З метою одержання на їх основі соціально-економічного ефекту слід представити перспективні пристрої для виробництва інноваційної продукції, які за рахунок застосування конструктивних рішень, оригінальних прийомів обробки, удосконалення конструктивних особливостей частин пристрою можуть забезпечити підвищення якості продукції, об'ємів виробництва, універсальність та ефективність обладнання, розширити можливості переробки різних видів луб'яної сировини.

Матеріал і результати досліджень. В Україні отримання льоноволокна, як найціннішої продукції рослини льону, проводять на устаткуванні, яке було розроблено ще СРСР, і достатньо морально і фізично застаріло. Воно вже ніяк не може задовольняти зростаючі вимоги до продукції та потреби споживачів. Тому головним завданням первинної переробки являється отримання якомога більшої кількості волокна з високими якісними характеристиками. При цьому слід націлюватися на проектування устаткування, що розширює можливості переробки різних видів сировини, адже постійно змінюються вимоги споживачів та структура загального співвідношення одержання і використання довгого та короткого волокна.

До останнього часу питома вага довгого тіпального волокна на підприємствах первинної обробки льону не перевищувала 30 ... 35 %, при цьому вихід довгого волокна складав 5 ... 10 %. Такий відсоток довгого волокна в загальній масі виробленого волокна певно недостатній для стабільної роботи вітчизняної текстильної галузі. Необхідно його значно збільшити і довести його до рівня зарубіжного, де він становить 60 ... 70 % [14]. Щоб істотно підняти частку довгого волокна, необхідно значно поліпшити якість лляної трести, покращити культуру і ефективність переробки сировини.

Нині деякі юридичні структури пішли шляхом проведення всього комплексу робіт в рамках єдиного підприємства від засівання до переробки і застосування льону, що може бути одним з напрямків підвищення кількості та якості волокна в межах єдиного господарства. При цьому слід зазначити, що такі підприємства мають невеликі виробничі площі, де можна встановити обладнання для отримання волокна. Традиційні м'яльно-тіпальні і куделеприготувальні агрегати, встановлені на льонозаводах, високопродуктивні, але метало- і енергоємні (маса понад 20 тонн, потужність понад 40 кВт, без сушильного обладнання), займають значні площі (понад 70 м²) і дорогі [14]. Але навряд чи підприємства мають такі засоби у своєму розпорядженні. Однак вихід полягає у встановленні малогабаритного обладнання для первинної обробки льону, яке можна придбати з меншими вкладеннями фінансових коштів або модернізації існуючого із застосуванням передових сучасних конструкторських ідей.

М'яття, тіпання є основними процесами технології переробки луб'яних культур. Такі саме процеси в першу чергу позначаються на показниках якості отриманого волокна, хоча при цьому необхідно враховувати й інші процеси переробки, такі як підготовчі процеси формування шару стебел, операції прочісування, вирівнювання та паралелізація стебел в шарі, структурування і потоншення шару трести, що привносять свій достатній внесок в кінцевий результат обробки. Як вказує, Петраченко Д. О. [15] за рахунок розробленої та вдосконаленої технології підготовки шару льонотрести до механічної обробки отримав збільшення виходу довгого тіпаного волокна, а Муравинець Ю. В. [16] за рахунок модернізації конструкції рулонорозмотувача поліпшила процес розмотування рулону трести льону-довгунця, що надало можливість зменшення вмісту недоробок і збільшення виходу довгого волокна.

Дуже важливу роль в одержанні волокна відіграють процеси переробки м'яльної і тіпальної частини устаткування з переробки луб'яних культур, особливо м'яльної, через те що у процесі м'яття здійснюється злам і руйнування деревини, порушення зв'язку між волокном і деревиною та часткове виділення костриці. То ж саме такі процеси потребують конструктивних змін та оновлення.

Для підвищення якості проведення процесу перероблення трести в м'яльно-тіпальних агрегатах та збільшення виходу волокна при характерному формуванні шару трести з нормованою розтягнутістю, паралелізацією та перекосом стебел необхідно регулюючи параметри роботи устаткування, змінюючи їх, конструктивно вдосконалюючи робочі органи машин, досягнути покращення показників якості вихідного матеріалу, що впливатиме на тип кінцевої продукції і сферу застосування.

Закостриченість волокна в процесі подальшого використання має виняткове значення для кінцевої продукції, оскільки показник масової частки костри та інших неволокнистих домішок має бути лімітованим у волокнистій сировині для виготовлення товарів народного споживання, тому дослідження можливостей покращення такого якісного показника винятково важливе в технологічних процесах м'яття, тіпання, трясіння стеблових матеріалів.

Для максимально необхідного порушення зв'язків між деревиною та волокнистою частинами з метою видалення неволокнистих домішок при проведенні технологічних процесів м'яття, тіпання всі робочі органи машин налаштовують на інтенсивну обробку лляного матеріалу [17]. Через те що інтенсивні механічні дії органів машин призводять до певного руйнування волокна та втрати міцності, що впливає на якість вихідної продукції, процеси обробки необхідно проводити в якомога заощадливому режимі для волокна, то ж необхідно знайти належний баланс у технологічному процесі переробки. Для покращення проходження технологічних процесів необхідно спонукати до струшування, відокремлення, зіскоблювання залишків деревини, костриці, що прикріпилися до волоконця і своїми гострокінцевими окраями пошкоджують волокнисту масу, що достатньо знижує якість кінцевої продукції.

Слід зауважити, що при переробці стебел луб'яних культур значне місце займає процес проминання стебел льону, оскільки від його чіткого ефективного проходження залежать наступні технологічні операції, а отже кількість і якість вихідної волокнистої продукції, то ж вдосконаливши устаткування відповідної стадії переробки, можна одержати більшу кількість та більш якісніше волокно. Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами при проведенні конструктивних змін обладнання та кількістю і якістю волокнистої продукції наведено на рис. 1.

Для отримання позитивних результатів при розробці конструктивних змін машин і механізмів первинної обробки луб'яних культур потрібно брати до уваги процеси проходження стиснення стебла льону та поведінку його складових частин.

При поперечному стисненні стебел льону виникає вплив зовнішніх сил на лляний матеріал, що може різнитися по периметру його перерізу. У загальних умовах дії робочих органів м'яльно-тіпального агрегату розглядаються як силовий вплив на одичне стебло та групу стебел трести за відсутності обмежень з боків і за наявності таких обмежень при дії стискаючих сил у взаємно перпендикулярних та деяких інших напрямках [17; 18].

Негативними наслідками таких дій може бути зменшення кількісних і якісних показників лляної трести, а саме виходу довгого лляного волокна та зниження його номера. За умови бокових обмежень характер деформації стебел рослин при торцевому стисненні різний для різних культур та їхнього стану. При цьому на хід відповідного процесу впливають тиск, площа поверхні робочого органа, товщина стінки трубки стебла тощо.

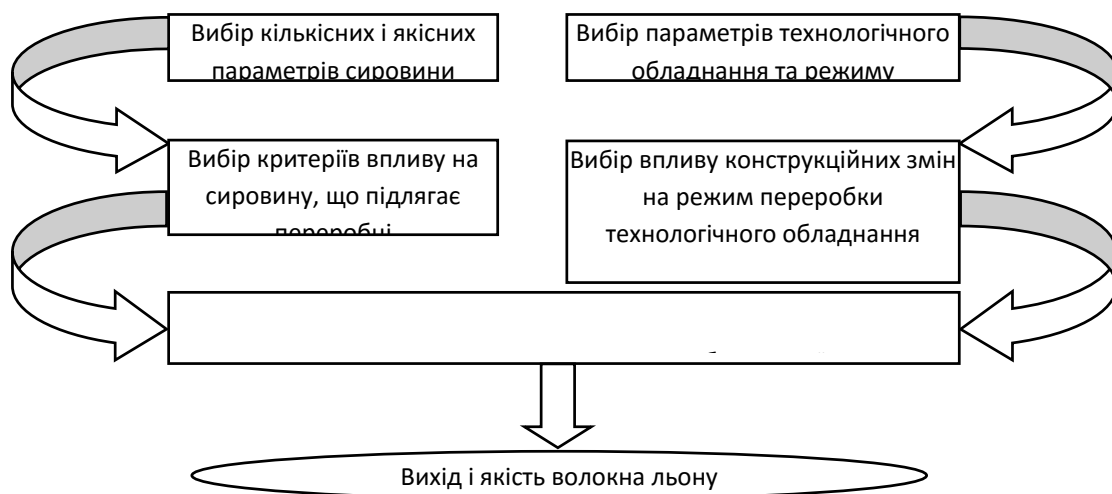


Рисунок 1 – Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами при проведенні конструктивних змін обладнання та кількістю і якістю волокнистої продукції

Оскільки сухі стебла луб'яних культур крихкі, їх деформація проходить нерівномірно і стрибкоподібно з утворенням численних тріщин. На початку на стеблах з'являються тріщини, розриви й згини, а потім відбувається повне плющення стебел з утворенням великої кількості розколин і розривів. При цьому у стеблах льону за наявності луб'яних волокон, що підтримують гнучку конструкцію структури даної рослини, під час деформації відбуваються процеси згинання та зламання, а потім розтріскування. Тому такі особливості функціонування луб'яних рослин враховуються при проектуванні нових технологічних процесів і устаткування.

Всі механічні дії з обробки лляної трести направлені на відокремлення волокнистої частини стебла. На початку перетворення за рахунок плющення відбувається руйнування жорсткої деревної частини стебла, а під час проминання порушується зв'язок волокна з деревиною та дроблення цієї деревини на відрізки для полегшення видалення костриці в процесі подальшого тіпання і трясіння.

Костриця є досить небезпечна для волокна, оскільки її гострі краї можуть призвести до мікронадрізів із-за значного тиску, що передається парю м'яльних валків, що в кінцевому результаті сприяє подальшому розриванню волокон у процесі тіпання – до втрати кількості і якості. Крім того, механічні дії органів машини також можуть нанести свою шкоду. Тому особливо важливо спроектувати такі конструкційні зміни устаткування процесу проминання, які давали б можливість отримати в процесі відокремлення волокна від неволокнистої маси короткі відрізки деревної частини, які відокремлюються значно легше ніж довгі, завдяки меншій поверхні зчеплення.

Під час проходження дії плющильних та м'яльних пар вальців на лляний матеріал, волокно завдяки різниці фізико-механічних показників між волокнистою та неволокнистою частинами стебла і природній гнучкості, не ушкоджуючись, зсувається відносно деревини. Тому необхідно під час вибору впливу конструкційних змін на режим переробки технологічного обладнання виявити відповідний баланс у технологічному процесі переробки зі спонуканням проходження процесів струшування, відокремлення, зсуву, зіскоблювання залишків деревини, костринок, що прикріпилися до волоконця і своїми гострими краями також пошкоджують волокнисту масу, що достатньо знижує якість кінцевої продукції та звужує область її застосування.

За рахунок застосування ковзних, зіскоблювальних сил проектувальних м'яльних валків можливо забезпечити очищувальний ефект, що надасть перспективу в досягненні розширення асортиментного складу та поширення використання екологічно чистої продукції на фоні застосування невичерпного природного швидко відновлювального лляного ресурсу.

За результатами експериментальних і теоретичних досліджень було спроектовано декілька валків для промину стебел луб'яних культур та декілька типів м'яльних вузлів очищення сирцю м'яльно-тіпального агрегату [19-22], які за рахунок конструктивних особливостей вирішують питання підвищення умов втягування стебел для промину парю валків, підвищення ефективності їх промину, забезпечують ефективність очищення сировини та збільшення коефіцієнта зчеплення поверхні валків зі стеблами, що при цьому в цілому надає можливість підвищення ефективності роботи всього обладнання з переробки лляної трести. У кожній із запропонованих моделей поставлені завдання вирішувалися за допомогою проведення відповідних конструктивних змін, що приводять до покращення впливу на сировинний луб'яний матеріал.

На рис. 2 показано вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату, а на рис. 3 схематично представлено плющильний валок вузла очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату.

Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату складається з пари м'яльних гладких валків, пари рифлених м'яльних валків крутого рифлення, які характеризуються малим радіусом закруглення кромки рифлів і відносно великою висотою рифлів порівняно з їх шагом та розміщених між ними пари плющильних валків, що являють собою пустотілий циліндр, вздовж всієї довжини якого по колу з постійним кроком виконані односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню із забезпеченням рівномірного мінімально можливого зазору між плющильними валками і пари рифлених м'яльних валків пологого рифлення з більшим радіусом закруглення кромки рифлів по відношенню до радіуса закруглення кромки рифлів рифлених м'яльних валків крутого рифлення із забезпеченням рівномірного зазору між профілями кромки рифлів та впадин пари рифлених м'яльних валків пологого рифлення.

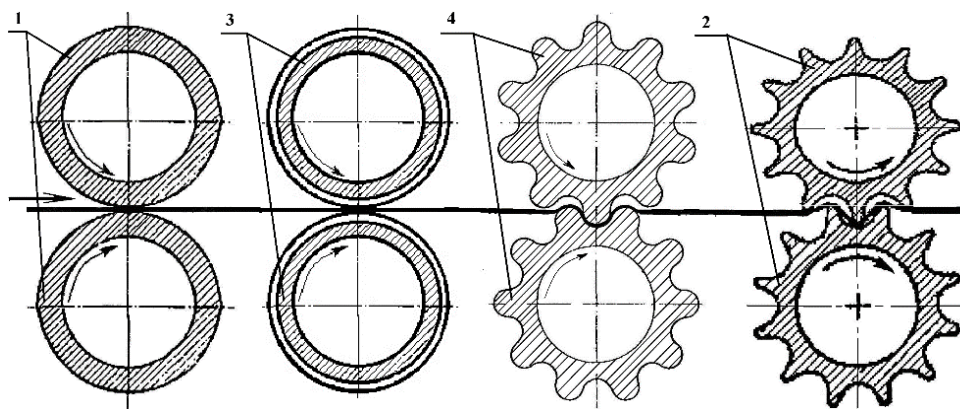


Рисунок 2 – Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату:
1 – м'яльні гладкі валки; 2 – рифлені м'яльні валки крутого рифлення; 3 – плющильні валки;
4 – рифлені м'яльні валки пологого рифлення.

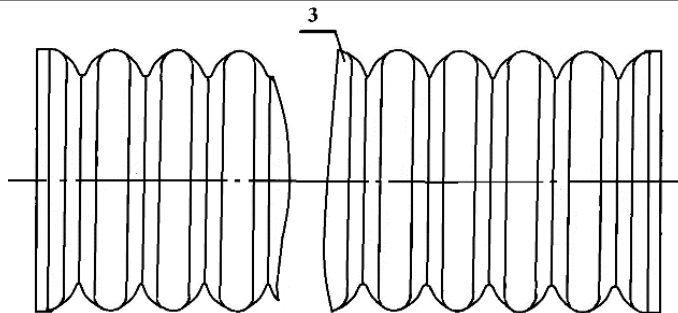


Рисунок 3 – Плющильний валок

Поставлене завдання вирішується тим, що вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату, що містить м'яльні гладкі, планчасті, гострограні та круторифлені валки прямолінійного та гвинтового профілів, які змонтовані з можливістю обертання на станині м'яльної машини, містить щонайменше пару плющильних валків, що являють собою пустотілий циліндр, вздовж всієї довжини якого по колу з постійним кроком виконані односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню із забезпеченням рівномірного мінімально можливого зазору між профілями плющильних валків, які розташовані після пари м'яльних гладких валків перед парою рифлених м'яльних валків. Нововведення дозволяють забезпечити підвищення ефективності умов порушення і послаблення зв'язку між волокнистою частиною стебла і деревиною за рахунок проходження процесів поперечного здавлювання деревини стебел тих його частин, що не піддавались дії поперечного здавлювання при проходженні через пару гладких плющильних валків та забезпечення паралелізації стебел лляної трести між собою, які знаходяться всередині шару, що втягується, за рахунок проходження стебел через досить вузькі односторонні впадини заданого профілю, бічні якого мають опуклу достатньо круту поверхню, а також передачу необхідного навантаження на матеріал через більшу площу контакту у порівнянні з гладкими валками, що створює умови для виникнення великої кількості осередків зусилля здвигу або дотичного напруження, що в цілому надалі підвищує ефективність промину і очищення на рифлених валках м'яльної машини.

У валку для промину стебел луб'яних культур (рис. 4) поставлена задача вирішувалася наступним чином, на валку, що являє собою вал із закріпленими на ньому дисками, встановленими на рівній відстані між собою, на краях яких по колу з постійним кроком виконано односторонні прогини, а між дисками розміщено втулки, на односторонніх прогинах поперек всієї висоти прогинів виконано односторонні виступи у вигляді рифлів пологого або крутого заданого профілю рифлення з постійним кроком по колу.

Використання односторонніх виступів у вигляді рифлів пологого або крутого заданого профілю рифлення з постійним кроком по колу на односторонніх прогинах, які виконані на краях дисків валка по колу з постійним кроком дозволяє забезпечити підвищення ефективності втягування стебел луб'яних культур, збільшити коефіцієнт зчеплення поверхні валка зі стеблами луб'яних культур, підвищити ефективність їх промину та відокремлення волокна від деревини за рахунок одночасного проходження процесів поперечного здавлювання, згинання-зламування деревини стебел, ковзного згину та зсуву костри відносно волокна, що підвищує ефективність очищення.

На рис. 4 схематично представлено конструкцію валка для промину стебел луб'яних культур, а на рис. 5 – переріз валка А-А та на рис. 6 – переріз диска В-В.

Валок для промину стебел луб'яних культур 1 складається з валу 2, що виконаний з профільного металу, наприклад, чотиригранної форми, з обох торців якого є посадочні місця для підшипників і приводних шестерень, дисків 3 з отворами 4, формою подібними з поперечним перерізом валу 2, втулок 5 певною шириною і розташованих між ними дисків 3, гайок 6 для закріплення шляхом стиснення дисків 3 і втулок 5 з боку торців валу 2. На краях дисків 3 є односторонні прогини 7, що розміщені по колу з постійним кроком "С", на яких розміщено односторонні виступи 8 у вигляді рифлів пологого або крутого заданого профілю рифлення з постійним кроком по колу. Односторонні виступи 8 у вигляді рифлів пологого або крутого заданого профілю рифлення з постійним кроком по колу виступають над поверхнею прогинів 7 на величину "К". У результаті прогинів по краях дисків 3 утворюються виступи 9 величиною "М".

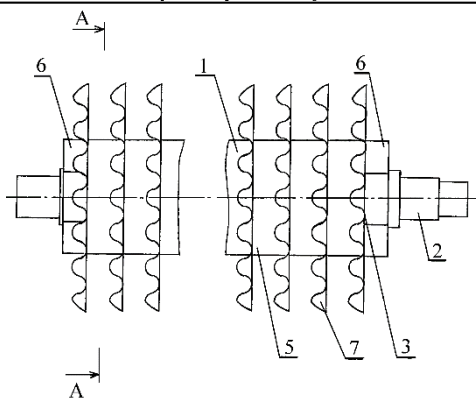


Рисунок 4

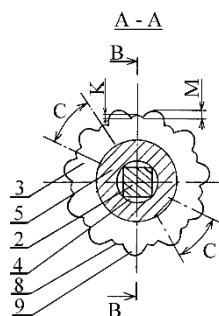


Рисунок 5

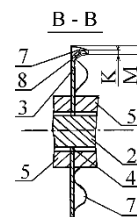


Рисунок 6

Застосування наведеної конструкції валка для промину стебел луб'яних культур дозволяє забезпечити підвищення ефективності втягування стебел луб'яних культур, підвищити ефективність їх промину та відокремлення волокна від деревини, при цьому виготовлення самих валків можна проводити за малої трудомісткості, а саме шляхом штампування, що в цілому підвищує ефективність роботи всього м'яльно-тіпального агрегату.

У представленому вузлі очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату (рис. 7), що містить м'яльні рифлені валки заданого профілю, які монтовані з можливістю обертання на станині м'яльної машини, поставлена задача вирішувалася тим, що вузол містить щонайменше дві пари м'яльних рифлених валків заданого профілю, одна пара м'яльних валків крутого рифлення, які відрізняються малим радіусом контуру профілю і відносно малою висотою рифлів порівняно з їх шагом та другої пари м'яльних валків крутого рифлення, які відрізняються малим радіусом закруглення кромки рифлів і відносно великою висотою рифлів порівняно з їх шагом, які встановлені з визначеною розрахунком глибиною заходження рифлів між валками і можливістю обертання з постійною заданою швидкістю, при цьому між м'яльними парами рифлених валків встановлено м'яльну пару валків крутого рифлення, які мають гребінчастий контур профілю рифлів і відносно малу висоту рифлів порівняно з їх шагом.

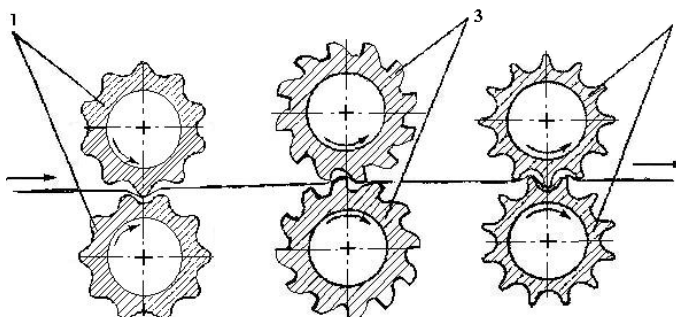


Рисунок 7 – Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату:

На рис. 8 показано вузол для очищення сирцю, що складається з двох пар м'яльних рифлених валків 1 і пари очищувальних валків планчастого або круторифленого типу 2, що встановлені в станині м'яльної машини (на кресленні не показана) з можливістю обертання.

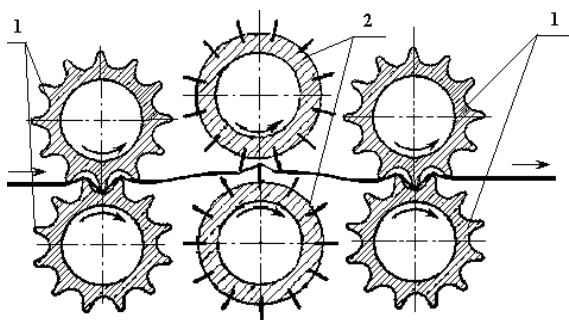


Рисунок 8 – Вузол для очищення сирцю

Поставлена задача досягається тим, що вузол, що містить м'яльні рифлені валки заданого профілю, змонтовані з можливістю обертання на станині м'яльної машини, містить щонайменше дві пари м'яльних рифлених валків заданого профілю між якими встановлено пару очищувальних валків планчастого або круторифленого типу, яка виконана зі збільшенням їх діаметрів на 3-10 % відносно діаметрів м'яльних рифлених валків, між якими вона розташована, і встановлена з можливістю обертання з рівною з іншими валками вузла кутовою швидкістю, що задана його кінематикою.

Головною особливістю його є те, що проковзування планок (рифлів) пари очищувальних валків відносно сирцю, забезпечується без зміни частоти обертання пари очищувальних валків відносно пар м'яльних рифлених валків збільшенням на 3-10 % діаметру кромок планок (рифлів), що зумовлює відповідне підвищення лінійної тангенціальної швидкості кромок планок (рифлів) по відношенню до швидкості просування сирцю. Все це створює умови для одночасного згинання-зламування деревини стебел та зсуву костри відносно волокна, що підвищує ефективність очищення без ускладнення конструкції (зокрема кінематики) м'яльно-тіпального агрегату. Таке запропоноване конструктивне виконання технологічного обладнання покращує якість виробленого волокна, знижує на виході його заокостриченість, значно розширює сферу його застосування.

Залежно від типу і початкових показників сировини у складі агрегату з переробки луб'яних культур можуть бути встановлені декілька запропонованих нововведень, конструктивні виконання яких покращують обробку стебел луб'яних культур і сприяють підвищенню ефективності очищення сирцю.

У цілому представлені конструкційні зміни устаткування дозволяють більш повно використовувати лляну сировину на підприємствах легкої промисловості. Це надає можливість зацікавити підприємців в широкому застосуванні переробки лляної сировини, підвищити якісний і кількісний вихід волокнистої продукції, покращити економічну складову виробництва, зменшити залежність вітчизняної легкої промисловості від імпорту сировини, а в обставинах обмежених запасів вуглеводневих і їх здорожчання, Україна може використовувати невичерпний природний швидко відновлювальний лляний ресурс для виробництва текстильних товарів, які є екологічно безпечними для навколишнього середовища, здоров'я людини, оскільки при їх експлуатації та утилізації відсутні викиди токсичних речовин в атмосферу.

Висновки. З ростом попиту на екологічно чисту продукцію при нинішній низькій ефективності використання природних ресурсів існуючі технології потребують змін. Реально назріла необхідність вирішення проблем, пов'язаних з розвитком ринку льоновомісних екологічно безпечних текстильних матеріалів і виробів з них та функціонування на їх основі окремого сегмента вітчизняного ринку.

У ситуації нестачі якісної сировини, втрати вітчизняних сировинних ресурсів, значної залежності від енергоресурсів, використання фізично і морально застарілої техніки, неефективних технологій та зростання попиту на екологічно чисті товари Україні варто розробити принципово нову концепцію розвитку лляного переробного сектору легкої промисловості і екосоціальної політики, що спирається на використанні доктрини підвищення екологічності товарів через проведення інноваційної модернізації виробництва, підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції. Для цього необхідно створити всі умови для підвищення зацікавленості виробництва у активізації освоєння інноваційних технологій і результатів наукових розробок, а також сприяти інвестуванню лляного сектору України.

У результаті експериментальних і теоретичних досліджень було спроектовано декілька валків для промину стебел луб'яних культур та декілька видів м'яльних вузлів очищення сирцю м'яльно-тіпального агрегату, які за рахунок конструктивних особливостей вирішують питання підвищення ефективності очищення лляної сировини, що покращує ефективність переробки сировини. Підвищення ефективності переробки лляного ресурсу на основі наведених інноваційних розробок дозволяє вирішити питання отримання кількісного і якісного складу волокна, розширити асортимент екологічно чистої продукції, забезпечити попит населення на «зелену» продукцію та захистити навколишній світ. Наведені конструкційні зміни обладнання з переробки льону підвищують універсальність технологічних ліній за рахунок можливості переробки всіх видів вітчизняної сировини та знижують заокостриченість волокна, що розширює сферу його використання в різних галузях промисловості.

Список використаної літератури.

1. Екологічний менеджмент: [навчальний посібник] / В. Ф. Семенов, О. Л. Михайлюк, Т. П. Галушкіна, Г. В. Крусір. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 407 с.
2. Синякевич І. М. Екологізація як інструмент подолання екологічних загроз і зміцнення екологічної безпеки / І. М. Синякевич, В. З. Холяк // Науковий вісник УкрДЛТУ: Екологізація економіки як інструмент сталого розвитку в умовах конкурентного середовища. – 2005. – Вип. 15.6. – С. 129-136.
3. Семак Б. Б. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками: [навчальний посібник] / Богдан Богданович Семак. – Львів: Світ, 2005. – 368 с.
4. Данилишин Б. М. Устойчивое развитие в системе природно-ресурсных ограничений / Б. М. Данилишин, Л. Б. Шостак. – К.: СОПС НАНУ, 1999. – 367 с.
5. Семак Б. Б. Наукові засади формування ринку рослинної технічної сировини та його окремих сегментів в Україні: [монографія] / Богдан Богданович Семак. – Львів: ЛКА, 2007. – 512 с.
6. Ринки реального сектору економіки України: структурно-інституційний аналіз / [В. О. Точилін, Т. О. Осташко, О. В. Пустовійт та ін.]. – Київ: Ін-т екон. та прогноз., 2009. – 640 с.

7. Смирнова Е. В. Становление экологического маркетинга / Е. В. Смирнова // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 1. – С. 27-31.
8. Экологические товары [Электронный ресурс]: [Служба опитувань інтернет-аудиторії "Глас Рунета"]. – Режим доступа: www.vox.ru.net (дата звернення 30.09.15).
9. Бареев К. В. Экобрендинг: оценка эффективности, креативные технологии и формирование иммунитета / К. В. Бареев // Экономика и управление. – 2010. – № 5. – С. 112-115.
10. Lawrence J. Green products sprouting again: more focused efforts avoid controversy / J. Lawrence // Advertising Age. – 1993. – 10 May. – P. 12.
11. Бородин Ю. Г., Хабарова Е. И. Маркетинг «зеленых» технологий / Ю. Г. Бородин, Е. И. Хабарова // Практический маркетинг. – 2010. – № 5. – С. 13-17.
12. Frankel C. Blueprint Green marketing / C. Frankel // American Demographics. – 1992. – Т. 14. – № 4. – P. 34-38.
13. Кваснюк Б. Є. Конкурентоспроможність національної економіки: [монографія] / Борис Євгенович Кваснюк. – К.: Фенікс, 2005. – 495 с.
14. Новиков Э. В. О первичной обработке льняной тресты [Электронный ресурс]: [Интернет-портал "Русский лен"] / Э. В. Новиков, Б. И. Смирнов. – Режим доступа до ресурсу: http://www.russianflax.ru/info/articles/article/o_perv_obrabortke.html (дата звернення 16.10.15).
15. Петраченко Д. О. Удосконалення процесів формування шару льноотрести до механічної переробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.02 "Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур" / Д. О. Петраченко. – Херсон, 2014. – 25 с.
16. Муравинець Ю. В. Удосконалення технології переробки лляної трести за рахунок модернізації м'яльно-тіпальних агрегатів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.02 "Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур" / Ю. В. Муравинець. – Херсон, 2014. – 23 с.
17. Гілязетдінов Р. Н. Розвиток наукових основ створення інноваційних технологій первинної переробки луб'яних культур: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.18.01 "Зберігання і технологія переробки зерна, виготовлення зернових і хлібопекарських виробів та комбікормів" / Р. Н. Гілязетдінов. – Херсон, 2009. – 43 с.
18. Валько П. М. Удосконалення технології одержання тіпаного лляного волокна з використанням очищувальних валків: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Павло Миколайович Валько. – Херсон, 2011. – 179 с.
19. Пат. 97290 Україна, МПК D01B 1/06. Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату / Березовський Ю. В.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2014 09174; заяв. 15.08.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.
20. Пат. 88838 Україна, МПК D01C1/00. Валок для промину стебел луб'яних культур / Березовський Ю.В.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2013 07401; заяв. 11.06.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. №7.
21. Пат. 70313 Україна, МПК D01B 1/30. Вузол очищення сирцю з лляної трести м'яльно-тіпального агрегату / Березовський Ю. В.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2011 12768; заяв. 31.10.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
22. Пат. 82067 Україна, МПК F16H 25/20. Вузол для очищення сирцю з лляної трести у складі м'яльно-тіпального агрегату / Березовський Ю.В.; заявник та патентовласник Херсонський національний технічний університет. – № U 2012 13203; заяв. 19.11.2012; опубл. 25.07.2013, Бюл. №14.

**Y. Berezovsky
Kherson National Technical University**

**THE INFLUENCE OF NEW TECHNICAL SOLUTIONS ON DESIGNING
ENVIRONMENTALLY SAFE PRODUCTS BY USING OF FLAX RAW MATERIAL**

The critical analysis of recommendations of known scientists and influential institutions of world level on increasing the level of ecological commodity production is carried out. The results of the process of cleaning flax from non-fiber impurities are processed. Reproduction of the cleaning process for a variety of parameters and configurations of the equipment is carried out. Improvement of the crumple process equipment of flax raw material is directed to obtain the joint economic, energy and environmental effects. On the basis of performed researches and study of scientific sources the possibility and advisability of the use of innovations for increasing ecological and operational indicators of consumer goods is proved.

Keywords: modernization, flax, fiber, cleaning node, environmental friendliness, safety.

References

1. Ecological management: [training guidances] / V. F. Semenov, O. L. Mykhailiuk, T. P. Halushkina, H. V. Krusir. – K.: Tsentr navchalnoi literatury, 2004. – 407 p.
2. Syniakevych I. M. Ecologization as a means of overcoming ecological threats and strengthening ecological safety / I. M. Syniakevych, V. Z. Kholiavka // Scientific Herald UkrDLTU: Greening the economy as a tool for sustainable development in a competitive environment. – 2005. – Vyp. 15.6. – P. 129-136.

3. Semak B. B. Textile dyeing plant dyes: [training guidances] / Bohdan Bohdanovych Semak. – Lviv: Svit, 2005. – 368 p.
4. Danylyshyn B. M. Sustainable development in the system of natural resource constraints / B. M. Danylyshyn, L. B. Shostak. – K.: SOPS NANU, 1999. – 367 p.
5. Semak B. B. Scientific principles of forming market vegetable industrial raw materials and its separate segments in Ukraine: [monograph] / Bohdan Bohdanovych Semak. – Lviv: LKA, 2007. – 512 p.
6. Markets real sector of economy of Ukraine: structural and institutional analysis / [V. O. Tochylin, T. O. Ostashko, O. V. Pustoviit ta in.]. – Kiev: Institute of Economics and Forecasting, 2009. – 640 p.
7. Smirnova E.V. Formation of environmental marketing / E.V. Smirnova // Safety in Technosphere. – 2012. – № 1. – P. 27-31.
8. Environmental goods [the electronic resource]: [Sluzhba opytuvan internet-audytorii "Glas Runeta"]. – Access mode: www.vox.ru.net.
9. Barezhev K. V. Eco-branding: efficiency estimation, creative technologies and immunity formation / K. V. Barezhev. // Economics and management. – 2010. – № 5. – P. 112-115.
10. Lawrence J. Green products sprouting again: more focused efforts avoid controversy / J. Lawrence // Advertising Age. – 1993. – 10 May. – P. 12.
11. Borodin Y. Marketing of green technologies / Y. Borodin, E. Khabarova // Practical marketing. – 2010. – № 5. – P. 13-17.
12. Frankel C. Blueprint Green marketing / C. Frankel // American Demographics. – 1992. – T. 14. – № 4. – P. 34-38.
13. Kvasnyuk B. E. The competitiveness of the national economy: [monograph] / Boris Evgenyevich Kvasnyuk. – K: Phoenix, 2005. – 495 p.
14. Novikov E. V. On the primary processing of flax stock [the electronic resource]: [Internet-portal "Russian flax"] / E. V. Novikov, B. I. Smirnov. – Access mode: http://www.russianflax.ru/info/articles/article/o_perv_obrahotke.html.
15. Petrachenko D. A. Improving the process of forming a layer of flax raw material to mechanical processing: Author. Dis. ... Candidate. Sc. Sciences: 05.18.02 "Technology of cereals, legumes, cereal products and animal feed, oil and Bast Crops" / D. A. Petrachenko. – Kherson. – 2014. – 25 p.
16. Muravynets Y. V. Improving processing technologies flax raw material by upgrading crumpling and scutching aggregates: Author. Dis. ... Candidate. Sc. Sciences: 05.18.02 "Technology of cereals, legumes, cereal products and animal feed, oil and Bast Crops" / Y. V. Muravynets. – Kherson. – 2014. – 23 p.
17. Hiliazetdinov R. N. The development of scientific bases of creating innovative technologies of primary processing of bast crops: Author. Dis. ... Dr. Sc. Sciences: 05.18.01 "Storing and technology of processing grain, grain bread and fodder products" / R. N. Hilyazetdinov. – Kherson. – 2009. – 43 p.
18. Valko P. M. Improving of the technologies for obtaining of flax scutching fiber by using cleaning rolls: Author. Dis. ... Candidate. Sc. Sciences: 05.18.01 "Storing and technology of processing grain, grain bread and fodder products" / P. M. Valko. – Kherson. – 2011. – 24 p.
19. Patent 97290, IPC D01B 1/06. Cleaning node of flax raw material of crumpling-scutching aggregate / Berezovsky Y.V.; owner and inventor KNTU. – № u 2014 09174; appl. 15.08.2014; publ. 10.03.2015, Bull. № 5.
20. Patent 88838, IPC D01C1/00. Roll for crumpling of stems of the Bast Crops / Berezovsky Y.V.; owner and inventor KNTU. – № u 2013 07401; appl. 11.06.2013; publ. 10.04.2014, Bull. № 7.
21. Patent 70313, IPC D01B 1/30. Cleaning node of flax raw material of crumpling-scutching aggregate / Berezovsky Y.V.; owner and inventor KNTU. – № u 2011 12768; appl. 31.10.2011; publ. 11.06.2012, Bull. № 11.
22. Patent 82067, IPC F16H 25/20. Cleaning node of flax raw material of crumpling-scutching aggregate / Berezovsky Y.V.; owner and inventor KNTU. – № u 2012 13203; appl. 19.11.2012; publ. 25.07.2013, Bull. № 14.

УДК 677.11: 338.4:006.015.8

Ю.В. Березовський, канд. техн. наук,

Херсонський національний технічний університет

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО СЫРЬЯ

Проведен критический анализ рекомендаций известных ученых и влиятельных учреждений мирового уровня по повышению уровня экологизации товарного производства. В статье обработаны результаты процесса очистки льняных волокон от неволокнистых примесей. Воспроизведение процесса очистки осуществлялось для различных параметров и конфигураций оборудования. Совершенствование оборудования процесса проминания льняного сырья направлено на получение объединенного экономического, энергетического и экологического эффектов. На основе проведенных исследований и изучения научных источников доказана возможность и целесообразность применения нововведений для повышения экологических, эксплуатационных показателей товаров широкого потребления.

Ключевые слова: модернизация, лен, волокно, узел очистки, экологичность, безопасность.

Надійшла 14.03.2016

Received 14.03.2016

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікації в журналі "Енергетика: економіка, технології, екологія" приймаються статті, надруковані на стандартних аркушах паперу А4 (в 2-х примірниках), що супроводжуються електронною версією (Microsoft Word 2003 або 2007) на CD/DVD дисках, USB-флеш накопичувачах або надіслані електронною поштою.

Мова статті обирається автором. Параметри сторінки: поля верхні, нижні, ліві та праві – 2,5 см. Вирівнювання основного тексту – за шириною. Перші рядки всіх абзаців – з відступом 0,6 см, шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал 1. Назва статті друкується великими напівжирними літерами – кегль 14. Заголовки елементів основного тексту виділяються напівжирним шрифтом.

Структура статті: 1) номер УДК (у верхньому лівому кутку сторінки, напівжирним шрифтом); 2) ініціали, прізвища авторів (великими літерами) та відомості про авторів (науковий ступінь, вчене звання, посада, повна назва організації, адреса організації) - вирівнювання за правим краєм; 3) назва статті (у центрі); 4) реферат обсягом від 1000 до 1100 знаків повинен відображати короткий зміст статті, не повторювати назву, не містити загальних фраз та бути структурованим (мета дослідження, методика реалізації, результати дослідження, висновки, ключові слова (6–8 слів), словосполучення «Ключові слова» – напівжирним; 5) основний текст статті; 6) перелік літератури; 7) п.2, 3, 4, 6 – англійською мовою; 8) номер УДК, п.2,3,4 російською/українською, якщо основний текст представлено українською/російською мовою.

Відповідно до постанови Президії ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003р. до друку приймаються наукові статті, що мають такі елементи: **Вступ** (постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується зазначена стаття); **Мета та завдання** (формулювання цілей статті, постановка завдання); **Матеріал і результати досліджень** (виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з можливим підлою його на частини з відповідними назвами); **Висновки** (зазначити основні висновки з даного дослідження та перспективи його подальшого розвитку в цьому напрямку).

Для надання відомостей про авторів англійською мовою слід використовувати загальноприйнятну лексику перекладу наукових ступенів, вчених звань, посад та місця роботи. **Англомовна анотація за обсягом рекомендується більшою за українську (російську)**, оскільки для закордонних вчених анотація є, як правило, єдиним джерелом інформації про зміст статті.

Обсяг статті, включаючи текст, таблиці, рисунки, не має перевищувати 6–8 сторінок. **Сторінки повністю заповнені текстом**. Схеми, рисунки й таблиці повинні бути пронумеровані та розміщені в тексті після посилань на них. Матеріал має бути викладений стисло, без повторювань даних таблиць і рисунків у тексті. Неприпустимо використовувати такі елементи форматування як «розрив розділу з нової сторінки» та колонтитули. Стаття має бути ретельно перевірена та підписана всіма авторами.

Рисунки (діаграми, фото тощо) подаються у чорно-білому зображенні разом із текстом, у місцях посилань на них. **Вимога до графічних матеріалів: будь-яка ілюстрація повинна бути єдиним нерозривним графічним об'єктом**. Рисунок має бути розташований у центрі, без обтікання текстом. Підписи до рисунків повинні містити нумерацію в порядку розміщення в тексті та пояснювальний підпис. Неприпустимо включати підписи до самого рисунка.

Формули в статтях мають бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул у Microsoft Word). Кириличні та грецькі символи мають бути набрані прямим шрифтом, латинські літери - похилим. Виняток становлять символи операторів і стандартних функцій, які набираються прямим шрифтом. Нумерація формул, на які є посилання в тексті, – справа в дужках. Цілі частини від десяткових відокремлюються комою.

Список літератури наводиться в порядку посилань у тексті відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Посилання на літературні джерела в тексті наводяться у квадратних дужках. Список використаних джерел подається двічі: мовою оригіналу й англійською. У англомовному списку літератури (References) прізвища та назви журналу, видавництва подаються згідно з правилами транслітерації, відповідно до Постанови КМУ від 27 січня 2010 р. №55 (для української мови) або вимогам системи BGN/HCGN (для російської мови). **Назви статті, книги перекладаються англійською мовою**.

В окремому файлі надаються відомості про авторів: прізвище, ім'я та по-батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (повна назва організації без скорочень, адреса, місто, країна), контактні телефони та електронна пошта

Відповідальність за зміст статті несуть автори. Остаточне рішення щодо друку статей ухвалює редколегія. Редакція залишає за собою право проводити скорочення та редакційну правку статей.

Статті, які не відповідають вимогам редакції журналу "Енергетика: економіка, технології, екологія", не розглядаються.

Контакти: тел. (38-044) 406-85-14, <http://energy.iee.kpi.ua>, e-mail: kravkpi@ukr.net