

ISSN 1813-5420

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

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№4–2017

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

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія

Науковий журнал

№ 4 (50) - 2017

Виходить 4 рази на рік

Заснований у березні 2000 року

Загальні проблеми енергоефективності

Лібералізовані ринки енергії

Енергетична ефективність та енергозбереження

Технології та обладнання в енергетиці

Міжгалузеві проблеми і системні дослідження в
паливно-енергетичному секторі

Системні еколого-енергетичні дослідження

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського
2017

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.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 №22857-12775ПР від 14.06.2017 р.

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до рішення Атестаційної колегії МОН України від 13 грудня 2016 р., затвержене наказом МОН України № 1604 від 22 грудня 2016 р. Журнал включено до баз даних «Наукова періодика України» НБУВ, Google Scholar, Index Copernicus, WorldCat, BASE, OpenAIRE, PИHЦ, 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 імені Ігоря Сікорського» (протокол № 12 від 12 лютого 2018 р.).

Коректор В.Г. Смоляр. Комп'ютерна верстка П.В. Соколовський.

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, 2017

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

POWER ENGINEERING

economics, technique, ecology

ENERHETYKA:
ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya

The Scientific Journal

№ 4 (50) - 2017

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

General problems of energy efficiency
Liberalized energy market
Energy efficiency and energy saving
Energy technologies and equipment
Cross-sectoral problems and system studies in the fuel and energy sector
Environmental and energy system research

Kyiv

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

2017

Editor-in-chief- Yu.I. Yakymenko

Deputy editors-in-chief- S.P. Denysiuk, O.S. Yandulskyi, E.M. Pysmennyi

Deputy 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 (*Institute of Power Systems and Power Economics of Dortmund Technical University, Germany*), Richard Strzelecki (*Electro technical Institute, Warsaw, Poland*), P.Y. Ekel (*Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil*), A.V. Kuznetsov (*North Caroline State University, USA*), V. Oleschuk (*Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova*), O. Kuznetsov (*University of Applied sciences, Germany*), Carlos F. Pfeiffer (*University College of Southeast Norway*), A. Baskys (*Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania*), Opitz H. Joachim (*EIH Energy Institute Hamm, Germany*), V. Postolati (*Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova*).

Technical secretary N.O. Kravchuk

Website of the journal <http://energy.kpi.ua>

Journal was registered Certificate of State Registration Printed Media series KB №22857-12775ПП dated 14 June 2017

The Journal was registered by decision Attestation commission MES of Ukraine of December 13, 2016, approved by order of MES of Ukraine № 1604 of December 22, 2016 as an occupational edition. The Journal is included in databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar, Index Copernicus 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 " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute " (protocol № 2 on February 12, 2018).

Proofreading V.G. Smoliar. Desktop publishing P.V. Sokolovskiyi.
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, 2017

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

С.П. Денисюк, В.А. Таргонський. Енергоефективність України: проблеми та шляхи її зростання.. 7

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ

О.В. Коцар. Формування інформаційного забезпечення функціонування ринку електричної енергії України 29

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

М.К. Безродний, Н.О. Пригула, Т.О. Місюра. Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії 47

Ю.Е. Ніколаєнко, Б.І. Басок, Д.В. Козак. Термічний опір теплових труб для світлодіодних освітлювальних приладів енергоефективних будівель (Rus) 57

В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Г.О. Гетманчук. Бази кліматології для визначення енергетичних характеристик будівель 67

М.М. Шовкалюк, С.В. Зіменко. Аналіз тепловтрат через огороження з урахуванням різних методів оцінки теплозахисних властивостей 73

А.В. Хименко. Оцінка ефективності віддачі теплоти теплоакумуючими елементами електротеплового акумулятора (Rus)..... 83

О.О. Закладний, В.В. Прокопенко. Узагальнений показник енергетичної ефективності електропривода. 95

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

А.І. Замулко, Ю.В. Чернецька. Критерії оцінювання розвитку систем розподілу електроенергії в умовах стимулюючого регулювання 102

О.О. Вовк, С.В. Зайченко, Є.П. Чвортко, М.В. Шевченко, А.С. Пірумов, О.Й. Радецька. Аналіз аварій на магістральних трубопроводах за період 2005-2015 рр..... 113

С.А. Рева. CFD-моделювання течії всередині гвинтоподібних труб 119

О.В. Баранюк, В.А. Рогачов, Н.Ю. Андрусик. Теплообмін шахових пучків гвинтоподібних труб. 126

О.В. Семеняко. Термоанемометричні вимірювання характеристик течії в міжреберних каналах плоско-овальних труб..... 133

О.В. Новосельцев, В.В. Кирик. Тиристорна комутація трифазних трансформаторів як засіб уникнення екстремальних режимів..... 141

М.І. Сергієнко, В.Г. Смоляр, Д.О. Соколенко, М.В. Назарець. Застосування системи кондиціонування повітря як засіб підвищення ефективності ткацького виробництва, покращення умов праці та зменшення впливу на довкілля..... 147

Є.А. Бондаренко, О.С. Рубаненко, Н.О. Манжак. Удосконалення принципу побудови сучасної системи менеджменту електробезпеки на електричних станціях, підстанціях та мережах надвисоких класів напруги..... 152

МІЖГАЛУЗЕВІ ПРОБЛЕМИ І СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

В.В. Онищук. Теоретичне обґрунтування пропускної здатності напірного трубопроводу на основі розв'язання системи рівнянь Наве-Стокса 158

О.Г. Левченко, О.С. Ільчук. Застосування правила Борда у процесі оцінювання рівня ефективності управління охороною праці в галузі машинобудування. 170

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

О.Є. Кофанов. Багатопараметричні моделі прогнозування складу і властивостей модифікованих біокомпонентом паливних систем 176

С.Й. Шаманський, М.С. Бойченко, Л.І. Павлюх. Моделювання масової та ліпідної продуктивності культивування мікродоростей в умовах Київської обл..... 184

Вимоги до оформлення статей..... 193

CONTENTS

GENERAL PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY

S. Denysiuk, V. Tarhonskyi. Energy efficiency of Ukraine: problems and ways of its growth 7

LIBERALIZED ENERGY MARKET

O. Kotsar. Development of the information providing functioning of the electricity market of Ukraine 29

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

M. Bezrodny, N. Prytula, T. Misiura. Analysis of the efficiency of the heat pump heating scheme using the heat of atmospheric air and solar energy..... 47

Yu. Nikolaenko, B. Basok, D. Kozak. Thermal resistance of heat pipes for led lighting fixtures of energy efficient buildings 57

V. Deshko, I. Bilous, H. Hetmanchuk. Bases of climatic for buildings energy performance determination 67

M. Shovkalyuk, S. Zimenko. Analysis of heat loss through walling with the account of different methods of estimation of heat-shielding properties..... 73

A. Khimenko. Evaluation of the efficiency of the heat treatment by heat-accumulating elements of the electric heat accumulator 83

O. Zakladnyi, V. Prokopenko. Generalized index of energy efficiency of electric 95

ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

A. Zamulko, Yu. Chernetska. Evaluation criteria of the electricity distribution systems development under incentive regulation. 102

S. Zaychenko, O. Vovk, Ye. Chvertko, M. Shevchenko, A. Pirumov, O. Radetskaya. Analysis of accidents on the main pipelines for the period 2005-2015..... 113

S. Reva. CFD – simulation of stream in helical grooved tubes 119

O. Baranyuk, V. Rogachov, N. Andrusik. Heat exchange of bundles of screw tubes..... 126

A. Semenyako. Thermoanemometric measurements of flow characteristics in interfins channels of flat-oval tubes..... 133

A. Novosel'tsev, V. Kyryk. Exclusion of extreme regimes when switching three-phase transformers 141

M. Sergienko, V. Smolyar, D. Sokolenko, M. Nazarets. Application of air conditioning system as a method of increasing the efficiency of textile production, management of work conditions and storage of environmental impact 147

E. Bondarenko, O. Rubanenko, N. Manzhak. Improvement of the principle of construction of modern management system for electrical power station, substation and electric networks ultrahigh voltage class .. 152

CROSS-SECTORAL PROBLEMS AND SYSTEM STUDIES IN THE FUEL AND ENERGY SECTOR

V. Onischuk. The theoretical justification bandwidth pressure pipe based solution of the equation Navye - Stoksa..... 158

O. Levchenko, O. Ilchuk. Mathematical modeling of evaluation process of the efficiency level of labor protection management in machine production industry 170

ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

O. Kofanov. Multiparametric models for prediction of the composition and properties of fuel systems modified by biocomponent 176

S. Shamanskyi, M. Boichenko, L. Pavliukh. Modeling of mass and lipid pproductivity of microalgae cultivation in the kyiv region. 184

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ GENERAL PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY

УДК 621.3

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-6299-368
В.А. Таргонський, магістрант ORCID 0000-0003-3801-8284

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

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ЗРОСТАННЯ

У статті визначено основні тенденції розвитку світової енергетики та масштабні зміни, що відбулись за останні роки, в енергетиці. Розглянуто досвід передових країн світу та енергетичних об'єднань для формування заходів покращення стану енергоефективності.

Визначено стан енергоефективності України, зокрема динаміку зміни енергоємності ВВП України, наведено рівень енергоємності з іншими країнами, дана характеристика енергоефективності регіонів України та характеристика споживання основних енергоресурсів. Здійснено порівняння стану енергетики України за індексом Енергетичної Трилеми. Наведено причини зниження енергоємності ВВП України. Виконано моніторинг енергоефективності галузей економіки та регіонів України.

Розглянуто орієнтири розвитку енергетичних галузей відповідно до Енергетичної стратегії країни на період до 2035 року. Описано заходи для покращення енергоефективності. Наведено кроки для покращення стану, описані в Директиві Європейського Союзу з енергоефективності. Проаналізовано досвід передових країн світу щодо розвитку інтеграції відновлювальної джерел енергії в енергетичну систему України.

З врахуванням досвіду передових країн світу дані рекомендації для покращення стану енергоефективності України через поширення використання нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, реформи в галузях з високим рівнем енергоємності та розвитком системи енергоменеджменту.

Ключові слова: енергоефективність, енергоменеджмент, ВВП, енергоємність, споживання та виробництво енергії, енергетична стратегія.

Вступ. Основним аспектом діяльності кожної держави є використання енергетичних ресурсів різноманітного походження у секторах економіки, сфері надання послуг, житлово-комунальній сфері і тощо. Уміле та раціональне використання ПЕР свідчить про рівень технологічного та економічного розвитку країни.

Енергетика у все більшій мірі стає ядром розвитку соціуму за рахунок зростаючого впливу на модель суспільного розвитку та соціальної поведінки людини. На сьогодні сформована система споживчих вимог до поливано-енергетичного комплексу: гнучкість (адаптивність, клієнтоорієнтованість, активна поведінка споживача); доступність (автономність, децентралізованість, економічність); безпека (диверсифікованість, сталий розвиток, нетравматичність).

Створюваний сьогодні «електричний світ» характеризується наступними складовими [33]: електрифікація споживача; електрифікація побуту (електричне опалення, освітлення, приготування їжі, системи комфорту); електрифікація транспорту (залізничного, міського громадського електротранспорту, зростання обсягів використання електромобілів); електрифікація соціальної сфери (освітлення, електричні прилади в медицині, електропостачання спортивних і культурно-ділових центрів), промисловості (СВЧ, електро-імпульсна обробка матеріалів), будівництва та сільського господарства від «розеточної технології» до мережевих акумуляторів; розвиток Smart технологій (концепції Smart Grid, Smart Home, Smart Bild, Smart Factory, Smart Community, Smart City) комплексною інтеграцією систем водо-, тепло-, газо- і електропостачання; побудова комплексних енергетичних хабів.

Основні тенденції розвитку: перехід до електрифікації транспортних засобів і розвиток інтелектуальних мереж; перехід до низьковуглецевих і низьковідхідним виробництвам. Базові тренди вказують на прогрес розвитку «чистих» технологій, а також активний пошук можливостей для його прискорення; перехід до комплексних енергосистем, визнання переваг системної інтеграції і визначення найбільш ефективних шляхів і рівнів її впровадження; розвиток Smart-технологій, що забезпечують підвищення ефективності електроенергетичної інфраструктури, починаючи від видобутку енергоресурсів до безвідходного використання кінцевих продуктів, з урахуванням можливостей системних і автономних

накопичувачів енергії; зростання ролі водню в енергетичній системі майбутнього (у довгостроковій перспективі для особливого зберігання і використання енергоносія); нова роль багатокomпонентного викопного палива за рахунок якісної зміни значення різного виду традиційних енергоресурсів для енергосистеми майбутнього; розробка ефективних підходів і комплексних заходів для реалізації потенціалу технологій уловлювання та зберігання вуглецю (Carbon Capture and Storage – CCS) [33].

На сьогодні існує певна техніко-економічна невизначеність щодо перспектив впровадження наступних технологій: видобутку нетрадиційних вуглеводнів (включаючи газогідрати); технологій, що сприяють суттєвому здешевленню і підвищенню якісних характеристик відновлюваних джерел енергії; виробництва електро- та гібридних автомобілів; отримання та використання водневого палива; накопичення енергії; уловлювання та зберігання CO₂.

Згідно досліджень World Energy Outlook-2017 визначено наступні масштабні зміни в світовій енергетичній системі у 2018 році та найближчу перспективу [37]:

– швидке розгортання технологій чистої енергетики і зниження їх вартості: в 2016 році зростання встановленої потужності сонячних електростанцій випереджало усі інші види генерації; з 2010 року вартість нових сонячних електростанцій знизилася на 70%, вітрових – на 25, а акумуляторів – на 40;

– зростаюча електрифікація енергетики: в 2016 році видатки світового споживача на електроенергію майже зрівнялися з витратами на нафтопродукти;

– перехід до економіки, більш орієнтованої на послуги, та до більш чистої структури енергоспоживання в Китаї;

– живучість індустрії сланцевих газу і нафти в США, які залишаються найбільшим у світі виробником нафти і природного газу навіть при низьких цінах;

– світ знаходиться на порозі глобальних енергетичних змін (від експортно-сировинного до ресурсно-інноваційного розвитку).

За даними Bloomberg New Energy Finance у 2016 р. глобальні інвестиції в чисту енергію склали 287 млрд. дол., знизившись на 17 % у порівнянні з 2015 р., тоді як у період 2013–2015 рр. ці інвестиції зросли з 269 до 349 млрд. дол. (зростання на 29,7%). Установлена загальносвітова потужність у 2016 р. джерел «зеленої» енергетики у порівнянні з 2015 р. зросла на 9 % і становила 160 ГВт. У свою чергу, в Європі річні інвестиції в джерела «зеленої» енергетики досягли свого максимуму у 2011 р. (121,3 млрд. дол.), у період 2013–2016 рр. вони знаходяться на рівні 57,2 – 58,8 млрд. дол.

За даними ICEF 2017 до 2040 року частка відновлювальних джерел енергії у загальносвітовому виробництві електроенергії складатиме 66%. У період з 2006 по 2016 р. провідні країни Європи значно збільшили частку ВДЕ у виробництві енергії. Лідерами приросту частки відновлювальних джерел енергії стали Іспанія (з 13 до 30%), Німеччина (з 9% до 29 %), Італія (з 2% до 25%), Великобританія (з 2% до 25%) та Бразилія (з 6% до 18%) [31].

Стало загальним визначенням, що енергетична ефективність – співвідношення між обсягом вироблених благ і обсягом енергії, використаної для виробництва таких благ. Сьогодні питання енергоефективності є одним із ключових, оскільки за світовими оцінками Україна посідає друге місце за рівнем енергоемності [27].

Роль Енергетичного союзу та Програми Кліматичних Дій схематично показана на рис. 1.

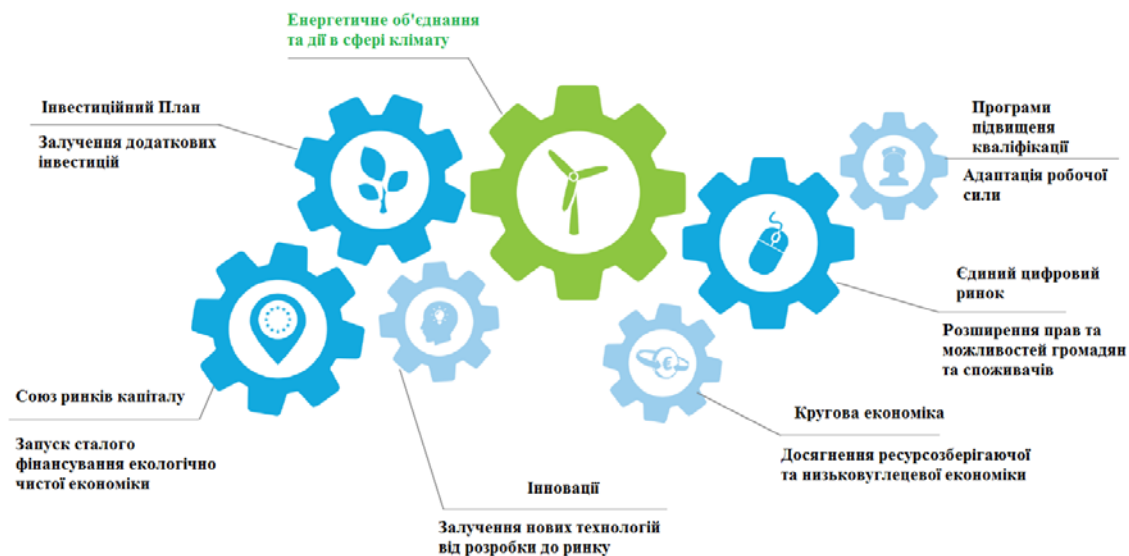


Рисунок 1 – Роль Енергетичного союзу та Програми кліматичних дій

Світовий досвід. Для того, щоб допомогти країнам-членам досягти переваг енергоефективності в їх економіці, Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency – IEA) розробило комплекс рекомендацій щодо політики енергоефективності для пріоритетних сфер: міжгалузевий транспорт, будинки, промисловість, прилади та обладнання, енергетика, освітлення [30]. Розроблені 25 рекомендацій отримали підтримку політичних та зацікавлених сторін на високому рівні, що сприяло інтенсифікації їх впровадження. Для того, щоб відображати нові пріоритети, IEA надалі спростила та оновила 25 рекомендацій. Оновлені 25 рекомендацій охоплюють портфель політик, які країни-члени та країни, які не є членами ЄС, повинні розглядати в контексті їх економії енергії. Цей портфель включає системну політику, спрямовану на рентабельність підвищення енергоефективності, шляхом створення ринкових сигналів для мотивації ефективних дій, прискорення впровадження нових технологій та посилення та застосування мінімальних стандартів енергетичної ефективності (minimum energy performance standards – MEPS) для пристроїв, освітлення, обладнання та енергетичних кодексів будівель.

За оцінками IEA, якщо глобально реалізувати без затримки запропоновані заходи, то вони можуть заощадити до 2030 року 7,6 гігатонн (Гт) вуглецю на рік, що майже в 1,5 рази перевищує поточні викиди CO₂ на рік. У 2010 році це відповідає енергозбереженню більш ніж 82 ЕДж / рік до 2030 року або 17% від поточного річного споживання енергії у всьому світі. Складові потенціалу зниження викидів за розробленими рекомендаціями IEA з енергоефективності: будинки – 25%; техніка – 10; освітлення – 5; транспорт – 29; промисловість – 32.

Однією з загально визнаних у Європі є методологія розрахунку енергетичного індексу, що рекомендований IEA. Сутність цього методу полягає у наступному:

1) здійснюється декомпозиція кінцевого енергоспоживання за секторами і галузями економіки, при цьому за еталон ефективного енергоспоживання береться середня енергоемність відповідного сектора/галузі в ЄС;

2) розраховується ефективність енергоспоживання в регіоні за умови досягнення кожною галуззю рівня енергоемності в ЄС при збереженні поточної структури економіки;

3) виділяються головні чинники, що визначають енергоспоживання: економічну діяльність, структуру економіки й енергоемність виробництва.

За даними Progress Implementing the IEA Efficiency Policy Recommendations (AIE, 2011) в табл. 1 зведена підсумкова інформація виконання (у відсотках) країнами-членами IEA рекомендацій відносно політики енергоефективності [17].

Таблиця 1 – Виконання (у відсотках) країнами-членами IEA політики енергоефективності

Тип політики	Реалізовано повністю	Реалізовано у більшості країн	У процесі реалізації	Заплановано	Не реалізується
Міжгалузєва	19	36	25	17	3
Будівництво	14	29	19	21	17
Електро-прилади	9	33	28	15	12
Освітлення	2	32	48	5	13
Транспорт	4	6	57	10	24
Промисловість	11	25	29	15	20
Комунальне господарство	11	18	36	32	4

У табл. 2 зведено думки експертів, які директивні заходи доцільно вводити в ЄС [17].

Таблиця 2 – Експертне визначення доцільності заходів з енергоефективності

Заходи, які доцільно вжити на рівні ЄС-27	Відповіді експертів, у відсотках		
	«Так»	«Ні»	«Важко Відповісти»
Обов'язкові загальні цільові показники з енергозбереження на національному рівні	70	19	1
Обов'язкові галузеві завдання з енергозбереження на національному рівні	69	21	10
Європейський податок на викиди CO ₂	56	27	17
Європейський фонд енергоефективності	79	12	9
Збільшення кількості добровільних угод з виробниками електроприладів та обладнання	60	23	17
Значно більш ширше використання енергетичного маркування електроприладів та обладнання	83	9	8

Продовження таблиці 2.

Посилення мінімальних нормативів для будівель та електроприладів	87	9	4
Швидке введення заборони на реалізацію будь-яких товарів, що не відповідають нормам ефективності	60	27	13
Обов'язкова реконструкція проблемних будівель за рахунок податкових надходжень в бюджет ЄС	65,5	22	12,5
Жорсткі норми максимального споживання палива для електромобілів	61,5	24,5	14
Встановлення плати за використання автодорогами	24	60	16
Безкоштовний громадський транспорт за рахунок дорожніх зборів	45,5	40	14,5
Розширення зобов'язань енергопідприємств з фінансування заходів з енергозбереження	64	19	17
Розширення зобов'язань енергопідприємств з фактичного енергозбереження	72,5	15	12,5
Обов'язкове призначення відповідальних за енерговикористання на підприємствах та в держустановах	60	24	16
Обов'язковий енергоаудит в промисловості та обов'язкове здійснення рентабельних заходів	72,5	16,5	11
Посилення обов'язкових нормативів енергоефективності в державному секторі	81,5	10,5	8
Обов'язкові вимоги до енергоефективності при державних закупівлях	84	7	9

Для багатьох країн є схожими рушійні сили енергоефективності [21]:

- енергетична безпека (скорочення імпорту енергії, скорочення внутрішнього попиту, підвищення надійності, контроль зростання попиту на енергію);
- економічний розвиток і конкурентоспроможність (зниження енергоємності, підвищення конкурентоспроможності промисловості, зниження собівартості виробництва, підвищення доступності ціни для споживачів енергії);
- зміна клімату (внесок в глобальні дії щодо пом'якшення впливу та адаптації, виконання міжнародних зобов'язань відповідно до Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН), відповідність вимогам до вступу або директивам наднаціонального характеру (наприклад, ЄС));
- суспільна увага до охорони довкілля (до здоров'я людини).

Підвищенню енергоефективності часто заважають бар'єри ринкового, фінансового, інформаційного, інституціонального та технічного характеру. Вони є у всіх країнах, і в своїй більшості політика енергоефективності спрямована на подолання наявних загроз. Характеристика визначених основних бар'єрів [20].

- **ринковий**: організація ринку і цінові диспропорції заважають споживачам в повній мірі оцінити енергоефективність; проблеми, пов'язані з конфліктом інтересів, що виникають, якщо інвестор не може скористатися благами від підвищення ефективності; витрати по угоді (вартість розробки проекту перевищують економію енергії);
- **фінансовий**: заздалегідь понесені витрати і рознесені вигоди відбивають охоту у інвесторів; сприйняття інвестицій в енергоефективність як складні та ризиковані з високими витратами по угоді; відсутність інформованості про фінансові вигоди з боку фінансових інститутів;
- **інформаційний**: відсутність достатньої інформації та розуміння з боку споживачів для прийняття рішень про раціональне використання та інвестиції;
- **регуляторний та інституційний**: тарифи на енергію не стимулюють інвестицій в енергоефективність; структура стимулів спонукає енергетичні компанії продавати її, а не інвестувати в економічну енергоефективність; інституційний ухил в сторону інвестицій, орієнтованих на пропозицію;
- **технічний**: відсутність доступних технологій енергоефективності, які можуть бути найбільш ефективними місцевих умовах; недостатній потенціал визначення, розробки, реалізації та підтримки інвестицій в енергоефективність.

Нижче наведемо заходи політики, спрямовані на подолання наведених бар'єрів [20]:

- **механізми ціноутворення**: змінні тарифи, де на більший рівень споживання припадає більш висока питома вартість;
- **механізми регулювання і контролю**: обов'язкові заходи, такі як енергетичний аудит і контроль

витрати енергії; мінімальні енергетичні стандарти; цільові показники зниження енергоспоживання; зобов'язання приватних компаній з інвестицій в енергоефективність;

– **фінансові заходи і податкові стимули:** гранти, субсидії та податкові стимули для інвестицій в енергоефективність; прямі закупівлі товарів і послуг з енергоефективності;

– **механізми розвитку і перетворення ринку:** інформаційні кампанії; включення питань енергоефективності в освітні програми; маркування побутових приладів і сертифікація будівель;

– **технологічний розвиток:** розробка та демонстрація технологій енергоефективності;

– **комерційний розвиток і створення потенціалу:** створення енергосервісних компаній (ЕСКО); розробка навчальних програм; розвиток індустрії енергоефективності;

– **фінансове забезпечення:** поновлювані фонди для інвестицій в енергоефективність; кошти на підготовку проектів; кошти умовного фінансування.

TRACE рішення

В рамках ініціативи Світового Банку по енергоефективній трансформації міст України (СЕЕТІ) було запропоновано використання TRACE інструментарію для енергетичного планування в інфраструктурі міст України. TRACE – це практичний інструмент для проведення експрес-оцінки енергетичної ефективності інфраструктурних секторів і міст в цілому, який дозволяє визначити пріоритети секторів і пріоритети проектів для інвестицій та вибрати успішні енергоефективні проекти із загальносвітової бази даних. Він є новим набором інструментів Світового банку для швидкої оцінки енергоефективності міст світу і вибору пріоритетів для фінансування проектів модернізації інфраструктурних секторів.

Експертами зазначається, що міста споживають приблизно 60–80% від загального виробництва енергії в світі і генерують 70% загальносвітового обсягу викидів парникових газів.

Як наслідок енергоефективність – це основний інструмент муніципальної політики щодо вирішення проблем зростаючого попиту на енергоресурси, зокрема, за допомогою енергетичної ефективності підвищує енергетичну безпеку; зменшує навантаження на перевантажену інфраструктуру; підвищує конкурентоспроможність; зменшує залежність від викопного палива; знижує шкідливі викиди в навколишнє середовище і викиди парникових газів; зберігає природні ресурси; скорочує енерговитрати бюджету міста і громадян на 50 – 80%.

Згідно положень інструменту TRACE планування стійкого енергетичного розвитку міста передбачає наступні кроки та їх складові: аналіз вихідного стану міста (енергетичний баланс, базова лінія споживання палива і енергії, характеристика секторів міського господарства); формування моделі інструменту TRACE (ключові показники енергоефективності, бенчмаркінг, пріоритизація секторів, список енергоефективних рекомендацій); оцінка енергоефективності (каталог узгоджених енергоефективних проектів в пріоритетних секторах); побудова програми енергоефективної трансформації (основні цілі енергоефективності, оцінка енергоефективних проектів, організація заходів, моніторинг та оцінка енергоефективності реалізації програми); розробка інвестиційної програми (портфель проектів, попередні техніко-економічні обґрунтування, оцінка ризиків, структурування фінансування).

Стан енергоефективності України

Для оцінки стану енергоефективності країни використовується показник енергоемності ВВП. В той же час, як показує світовий досвід, порівняння енергоефективності різних країн та регіонів світу лише за показником енергоемності ВВП не в повній мірі адекватне – не усі країни, які мають низький рівень енергоемності ВВП (відповідно мають високий рівень енергоефективності) мають високий рівень економічного розвитку. І навпаки, країни, які мають найвищі рівні добробуту (ВВП на особу) не завжди мають високий рівень енергоефективності [1]. Рівень енергоемності України представлений у табл. 3 [4]. Згідно з даними таблиці 3 значення енергоемності ВВП України у період з 2010 по 2016 зменшилось, але цьому зменшенню має свої негативні причини. Зі зменшенням енергоемності спостерігається відповідно зменшення рівня ВВП країни, що можна пояснити скороченням виробництва на підприємствах та закриттям підприємств, енергоефективність яких могла бути не на оптимальному рівні.

Таблиця 3 – Характеристика енергоємності України за період 2010 – 2016 роки

	Одиниці виміру	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ВВП у ПКС у постійних цінах 2011 р.	млрд. дол. США	358,9	378,5	379,4	379,3	354,5	319,5	327,2
Відносне значення ВВП, нормоване відносно 2011 р.	в.в.	0,98	1,0	1,002	1,002	0,94	0,84	0,864
Кінцеве енергоспоживання								
Кінцеве енергоспоживання	тис. т н.е.	74004	75852	73107	69557	61460	50831	59795
Енергоємність	т н.е./ тис. дол. США	0,206	0,2	0,192	0,183	0,173	0,159	0,182
Відносне значення енергоємності, нормоване відносно значення 2011 р.	в.в.	1,03	1,0	0,96	0,92	0,865	0,80	0,91

Продовження таблиці 3

Загальне постачання первинної енергії								
Загальне постачання первинної енергії	тис. т н.е.	132308	126438	122488	115940	105683	90090	91000
Енергоємність	т н.е. / тис. дол. США	0,368	0,334	0,322	0,305	0,298	0,281	0,278
Відносне значення енергоємності, нормоване відносно значення 2011 р.	в.в.	1,10	1,0	0,96	0,91	0,89	0,84	0,832

Також варто відмітити, що значна частина населення України зіткнулася з явищем енергетичної бідності [12]. У 2015 році порівняно з попереднім роком споживання енергоресурсів в скоротилося на 34% головним чином через скорочення промислового виробництва [1]. У побутовому секторі за даними Енергетичного балансу України споживання енергетичних ресурсів зменшилося з 20,384 млн. тонн нафтового еквівалента у 2014 р. до 16,554 млн. т н.е. у 2015 р., натомість у промисловості – з 20,570 млн. т н.е до 16,409 млн. т н.е у 2015 р [9,10].

Однак, за даними опитування Державної служби статистики України у 2015 р. 19,6 % домогосподарств не мали достатньо коштів для своєчасної та у повному обсязі оплати рахунків за житло та необхідні послуги з його утримання або оплати вартості газу для приготування їжі; а 25,1 % домогосподарств – для підтримання достатньо теплої температури у своєму житлі протягом опалювального сезону. При цьому в країнах-членах ЄС цей показник у 2015 р. становив 9,4 % [12].

У свою чергу за статистичними даними зміни вартості ВДЕ, для більш адекватної оцінки рівня енергоефективності ІЕА запропонована декомпозиція, тобто розгляд кінцевого споживання енергії в країні за секторами та галузями економіки та, відповідно, їх внеску в загальний ВВП [22]. Такий підхід не тільки дозволяє розділити головні фактори, що визначають енергоспоживання, та відокремити окремі складові впливу на енергоефективність в порівнянні зі стандартними оцінками, але і вимагає певної широкої бази даних. Безумовно, одним із варіантів декомпозиції можна вважати розгляд регіональних особливостей енергоспоживання та визначення ефективності використання енергії окремими регіонами країни. На підставі наявних статистичних даних Державної служби статистики України [4]. Національним інститутом стратегічних досліджень були розраховані як стандартні рівні енергоефективності регіонів України (енергоємність валового регіонального продукту (ВРП)), так і рівні декомпозиційної ефективності (теплота електропостачання) та враховані загальні рівні енергоспоживання регіонів. Дані розрахунків представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Основні розраховані енергетичні показники регіонів України за 2015 рік

Регіон	ЗППЕ на особу, т н.е.	Теплоенергія на особу, Гкал	Електроенергія на особу, кВт·год	Енергоефективність, грн./кг н.е.
Вінницька	1,52	0,864	824,5	24,8
Волинська	0,30	0,527	531,3	101,3
Дніпропетровська	3,92	2,013	6402,9	16,8
Донецька	4,16	1,394	2071,0	6,5
Житомирська	0,34	0,589	895,5	90,3
Закарпатська	0,8	0,250	323,3	28,7
Запорізька	3,57	1,621	3460,7	14,2
Івано-Франківська	3,19	0,486	709,6	10,4
Київська	1,23	1,217	1280,2	48,9
Кіровоградська	0,63	1,082	2399,2	62,5

Продовження таблиці 4

Луганська	1,10	0,832	887,7	9,8
Львівська	0,82	0,606	781,7	45,5
Миколаївська	0,78	2,305	1316,5	53,2
Одеська	0,28	0,779	1063,8	148,9
Полтавська	1,54	1,471	2644,0	43,1
Рівненська	0,50	1,812	2261,5	60,7
Сумська	0,65	0,629	941,4	57,2
Тернопільська	0,21	0,556	378,2	118,9
Харківська	1,06	0,832	1221,8	43,2
Херсонська	0,27	0,330	784,0	112,0
Хмельницька	0,46	0,556	722,6	68,8
Черкаська	1,22	1,438	1189,7	33,4
Чернівецька	0,14	0,313	321,3	145,3
Чернігівська	0,71	0,786	698,1	49,6
м. Київ	1,19	0,758	1221,2	131,0
Україна	1,56	1,030	1679,2	29,8

ЗППЕ – загальне постачання первинної енергії.

Отримані дані показників енергоефективності регіонів України показують значні відмінності у рівнях ефективності використання енергоресурсів регіонами України. Даний показник коливається від максимального рівня в 148,9 грн/кг н.е. в Одеській та 145,3 грн/кг н.е. в Чернівецькій областях (максимальні рівні) до рівнів в 9,8 грн/кг н.е. – Луганська область, 6,5 грн/кг н.е. – Донецька область, та 10,5 грн/кг н.е. – Івано-Франківська область (мінімальні рівні): тобто за рівнем ефективності енергоспоживання відрізняються в десятки разів.

Така значна різниця пояснюється не стільки бойовими діями на Сході України (найнижчі рівні енергоефективності в цих регіонах спостерігалися і в попередні роки), скільки суттєвою різницею структури енергоспоживання: явністю в Луганській, Донецькій, а також Івано-Франківській, Дніпропетровській та Запорізькій областях значної кількості енерговитратних та низько ефективних промислових виробництв – про що свідчить суттєво більші рівні питомого (на одну особу) енергоспоживання [1].

Результати оцінювання, що проведені дослідницьким центром «Бюро економічних та соціальних технологій», дозволили побудувати рейтинг енергоефективності функціонування економіки регіонів України з урахуванням її структурних особливостей [33]. Згідно цієї методики, найбільш високий рівень енергоефективності був у тих регіонах країни, де структура економіки має низьку енергомісткість. У 2011 р. регіонами-лідерами за показниками Ukrainian Energy Index-2013 (UEI-2013) стали Закарпатська, Чернігівська та Вінницька області. Їх енергоефективність склала відповідно 64,3%, 63,8% та 62,9% від рівня ЄС.

У 2013 році було побудовано рейтинг енергоефективності областей України. Алгоритм формування рейтингу базується на методології аналізу енергоефективності Міжнародного енергетичного агентства. Він визначає ефективність використання енергоресурсів у кожній області України з урахуванням структури економіки регіону. Енергоспоживання регіону розбивається на кінцеве споживання енергії в 10 галузях переробної промисловості, сільському господарстві, добувній промисловості, будівництві, сфері послуг і секторі житлового господарства, для кожного з яких розраховується показник енергоефективності. Оцінювання проведено на підставі зіставлення кінцевого енергоспоживання регіонів

з аналогічними показниками країн Європейського союзу, які використовуються як умовний еталон енергоефективності для України. Розрив між показниками енергоспоживання регіону й еталонем визначає потенціал кожного регіону щодо енергозбереження: чим він більший, тим менша енергоефективність регіону і тим більший обсяг енергоресурсів можна зекономити за умови наближення до стандартів ЄС.

Особливістю методології є використання індикаторів енергоефективності для найбільших споживачів енергоресурсів: галузей промисловості, сільського господарства, сфери послуг, будівництва, сектора транспорту та житлового сектора. Визначається гіпотетично ефективне енергоспоживання в регіоні «і» (ГЕЕі) як енергоспоживання регіону при досягненні ним енергоемності рівня ЄС. Розрахувавши гіпотетично ефективне енергоспоживання в регіоні ГЕЕ, є можливість вирахувати гіпотетичне енергозбереження в регіоні «і» (ГЕЗ) у випадку зниження енергоемностей до рівня ЄС. Воно визначається як різниця між поточним енергоспоживанням та гіпотетично ефективним енергоспоживанням ГЕЕ.

Сформований ейтинг, зокрема, визначає, як на енергоспоживання регіону впливають зміни в енергоемності, зниження/підвищення ділової активності та структурні зміни економіки регіону. Показник енергоефективності економіки України у 2011 р. підвищився на 0,6 в.п. порівняно з попереднім роком і склав 54,2% від середнього рівня країн ЄС. Загалом енергоефективність промисловості у 2011 р. складала 51,1% від рівня ЄС, сільського господарства – 37,1%, сектора послуг – 46,1%, будівництва – 11,3%, житлового сектора – 61,9%.

Україна слідує світовим тенденціям щодо зменшення рівня енергоемності економіки. На рис. 2 показано співставлення динаміки зміни енергоемності ВВП України, Польщі, Німеччини та Росії [27]. Як видно з рис. 2 рівень енергоемності ВВП України у 2016 році порівняно з 2000 роком зменшився майже в 2 рази, що свідчить про розвиток енергетичної галузі України. Проте за даними EnerData Yearbook 2017 рівень енергоемності України залишається другим найвищим у світі 0,318 кг.н.є/\$2005р, вище тільки у Росії. Україні необхідно орієнтуватись на передові країни Європи, такі як Німеччина, Франція, Польща, що схожі за кліматичними умовами до України. На сьогодні у порівнянні з Німеччиною та іншими високорозвиненими країнами світу значення енергоемності ВВП України перевищує більше ніж в три рази.

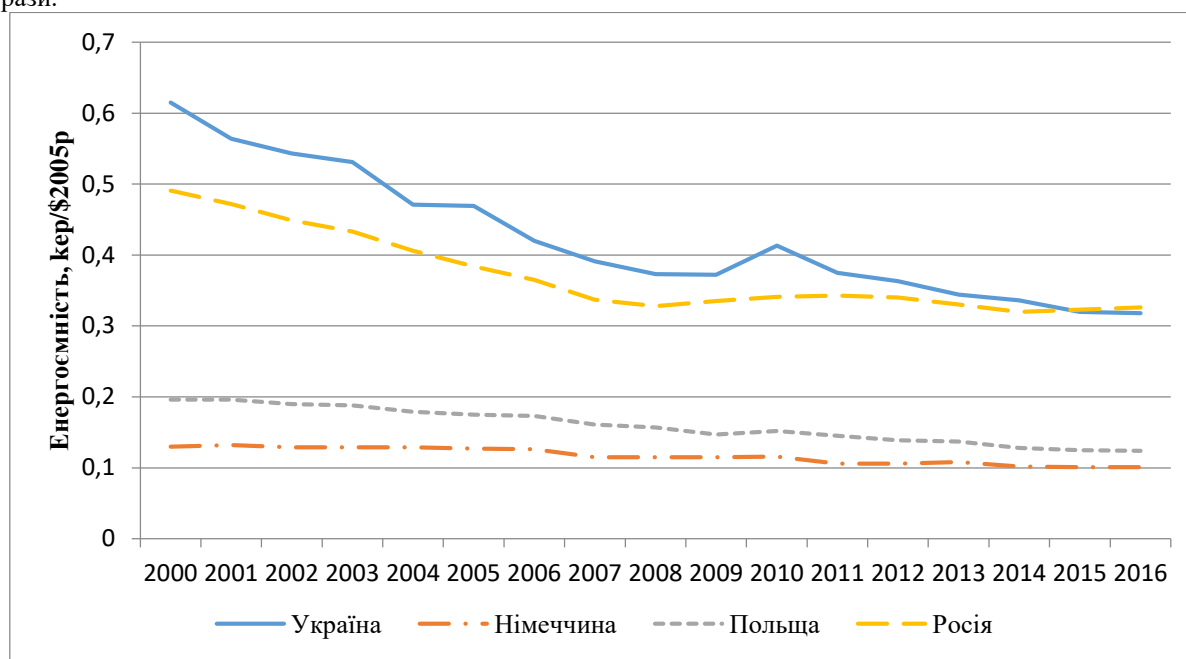


Рисунок 2 – Динаміка рівня енергоемності України у порівнянні з іншими країнами

Низький рівень енергоефективності економіки України пояснюється як надмірним регулюванням ринку, так і недостатністю заходів зі стимулювання енергоефективності [14]. З точки зору споживання первинної енергії Україна займає 20-ту позицію у світі, споживши 118 млн тон енергії у нафтовому еквіваленті (н.є.) в 2010 році, в той час як її економіка займає лише 40 місце з точки зору загального розміру. За даними ІЕА Україна також була 9-м найбільшим імпортером природного газу в 2010 році, незважаючи на багаті поклади енергоносіїв.

Фахівці відзначають, що потрібно усунути провали ринку на шляху до ефективного використання енергії:

– **значне дисконтування** майбутньої економії енергії чи енерговитрат через надзвичайно довгий інвестиційний горизонт, що характерно для інвестицій в енергетичний сектор, невизначеність щодо

поведінки цін на енергоносії в майбутньому, відсутність передбачуваної та прозорої енергетичної політики;

– **негативні зовнішні ефекти** від глобального і локального забруднення не відображаються у вартості використання енергії (витрати, пов'язані з такою поведінкою, не розглядаються на індивідуальному рівні і, як результат, споживається більше енергії, ніж було б в інтересах суспільства);

– **недосконала інформація**: відсутність інформації та/або навичок вибору технічних варіантів досягнення енергоефективності;

– **високі транзакційні витрати**: навіть якщо відповідна інформація доступна, її вартість може бути занадто дорогою для споживачів і інвесторів, що призводить до необізнаних, неоптимальних рішень;

– **брак довгострокового фінансування**, що призводить до недостатнього інвестування заходів з підвищення енергоефективності;

– **асиметрична інформація**, що призводить до проблеми т.зв. «агентських відносин», оскільки інвестори і ті, хто отримують вигоди від заходів з підвищення енергоефективності, не є однією і тією ж особою.

Для оцінки стану енергетики України використовуються різноманітні показники. Одним з таких показників є індекс Енергетичної Трилеми, який оцінює три складові енергетичного розвитку країн: енергетичну безпеку, доступність та екологічну стабільність. Індекс Енергетичної Трилеми для України у порівнянні з трьома передовими країнами за 2011–2017 роки представлений у табл. 5.

Таблиця 5 – Індекс Енергетичної Трилеми для України

Енергетична Трилема							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Швейцарія	Швейцарія	Швейцарія	Данія	Данія	Данія	Данія
2	Данія	Данія	Данія	Швейцарія	Швейцарія	Швейцарія	Швеція
3	Швеція	Швеція	Швеція	Швеція	Фінляндія	Швеція	Швейцарія
Україна	95	99	97	65	65	63	48
Енергетична безпека							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Росія	Росія	Росія	Данія	Данія	Данія	Данія
2	Канада	Канада	Канада	Фінляндія	Фінляндія	Фінляндія	Фінляндія
3	Данія	Великобританія	Данія	Словенія	Словенія	Фінляндія	Фінляндія
Україна	54	60	59	26	28	28	11
Енергетична доступність							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	США	США	США	Люксембург	Люксембург	Люксембург	Люксембург
2	Канада	Канада	Канада	Катар	Катар	Швейцарія	Катар
3	Австралія	Австралія	Австралія	Нідерланди	Швейцарія	Нідерланди	Нідерланди
Україна	70	73	73	59	60	61	63
Екологічна стабільність							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Швейцарія	Швейцарія	Швейцарія	Ісландія	Філіпіни	Філіпіни	Філіпіни
2	Коста Рика	Коста Рика	Коста Рика	Філіпіни	Ісландія	Ісландія	Ісландія
3	Албанія	Албанія	Албанія	Швейцарія	Швейцарія	Швейцарія	Швейцарія
Україна	114	114	114	112	111	108	102

Як видно з табл. 5 Україна поступово покращує свої позиції, особливо у питаннях енергетичної безпеки та доступності. Екологічна складова індексу Енергетичної трилеми досі залишається низькою порівняно з іншими країнами, подальший розвиток технологій НВДЕ може покращити ситуацію.

Моніторинг енергоефективності областей України

За результатами дослідження на січень-вересень 2017 року найвищого значення оснащення приладами обліку теплової енергії від загальної кількості багатоквартирних будинків, які підлягають оснащенню досягли Вінницька (94,6 %), Миколаївська (92,3%), Хмельницька (91,7) області та місто Київ (93,4%). Найнижчий рівень оснащення у Тернопільській (17,6 %) та Луганській (17%) областях. Загальний рівень по Україні складає 77,1%.

Найвища частка обсягу теплової енергії, виробленої в регіоні з альтернативних видів палива або відновлюваних джерел енергії за звітний період, відсотків до загального обсягу виробленої теплової енергії в регіоні станом на 2016 рік притаманна для Волинської (36,5%), Дніпропетровської (19,3%), Харківської (17,4%) та Херсонської (16,9%) області. Найнижче значення у Донецької (0,2%) , Запорізької (0,5%), Закарпатської (1,3%), Тернопільської (2,7%) області та міста Київ (0,9%). Загальний показник по Україні у 2016 році складає 10,4%, що вдвічі більше ніж у 2015 році – 4,8%.

Найвищий рівень впровадження енергозберігаючих джерел світла у зовнішньому освітленні населених пунктів у 2016 році показали Дніпропетровська (61,7%), Черкаська (51,1%), Луганська (47,9%), Миколаївська (41,6%) та Рівенська (40,5%) області. Найнижчі значення мають Донецька (17,7%), Херсонська (19,9%) та Чернівецька (19,9%) області. Загальне значення в Україні складає 34,2% у 2016 році порівняно з 27,4% у 2015 році.

За рівнем впровадження потужності котелень на альтернативних видах палива станом на січень-вересень 2017 року лідерами є Тернопільська (23,1%), Харківська (20,2%), Рівенська (19%), та Волинська (18,6%) області. Найнижчий показник у Донецької (0,1%), Луганської (0,1%) та Одеської (0,3%) області та у місті Київ (1,5%). Загальний рівень в Україні складає 10,8%.

Найвищий рівень частки домогосподарств, які уклали кредитні договори в рамках механізмів підтримки заходів з енергоефективності в житловому секторі за рахунок коштів державного бюджету станом на січень-вересень 2017 року притаманний для Рівенської (2,92%), Волинської (2,42%) та Сумської (1,92%) області. Найнижче значення у міста Київ (0,23%), Донецької (0,58%), Одеської (0,63%), Харківської (0,66%) та Луганської (0,67%) області. Загальне значення в Україні складає 0,97%

Субсидій та кредити в енергетиці

Субсидія для відшкодування витрат на оплату житлово-комунальних послуг – щомісячна адресна безготівкова допомога для відшкодування витрат на оплату користування житлом або його утримання та комунальних послуг (водо-, тепло-, газопостачання, водовідведення, електроенергія, вивезення побутового сміття та рідких нечистот). Субсидія готівкою на придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива – грошова допомога на придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива, яка призначається один раз на рік. Призначається у разі, коли житлове приміщення не забезпечується електро-, тепло- або газопостачанням для опалення.

Головною проблемою, що стоїть на шляху модернізації житла вразливих споживачів, є низька купівельна спроможність. Щоб стимулювати заходи з енергоефективності вразливих споживачів надаються кредити за умов відшкодування 35 % суми кредиту, а якщо у в складі ОСББ є родини-отримувачі субсидії, таке ОСББ отримує відшкодування у середньозваженому розмірі між 40 % і 70% – залежно від кількості квартир-субсидіантів.

3 жовтня 2014 року для населення та ОСББ діє розроблена Держенергоефективності та запроваджена Урядова програма «теплих кредитів». Програмою передбачено відшкодування з держбюджету у таких розмірах: 20% суми кредиту (але не більше 12 тис. грн.) на придбання негазових/неелектричних котлів для фізичних осіб; 35% суми кредиту (але не більше 14 тис. грн) на придбання енергоефективного обладнання/матеріалів для фізичних осіб; 40% суми кредиту (але не більше 14 тис. грн. в розрахунку на одну квартиру) для ОСББ/ЖБК, як юридичних осіб, для загальнобудинкових заходів.

Якщо позичальником є фізична особа, яка отримує субсидію на оплату житлово-комунальних послуг, то розмір відшкодування становитиме 35% як за напрямком придбання котлів, так і для інших енергоефективних заходів, але не більше 12тис.грн. Якщо в складі ОСББ є родини-отримувачі субсидії, таке ОСББ отримує відшкодування у середньозваженому розмірі між 40% та 70% – залежно від кількості квартир-субсидіантів. Уповноваженими на видачу "теплих" кредитів в рамках програми є 4 державні банки: ПриватБанк, Ощадбанк, Укргазбанк та Укррексімбанк.

За даними Держенергоефективності у грудні 2017 р. 12395 фізичним особам-позичальникам відшкодування частини суми кредиту, розрахованих відповідно до Порядку, становить 103,391 млн. грн.; 47-ми об'єднанням співвласників багатоквартирного будинку та житлово-будівельним кооперативам – 12,358 млн. грн.

За даними Держстату України за підсумками 2017 року заборгованість населення за послуги житлово-комунального господарства склала більше 28 млрд. грн. (без тимчасово окупованої території

Автономної Республіки Крим і м. Севастополя, а також частини зони проведення антитерористичної операції). Всього на житлові субсидії та пільги за всіма видами ЖКГ у 2017 р. уряд виділив 71 млрд. грн., з яких близько 4 млрд. отримали домогосподарства для відшкодування витрат на оплату ЖКП.

Понад 66 млрд. грн. нараховано підприємствам, які надавали комунальні послуги субсидіантам. За даними Держстату, на кінець 2017 р. місцеві бюджети майже на 63 млрд. грн. розраховалися за субсидії з підприємствами-постачальниками послуг, але ще залишилися винні майже 26 млрд. грн. Отже, протягом 2017 року держава продовжувало розраховуватися за боргами 2016 року.

Субсидії у 2017 р. призначили 8,8 млн. домогосподарствам, з яких найбільша кількість отримувало субсидію в грудні – 6,9 млн. Заборгованість населення за комуналку включає послуги газопостачання, опалення, гарячого та холодного водопостачання, водовідведення, утримання будинків і прибудинкових територій, вивезення побутових відходів (без урахування електроенергії).

Судячи зі звіту Держстату, найбільшими боржниками є Дніпропетровська (4,4 млрд. грн.) і Харківська (4,1 млрд. грн.) області, а також м. Київ (4,1 млрд. грн.). Зате в Івано-Франківській і Рівненській областях до кінця року зафіксована переплата в більш ніж 27 млн. грн. Суми субсидій домогосподарствам для відшкодування витрат на оплату послуг ЖКГ склали: Дніпропетровська та Харківська області – відповідно 280,3 та 241 млн. грн.; м. Київ – 206,7 млн. грн. Зазначимо, що у звітності, яку отримує Держстат від постачальників комунальних послуг, міститься суміш боргів і переплат як простих споживачів, так і держави по нарахуванню та фінансуванню житлових субсидій та пільг.

У січні–грудні 2017 р. за субсидіями для відшкодування витрат на оплату житлово-комунальних послуг звернулось 8202,5 тис. домогосподарств, що на 10,3% більше, ніж у січні–грудні 2016р. При цьому на домогосподарства у міських поселеннях припадало 67,5% таких звернень.

Із початку 2017 року призначено субсидії 8809,3 тис. домогосподарств (107,4% із числа тих, які звернулися, урахуваючи тих, що звернулися за субсидіями у 2016р., але призначено їм було тільки у 2017 р.), з них у міських поселеннях – 6026,5 тис. домогосподарств, у сільській місцевості – 2782,8 тис. Порівняно з відповідним періодом 2016р. кількість таких домогосподарств збільшилась на 1132,1 тис., або на 14,7%.

У грудні 2017 р. субсидії для відшкодування витрат на оплату житлово-комунальних послуг отримували 6920,7 тис. домогосподарств (46,2% від загальної кількості домогосподарств країни), з них 37,5% склалися з однієї особи, 28,2% – із двох, решта – із трьох і більше осіб. Загальна сума субсидій, призначених домогосподарствам, у січні–грудні 2017 р. становила 3980,1 млн. грн. (у міських поселеннях – 2811,1 млн.грн, у сільській місцевості – 1169,0 млн. грн.), у відповідному періоді 2016р. – 5704,7 млн. грн. (у міських поселеннях – 3403,1 млн. грн., у сільській місцевості – 2301,6 млн. грн.). Середній розмір призначеної субсидії на одне домогосподарство у грудні 2017 р. зменшився порівняно з відповідним періодом 2016 року на 27,2% і становив 993,4 грн.

У січні–грудні 2017 р. 811,5 тис. домогосподарств (89,0% із числа тих, які звернулися) було призначено субсидії готівкою для придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива, з них у міських поселеннях – 158,6 тис. домогосподарств, у сільській місцевості – 652,9 тис. Серед домогосподарств, яким призначено субсидії у грудні 2017 р., 49,6% – домогосподарства з однієї особи, 24,2% – із двох, решта – із трьох і більше осіб.

За січень–грудень 2017 р. загальна сума призначених субсидій становила 2264,5 млн. грн. (у міських поселеннях – 462,2 млн. грн., у сільській місцевості – 1802,3 млн. грн.), у відповідному періоді 2016 р. – 1579,5 млн. грн. (у міських поселеннях – 335,8 млн. грн., у сільській місцевості – 1243,7 млн. грн.). Середній розмір призначеної субсидії на одне домогосподарство у грудні 2017 р. збільшився порівняно з відповідним періодом 2016 року на 18,6% і становив 2545,7 грн. У січні–грудні 2017 р. загальна сума субсидій готівкою, отриманих домогосподарствами для придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива, становила 2247,3 млн. грн., за відповідний період 2016 р. – 1852,9 млн. грн.

Моніторинг енергоефективності

Для ефективного розвитку політики покращення енергоефективності необхідно виконувати моніторинг енергоефективності. Завданням Моніторингу енергоефективності України є розрахунок індикаторів, що дозволяють визначити потенціал енергозбереження й можуть використовуватись для встановлення цільових показників й проведення моніторингу державної політики в сфері енергоефективності.

Методологія МЕУ базується на методі декомпозиції кінцевого споживання енергоресурсів за секторами й галузями економіки, запропонованому Міжнародним енергетичним агентством Такий підхід дозволяє розділити головні фактори, що визначають енергоспоживання: структуру економіки, економічну діяльність і енергоемність, та отримати більш точні оцінки енергоефективності порівняно зі стандартними оцінками.

За даними, представленими Держенергоефективності України, енергоемність ВВП України

складала 0,4 кг нафтового еквівалента (кг н.е.) на долар США, порівнянно з енергоємністю Росії (0,42 кг н.е.), вдвічі вище енергоємності Сполучених Штатів Америки (0,19 кг н.е.) і втричі вище, ніж в Японії та Німеччині (0,14 кг н.е.) [20].

Україна, як і багато більш розвинені країни, має суттєвий потенціал у сфері енергоефективності. У доповіді IEA «Ukraine 2012» цей потенціал оцінюється в 20–30% обсягу поставок енергії – величину, яка повинна забезпечити її визнання в якості першочергового завдання політики в області стійкої енергетики.

ЄС, який має вдвічі меншим потенціалом в області енергоефективності, поставив за мету підвищити енергоефективність на 20% до 2020 року, і держави-члени розробили індивідуальні Національні плани дій в галузі енергоефективності для забезпечення, демонстрації та моніторингу прогресу на шляху до мети. На цьому тлі, Україна поставила цілі з енергозбереження в обсязі від 30% до 50% в різні терміни – до 2015 і до 2030 року.

В огляді IEA «Ukraine 2012» потенціал енергозбереження України оцінюється в четверту частину загальної пропозиції первинної енергії або еквівалент 27 млн. т н.е.

У 2014 р. потенціал енергозбереження дорівнював 27,1 млн.т н.е, що становить близько 29,9 млрд кубометрів газу і перевищує в 1,5 рази імпорт Україною газу у 2014 р. По третині потенціалу зосереджено у промисловості та житловому секторі. Інша третина потенціалу енергозбереження припадає на сектор трансформації електроенергії на ТЕС і на сектор послуг 22,0% та 11,0% відповідно. В будівництві зосереджено лише 1% потенційного енергозбереження через порівняно низький обсяг споживання галузі. Енергоємність сільського господарства у 2014 р. вперше знизилась за рівень нижче європейського, що брався за еталонний рівень, тому згідно методології потенціал енергозбереження галузі є від’ємним. За умови однакової з ЄС енергоємності енергоспоживання галузі збільшилося б на 392 тис. тне від зафіксованого офіційною статистикою рівня [6].

У 2014 р. скоригований на структуру економіки показник енергоефективності України збільшився на 1,8% до 60,0% від рівня ЄС, зокрема, енергоефективність зросла в житловому секторі, послуги, сільському господарстві та будівництві, в той час як в промисловості було зафіксовано її зниження. Має місце значне зростання енергоефективності в харчовій промисловості, хімічній та виробництві неметалевих мінеральних виробів було нівельовано се зниженням на 8,5% в металургії після ескалації військового конфлікту на Донбасі. Енергоефективність в секторі трансформації енергії на ТЕС залишалася незмінною третій рік поспіль

Загальне енергоспоживання скоротилося на 9.2 млн. т н.е. або 11,9%, але тільки 3.6 млн. т н.е. або 39% з цього доводиться на покращення енергоефективності.

Наведемо дані зміни показника енергоефективності в 2014 році за даними «Моніторингу енергоефективності України 2016»: при зростанні показника енергоефективності в середньому по країні на 1,8 % (за даними цієї роботи в загальному він складає 60,0 % від європейського рівня), зростання в житловому секторі склало 2,9%, в секторі послуг – 3,8, в сільському господарстві – 45, в будівництві - 3,5. При цьому, в промисловості енергоефективність впала на 3,1 %, а в генерації енергії на ТЕС енергоефективність залишається на незмінному рівні (вже на протязі 3 останніх років). Взагалі, якщо взяти досягнуті рівні енергоефективності лише енергогенеруючих компаній, та виявляється досить невтішна картина: Центроенерго – досягнутий рівень ефективності генерації (у відсотках від відповідного рівня ЄС) – 31,2%, Дніпроенерго – 31,7, Донбасенерго – 29,4, Східенерго – 31,3, Західенерго – 30,9, Україна (в цілому) – 31,0.

В табл. 6 наведено розраховані індикатори енергоефективності для оцінки потенціалу енергозбереження в Україні [6].

Таблиця 6 – Індикатори енергоефективності у 2012–2014 рр.

	Сукупне кінцеве енергоспоживання енергії на ТЕС, тис. тне			Енергоємність *			Енергоефективність, %			Потенціал енергозбереження, тис. тне		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Україна	79 218	77 019	67 825				57,1%	58,2%	60,0%	33 996	32 165	27 127
Сільське господарство.	2 195	2 242	2 016	0,028	0,029	0,018	77,2%	74,5%	119,4%	499	572	-392
Промисловість	27 219	24 870	22 498				57,1%	62,1%	59,0%	11 673	9 421	9 233
2.1 Добувна	1 620	1 663	1 562	0,020	0,020	0,022	41,3%	41,2%	37,1%	952	978	983
2.2 Переробна	25 599	23 207	20 936				58,1%	63,6%	60,6%	10 721	8 443	8 250
харчова	1 921	1 658	1 680	0,035	0,044	0,033	59,8%	47,5%	62,5%	771	871	630
текстильна та шкіряна	74	62	54	0,020	0,016	0,016	58,5%	74,0%	74,5%	31	16	14

Продовження таблиці 2.

деревобробна	166	194	185	0,074	0,085	0,075	45,8%	39,9%	45,3%	90	117	101
целюлозно-паперова	285	280	240	0,056	0,049	0,050	112,9%	127,8%	125,5%	-37	-78	-61
хімічна	2 420	1 788	1 159	0,296	0,140	0,103	18,0%	38,0%	51,5%	1 985	1 108	562
неметалеві мінеральні продукти	1 573	1 534	1 250	0,178	0,163	0,143	47,2%	51,5%	59,0%	830	745	512
металургія	17 890	16 701	15 669	0,852	0,801	0,912	66,0%	70,2%	61,7%	6 091	4 975	6 007
машино буд.	816	665	508	0,030	0,022	0,023	17,1%	23,5%	22,5%	676	509	393
устаткування	454	325	191	0,018	0,015	0,013	37,6%	44,5%	52,5%	283	181	91
Будівництво	411	376	274	0,010	0,010	0,009	17,7%	17,4%	20,9%	338	311	217
Послуги	5 037	5 745	4 663	0,008	0,009	0,008	32,8%	31,4%	35,2%	3 387	3 940	3 020
Житловий сектор	23 465	23 495	20 384	0,022	0,022	0,021	53,1%	53,1%	56,0%	11 005	11 008	8 968
Трансформація енергії на ТЕС	20 891	20 291	17 990	0,310	0,310	0,311	66,0%	65,9%	66,2%	7 093	6 913	6 081

Наведемо також дані регіональних індикаторів енергоефективності опалення та гарячого водопостачання [6, 7]. Найвище значення енергоефективності опалення та гарячого водопостачання (% від рівня ЄС) в 2014 році мали Вінницька – 85% та Кіровоградська – 79% області; найнижче значення енергоефективності спостерігається у Луганській – 21%, Донецькій – 34% областях та в м. Київ – 37%; середнє значення енергоефективності мають Одеська – 61%, Сумська – 58% та Львівська – 56 % області.

Найвище споживання енергоресурсів на опалення та гаряче водопостачання на одне домогосподарство в 2014 році спостерігалось у Київській, Полтавській, Харківській та Дніпропетровській області; найнижче споживання у Херсонській, Вінницькій та Кіровоградській області; середнє значення енергоспоживання у Рівенській, Волинській та Миколаївській областях. Наприклад, у Кіровоградській та Херсонській області рівні споживання на одне домогосподарство склали відповідно 0,59 та 0,64 т н.е., тоді як у Харківській та Київській областях вони становили відповідно 1,02 та 1,3 т н.е.

Найвище споживання енергоресурсів на опалення та гаряче водопостачання на одну особу в 2014 році спостерігалось у Київській, Полтавській, Харківській та Дніпропетровській області; найнижче споживання у Херсонській та Рівенській області; середнє значення енергоспоживання у Житомирській, Хмельницькій та Миколаївській областях. Наприклад, споживання енергоресурсів на опалення та гаряче водопостачання на одну особу в 2014 році у Херсонській та Рівенській областях було на рівні 280 та 285 кг н.е., тоді як у Полтавській та Київській областях цей показник становив відповідно 470 та 660 кг н.е.

Впровадження заходів політики щодо підвищення енергоефективності теплозабезпечення ускладнюється через відсутність компетентних, які б адекватно відображали реалії, надійних індикаторів енергоефективності, на основі яких можна визначити потенціал енергозбереження, встановити завдання зі зниження енергоспоживання, проводити моніторинг виконання цих завдань і, в разі необхідності, вжити заходи для їх виконання.

Аналіз отриманих індикаторів енергоефективності дозволяє сформулювати такі висновки. У 2014 р. потенційне енергозбереження у теплозабезпеченні складає 7,4 млн. т.н.е., що становить 9,1 млрд. м³ природного газу (або майже половина від загального імпорту в 2014 р.) й оцінюється в 3,1 млрд дол. США. На п'ять найбільших за потенціалом регіонів (Дніпропетровська, Харківська, м. Київ, Київська й Полтавська області) припадає 41% загальноукраїнського енергоспоживання в секторі та більше половини сукупного енергозбереження (54%), що пояснюється як їх порівняно низькою ефективністю, так і великим розміром і чисельністю населення цих областей. Протилежна картина спостерігається в п'яти областях із найменшим потенціалом енергозбереження – Кіровоградська, Херсонська, Чернівецька, Вінницька, Волинська області. На них припадає лише 5% сукупного енергозбереження, а частка в енергоспоживанні складає лише 10%. Найбільш пріоритетними заходами, що дадуть найшвидший результат, є оснащення житлових будівель індивідуальними тепловими пунктами та будинковими лічильниками тепла в цих регіонах, оскільки порівняно нижча ефективність цих областей насамперед є наслідком неефективної системи централізованого теплопостачання.

Шлях до покращення та найкращі рішення

Енергоефективність – це поєднання питань як енергетичного та економічного, а також соціального та якості життя. Цілі та завдання національної політики мають відображати оптиміальне вирішення проблеми реалізації потенціалу енергоефективності.

Питання підвищення рівня енергоефективності не є новим для України. Але кроки щодо впровадження політики енергоефективності не давали суттєвих результатів. Країна і надалі залишається однією із найбільш енерговитратних у світі.

Для підвищення рівня енергоефективності виділяють три види засобів:

- примусові – законодавчо закріплені нормативні та регулюючі акти та ініціативи;
- стимулюючі – низка механізмів впливу на виробників та споживачів електроенергії (інструменти фінансового стимулювання, методи інформаційної підтримки);
- просвітницькі – формування нової культури енергоспоживання, яка заснована на бережливому природокористуванні та свідомому переході до енергозберігаючих технологій.

Україна має високий потенціал для підвищення рівня енергоефективності, але його реалізація стримується низкою причин, серед яких слід виділити: не ефективну політику до зниження витрат енергії, відсутність належного рівня інвестування енергоефективності та не в повній мірі прийнятих умов їх залучення, неефективну тарифну та цінову політику в енергетичному секторі економіки, невиконання діючих нормативно-правових актів, програм та стратегій, неналежне інформаційне забезпечення процесів підвищення енергоефективності.

Для покращення стану енергоефективності України доцільно використовувати досвід передових країн. В червні 2012 року була прийнята Директива ЄС з енергетичної ефективності, яка визначила загальний комплекс заходів з підвищення енергоефективності та містить наступні кроки, які будуть корисними для нашої країни: реконструкція будівель; зростання енергоефективності енергетичних систем; впровадження енергоаудиту; підвищення ефективності систем опалення та кондиціонування повітря; розробка механізмів фінансування; загальноєвропейські та національні цілі [5].

Аналізуючи зміни енергоспоживання в часі, необхідно брати до уваги те, що енергоємність є не єдиним чинником, який визначає енергоспоживання [23]. Воно може також змінитися внаслідок переходу від економічного буму до рецесії (уповільнення ділової активності) або за рахунок структурних змін в економіці

Для нашої країни на сьогодні важливо реалізувати наступні рекомендації експертів [23]:

Рекомендації щодо політики і законодавчої бази:

1) енергоефективність та відновлювані джерела енергії повинні залишатися пріоритетними питаннями для уряду. Майбутня енергетична політика повинна базуватися на детальному аналізі економічного потенціалу енергоефективності у всіх секторах національної економіки;

1) енергетична політика уряду повинна відображати потенційну користь енергоефективності для нарощування експорту електроенергії, підтримки економічного зростання і захисту довкілля;

Рекомендації щодо інституційних рамок:

1) важливо підвищувати рівень міжвідомчої співпраці між енергетичними та іншими державними директивними органами, особливо тими, які займаються питаннями навколишнього середовища, транспорту, ЖКГ та промисловості;

2) уряд повинен вжити заходи для забезпечення наявності інституційного потенціалу з відповідною структурою для ефективного формування, моніторингу, аналізу та перегляду політики у сфері енергетики та енергоефективності, її реалізації та забезпечення умов дотримання плану-графіку виконання намічених завдань;

3) уряд має забезпечити виділення достатніх людських і фінансових ресурсів для Держенергоефективності, а також для всіх підрозділів в міністерствах та обласних адміністраціях, відповідальних за розробку і реалізацію програм з енергоефективності;

Енергетичний ринок і тарифи:

1) уряду рекомендується розглянути впровадження сучасних ринкових принципів в енергетичному секторі та відповідної нормативної бази, ґрунтуючись на міжнародному досвіді;

2) уряд повинен постійно переглядати політику реструктуризації цін на енергію для уникнення перехресного субсидування і досягнення рівня цін, що відображає витрати;

3) слід гарантувати незалежність Національного регулятора, що має вирішальне значення для стабільності та нормального функціонування енергетичного ринку;

Конкретні заходи щодо енергоефективності:

1) покращення дотримання та забезпечення виконання будівельних норм і правил;

2) дотримання вимог до функціонування енергоспоживаючого обладнання та пристроїв;

3) введення практики енергетичних аудитів та енергоменеджменту в промисловості і будівлях;

4) реконструкція системи централізованого теплопостачання та індивідуальний облік;

5) реалізація передових заходів для підвищення енергоефективності на транспорті;

Наявність фінансування і стимулів:

1) забезпечення підкріплення міжнародного фінансування діяльності з енергоефективності внутрішнім бюджетним фінансуванням;

- 2) зміцнення співпраці з комерційними банками;
- 3) удосконалення процедури затвердження підтримки, що надається донорами;
- 4) впровадження стимулів для ініціатив з енергоефективності в приватному і житловому секторах;

Енергетична статистика:

- 1) підвищення потенціалу в області збору, аналізу та оцінки даних про постачання і споживання енергії;
- 2) використання енергетичних і енергоефективності показників в якості важливої основи для майбутніх змін в економічній та соціальній політиці;

Моніторинг реалізації заходів щодо енергоефективності:

- 1) порівняння існуючої системи моніторингу з міжнародними практиками для її вдосконалення.

Залишаються невирішеними питання визначення впливу енергозбереження та енергоефективності на стан конкурентоспроможності регіону, а також економічні та управлінські аспекти, пов'язані з цим економічним явищем.

Енергоефективність виступає критерієм якості функціонування економічної моделі держави, злагодженої взаємодії між суб'єктами господарювання, які мають сприяти підвищенню рівня енергоефективності виробництва, оскільки це безпосередньо впливає на його рентабельність та прибутковість.

Держава об'єктивно має бути зацікавлена у підвищенні ефективності використання енергоресурсів національною економікою, оскільки це дозволяє їй збільшити базу оподаткування та зменшити державні видатки на енергозабезпечення бюджетних установ, посилити свій вплив на світових ринках та підвищити рівень енергетичної безпеки. Для населення підвищення енергоефективності дозволяє збільшити рівень доходів і зменшити витрати на закупівлю енергетичних послуг. Для суспільства загалом – це шлях наближення до рівня сталого розвитку, в результаті чого підвищується конкурентоспроможність регіону і країни в цілому.

Державна політика щодо енергоефективності має бути спрямована на:

- задоволення потреб суспільства в умовах як нормального, так і особливого стану;
- технічно надійне та безпечне функціонування систем енергозабезпечення суспільства;
- економічну ефективність функціонування систем енергозабезпечення та загалом енергетичного сектору України;
- енергетичну ефективність використання енергоресурсів суспільством та національною економікою;
- екологічно прийнятне вирішення питання зниження впливу енергетики на довкілля та клімат;
- спроможність держави формувати та здійснювати політику захисту національних інтересів незалежно від наявних і потенційних загроз внутрішнього та зовнішнього характеру в енергетичній сфері.

У 2015 році IEA визначила міжгалузеві пріоритети енергоефективності для України [18]:

- 1) підвищити спроможність збирати та аналізувати адекватні енергетичні дані;
- 2) уточнити та впровадити Український план дій щодо енергоефективності;
- 3) продовжити поступове зниження субсидій на ціну на енергоносії;
- 4) використовувати приватні інвестиції;
- 5) моніторинг, впровадження та оцінка політики;
- 6) покращити енергоефективність будівельних компонентів та енергозберігаючих систем у існуючих будівлях;
- 7) вимагати та застосовувати енергетичні коди та енергетичні сертифікати ;
- 8) модернізація мереж централізованого теплопостачання приладів, освітлення та обладнання;
- 9) вимагати мінімальні стандарти енергетичної ефективності для основних споживачів енергії, освітлення та обладнання;
- 10) виведення з експлуатації неефективного освітлювального обладнання;
- 11) установити високоефективне вуличне освітлення та у промисловості;
- 12) вимагати та застосовувати протоколи енергоменеджменту, сформувавши дієву СЕНМ;
- 13) вимагати мінімальні стандарти енергоефективності для промислового обладнання;
- 14) сприяти підвищенню енергоефективності для малих та середніх підприємств;
- 15) запровадити додаткову політику підтримки промислової енергетичної ефективності;
- 16) запустити інформаційні кампанії з енергозбереження;
- 17) запустити енергоефективне освітлення та програми заміни обладнання;
- 18) розглянути доцільність використання програми керування попитом.

Національні пріоритети розвитку

Для покращення економічної, екологічної та енергетичної ситуації у 2017 р. розроблена Енергетична стратегія України до 2035 р. У даному документі наведено основні стратегічні показники при

досягненні яких можливе покращення стану енергоефективності України. У табл. 7 наведені деякі з даних критеріїв [8].

Таблиця 7 Опис ключових показників енергоефективності

Опис ключового показника ефективності	2015	2020	2025	2030	2035
Підвищення енергоефективності					
Енергоємність ВВП, ЗППЕ у т н.є./тис. дол. ВВП (ПКС)	0,28	0,20	0,18	0,15	0,13
Витрати палива на обсяг спрямованої на енергоринок електроенергії, виробленої на ТЕС, г у.п./кВт·год	396	384	367	353	334
Питомі витрати при виробництві тепла котельнями, кг у.п./Гкал	165	160	155	150	145
Частка втрат в електромережах, %	>12%	10%	9%	8%	<7,5%
Частка втрат у тепломережах, %	>20%	<17%	<13%	<11%	<10%

Згідно з Енергетичною стратегією України до 2035 року як видно з табл. 7 планується зменшити рівень енергоємності України вдвічі та зменшити питомі витрати палива при виробництві теплової та електричної енергії. Для цього запропоновані напрями покращення енергоефективності [8]:

1. скорочення енергоспоживання домогосподарств, комерційного та комунального секторів на потреби опалення шляхом підвищення енергоефективності житлових і громадських будівель, а також підвищення енергоефективності опалювальних приладів;
2. повнота та прозорість обліку всіх форм енергії та енергоресурсів;
3. підвищення енергоефективності в секторі виробництва і трансформації енергії, насамперед у теплоелектроенергетиці та централізованому теплопостачанні шляхом оптимізації використання потужностей, технічної та технологічної модернізації;
4. скорочення витрат енергії у системах транспортування та розподілу електричної і теплової енергії шляхом технічної, технологічної модернізації та концептуального перегляду схем енергозабезпечення із врахуванням досягнень у сфері децентралізованого енергопостачання, зокрема за рахунок використання ВДЕ та керування енергоспоживанням;
5. оцінка потенціалу оптимізації системи центрального опалення шляхом переходу на індивідуальне опалення у регіонах та на об'єктах, де це є економічно доцільним;
6. впровадження на рівні держави, міст, бюджетних і адміністративних будівель та підприємств системи енергетичного менеджменту.
7. виховання свідомості енергозбереження у громадян, заохочення до використання побутових приладів та освітлення з високими показниками енергоефективності;

Ще одним дієвим кроком для покращення стану енергоефективності України є нарощування темпів використання ВДЕ та збільшення їх частки в загальному постачанні первинної енергії. В табл. 8 наведено основні цільові показники розвитку ВДЕ.

Таблиця 8 – Основні показники розвитку НВДЕ

Опис ключового показника ефективності	2015 рік	2020 рік	2025 рік	2030 рік	2035 рік
Безпека та екологія					
Частка ВДЕ (включно з гідрогенеруючими потужностями та термальною енергією) у ЗППЕ, %	4%	8%	12%	17%	25
Частка ВДЕ (включно з гідрогенеруючими потужностями) у генерації електроенергії, %	5%	7%	10%	>13%	>25%
Частка місцевих альтернативних видів палива в місцевих ПЕБ, % до загального споживання		10	15	18	20

Розвиток ВДЕ в Україні сприятиме не тільки зменшенні вартості енергетичних ресурсів, а й сприятиме диверсифікації джерел первинної енергії та зміцненню енергетичної безпеки країни. Задля досягнення стратегічних цілей у сфері ВДЕ наведено наступні заходи [5]:

- 1) проведення стабільної та прогнозованої політики щодо стимулювання будівництва СЕС та ВЕС;
- 2) проведення міжнародних комунікаційних кампаній для заохочення входу на ринок ВДЕ України міжнародних стратегічних та фінансових інвесторів;

3) збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії (стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом; інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні; сприяння створенню конкурентних ринків біомаси).

Згідно проекту Закону України «Про енергетичну ефективність» можна виділити кілька базових тверджень. Енергоефективні заходи – заходи, результатом реалізації яких є зниження витрат енергії на одиницю вироблених благ (результатів діяльності (функціонування), виробленої продукції (товарів, робіт, послуг) та енергії). Енергоефективні проекти – проекти, спрямовані на скорочення споживання енергії та підвищення рівня енергетичної ефективності;

Розроблений проект закону «Про енергетичну ефективність» направлений на регулювання відносин, які виникають у сфері забезпечення енергетичної ефективності, з метою досягнення національної мети з енергоефективності[13]. Він визначає, що метою державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності є створення правових, економічних та соціальних умов для підвищення рівня енергетичної ефективності юридичними та фізичними особами, фізичними особами-підприємцями, конкурентного та сталого економічного розвитку та скорочення викидів парникових газів. Державна політика у сфері забезпечення енергетичної ефективності є невід’ємною частиною державної енергетичної, економічної та екологічної політики.

Основними цілями та заходами реалізації державної політики в сфері забезпечення енергетичної ефективності є: усунення регуляторних та нерегуляторних бар’єрів здійснення енергоефективних заходів та реалізації енергоефективних проектів; зміцнення співробітництва між споживачами, виробниками, постачальниками енергії, виконавцями енергосервісу, державними органами та органами місцевого самоврядування з метою досягнення цілей та цільових показників в сфері забезпечення енергетичної ефективності; популяризація та використання високоефективних технологій, систем енергетичного менеджменту, систем моніторингу енергетичної ефективності; використання енергії з відновлюваних джерел споживачами енергії; законодавче впровадження фінансових та податкових механізмів стимулювання здійснення енергоефективних заходів; сприяння розвитку ринку енергосервісу.

Для покращення енергоефективності World Energy Council запропонувала наступні кроки для покращення ефективного використання енергетичних ресурсів, що наведені в табл. 9 [34]. Необхідно зазначити, що навіть при дотриманні лише наведених нижче восьми кроків можливі суттєві зрушення в кращу сторону.

Таблиця 9 – Кроки покращення енергоефективності

№ з/п	Назва кроку	Зміст / складові
1	Ціни на енергоносії, що відображають реальні витрати	Для того щоб дати правильні сигнали споживачам, субсидування цін на енергоносії повинні бути скорговані з урахуванням реальної вартості поставок енергії. Більш широка стратегія необхідна для забезпечення виконання цінових реформ через незалежний орган, що відповідає за ціноутворення.
2	Покращення інформування споживачів	Необхідно спростити повідомлення про заходи з підвищення енергоефективності та інтегрувати інформаційні канали з доступом більшості споживачів. Рекомендації населенню повинні бути спрощені шляхом створення мережі точок контакту і узгодження повідомлень за допомогою місцевих енергетичних інформаційних центрів. Підготовка професіоналів на основі керівних принципів, прикладів розрахунків, семінарів і практикумів, спрямованих на підвищення якості аудиту та керування енергоспоживанням.
3	Лічильники і рахунки	Розумні лічильники . адекватні та своєчасні рахунки мають значний потенціал економії енергії, оскільки їх використання сприяє підвищенню спроможності споживачів здійснювати моніторинг і контроль за використанням електроенергії, в кінцевому підсумку сприятиме зниженню енергоспоживання.
4	Інноваційні інструменти фінансування	Фінансові та податкові стимули необхідні для підтримки інвестицій. Щоб полегшити державне фінансування, приватні інвестиції в енергоефективність повинні сприяти підтримці розвитку проміжних третіх осіб (наприклад ЕСКО), відіграючи роль агрегатора і забезпечення заповнення розриву між проектами і бюджетом.

Продовженн таблиці 9

5	Контроль за виконанням	Політика та ефективність програми повинні бути оцінені під час, так і після реалізації.
6	Зміцнення і ширше регулювання	Для досягнення ефективності запропонованих дій, програми слід регулярно переглядати і оновлювати, як спосіб стимулювання технічного прогресу і забезпечення стійкого підвищення енергетичної ефективності. У нових країнах і країнах, що розвиваються, правила повинні найбільш широко застосовуватись, зокрема, і в енергетичному секторі та при передачі електроенергії.
7	Спостереження	Моніторинг досягнень і ефективності заходів необхідний для перевірки реального впливу політики у секторі енергоефективності. Інструменти моніторингу та оцінки включають в себе: розвиток збору даних кінцевого використання; розробка показників енергетичної ефективності; оцінка заходів, які працюють і не працюють; просування і використання стандартизованих процедур для вимірювання економії енергії; розвиток систем керування енергетикою; розвиток регулярного обов'язкового енергоаудиту.
8	Міжнародне співробітництво	Розвиток міжнародних або багатонаціональних стандартів може сприяти зміцненню міжнародного і регіонального співробітництва, в доповнення до регіонального тестування і узгодження галузей та сертифікації. Крім того, платформи з енергоефективності (наприклад, SE4ALL, BUILD UP і GBPN) повинні бути використані для обміну досвідом з метою еталонної політики і визначити кращі практики.

Висновки

Задля покращення економічного розвитку України мають бути здійснені суттєві зрушення у галузі енергозбереження, енергоефективності та відновлювальної енергетики. Це вимагає перегляду окремих положень державної політики у сфері енергоефективності та енергозабезпечення задля підвищення енергетичної безпеки країни.

Енергоефективність є ключовим фактором розвитку, оскільки підприємства України досі використовують застаріле неефективне обладнання, а технології виробництва не відповідають світовим нормам. Першочерговими галузями, де повинні відбутись зрушення, є житлово-комунальна сфера, сфера надання послуг та промисловість. Регіони з низьким рівнем енергоефективності потребують негайних зрушень.

Для покращення ситуації необхідно розробити ряд заходів, поступове впровадження яких допоможе Україні стати на шлях раціонального енерговикористання. Необхідно використати досвід передових країн світу у сфері енергозбереження, але використання даного досвіду можливе лише з врахуванням локальних особливостей України, враховуючи наявний стан технологій, доступ до енергетичних ресурсів, економічний розвиток та соціальні особливості. Кроки щодо покращення енергетичної ситуації сприятимуть не тільки покращенню енергетичної ситуації країни, а й відкриють можливості до співробітництва з іншими країнами.

Рівні підвищення ефективності ресурсозабезпечення та ресурсоспоживання мають виступати в якості орієнтирів формування державної політики енергоефективності в економіці України та її житлово-комунальному господарстві зокрема. В регіональному аспекті ці проблеми мають свою специфіку, що є враховано при формуванні як загальної, так і регіональної політики енергозбереження та енергоефективності.

Система управління забезпеченням енергоефективності функціонування регіональних промислових комплексів має не лише здійснювати збір і переробки інформації, але й передачу та зберігання, корегування тощо. Виявлення й систематизація функцій із управління можна здійснити, наприклад, методом послідовної декомпозиції, зокрема, за рахунок побудови «дерева цілей».

Розвиток відновлювальної енергетики в Україні може значно покращити економічний та енергетичний стан України, оскільки країні притаманні широкі можливості для впровадження різноманітних джерел відновлювальної енергетики. Вступ України до ЄС та участь в різноманітних міжнародних енергетичних об'єднаннях сприятиме прискоренню даного процесу. Подальше вирішення проблеми низького рівня енергоефективності України вимагає постійного контролю за виконанням поставлених завдань.

Список використаної літератури

1. Бараннік В.О. Енергоефективність регіонів України: проблеми оцінки та наявний стан. Інститут стратегічних досліджень, серпень 2017 [Електронний ресурс]: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5secc.pdf>
2. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2013. – №2. – С. 7–22.
3. Денисюк С.П., Таргонський В.А. Сталий розвиток енергетики України у світових вимірах // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2017. – №3. – С. .
4. Державна служба статистики України. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://ukrstat.org>
5. Директива 2012/27/EU Європейського Парламенту та Ради від 25 жовтня 2012 р. Про енергоефективність [Електронний ресурс] http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc
6. Додонов Б. Моніторинг енергоефективності України 2016. – К.: Центр «Нова соціальна і економічна політика», 2016. – 20 с.
7. Додонов Б. Рейтинг енергоефективності теплозабезпечення 2016. – К.: Центр «Нова соціальна і економічна політика», 2016. – 22 с.
8. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Міністерство енергетики та вугільної промисловості [Електронний ресурс] <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245239554>
9. Енергетичний баланс України за 2014 рік [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/energ/en_bal/Bal_2015_u.zip
10. Енергетичний баланс України за 2015 рік [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2015/energ/en_bal/Bal_2014_u.zip
11. Енергетичний баланс України за 2016 рік [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/energ/en_bal/Bal_2016_u.zip
12. Завгородня С.П. Фактори виникнення енергетичної бідності та пріоритетні напрями її подолання. – К.: Інститут стратегічних досліджень, жовтень 2017 р. [Електронний ресурс] http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energet_bidnist-66a29.pdf Показатели энергоэффективности: основы статистики. – OECD/IEA, 2014. – 406 p.
13. Закон України від 22 червня 2017 року № 2118-VIII "Про енергетичну ефективність будівель" [Електронний ресурс]. <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
14. Майсснер Ф., Науменко Д., Радеке Й. Підвищення енергоефективності в Україні: зменшення регулювання та стимулювання енергозбереження. Серія консультативних робіт [PP/01/2012]. – Берлін/Київ: Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2012. – 30 с.
15. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/>
16. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. – OECD/IEA, 2014. – 406 p.
17. Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. – Нью-Йорк и Женева: UNECE, 2015. – 102 с.
18. Пріоритети політики енергоефективності України IEA, 2015. – 10 с.
19. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Буцьо З.Ю. Національні пріоритети енергоефективності 2010. – К.: Текст, 2010. – 580 с.
20. Углубленный обзор политики и программ Украины в области энергоэффективности. – Брюссель: Секретариат Энергетической Хартии, 2013. – 144 с.
21. Управление энергоэффективностью. Справочное руководство. – OECD/IEA, 2011. – 70 с.
22. Энергетическая политика стран вне МЭА. Восточная Европа, Кавказ и Центральная Азия. Основные положения. – OECD/IEA, 2014. – 45 с.
23. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. – 22.1.2014 COM(2014), 15 final Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions.
24. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. – OECD/IEA, 2014. – 232 p.
25. Clean Energy For All Europeans. – European Commission Brussels, 30.11.2016 COM(2016) 860.
26. Denysiuk S. Green Industrial Development in Ukraine / S. Denysiuk, L. Galperina // *Industrial Policy and Sustainable Growth*. Editors: Murat Yülek. – Springer. – 26 p. ISBN: 978-981-10-3964-5 (Print), 978-981-10-3964-5 (Online).
27. Enerdata. Yearbook 2017 [Електронний ресурс]. <https://yearbook.enerdata.net>
28. Energy Efficiency and Renewable Energy DOE/EE-1479. – U.S. Department of Energy, September 2016 [Електронний ресурс]: <http://energy.gov/eere>

29. Energy Efficiency: A straight path towards energy sustainability. – World Energy Council, 2016. [Електронний ресурс] https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/Exec-Summary_EnergyEfficiency-A-straight-path-towards-energy-sustainability.pdf
30. Energy Efficiency 2017. – OECD/IEA, 2017. – 142 p.
- 31 Innovation for Cool Earth Forum 2017, Michael Liebreich, Driving innovation for Net-Zero Emissions, October 4, 2017 [Електронний ресурс]: https://www.icef-forum.org/annual_2017/outcomes/pdf/icef2017-report.pdf
32. Liebreich M. Driving innovation for Net-Zero Emissions // Innovation for Cool Earth Forum 2017, October 4, 2017 [Електронний ресурс]: https://www.icef-forum.org/annual_2017/outcomes/pdf/icef2017-report.pdf Tracking Clean Energy. Progress 2017. Energy Technology Perspectives 2017. – OECD/IEA, 2017. – 116 p.
33. Energy Efficiency Policy. Recommendations. – OECD/IEA, 2011. – 12 p.
34. Renewable energy in Europe 2017, Recent growth and knock-on. – EEA Report No 3/2017 [Електронний ресурс] <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2017>
- 35 World Energy Council. Energy Efficiency: A straight path towards energy sustainability. November 2016. [Електронний ресурс] https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/Exec-Summary_EnergyEfficiency-A-straight-path-towards-energy-sustainability.pdf
36. World Energy Forum. Global Energy Architecture Performance Index Report 2017 [Text]
37. World Energy Outlook-2017. – International Energy Agency, 2017 [Електронний ресурс]: <https://www.iea.org/Textbase/npsum/weo2017SUM.pdf>

S. Denysiuk, Dr. Sc. Sciences., Prof. **ORCID** 0000-0002-6299-3680

V. Tarhonskyi, Msc. **ORCID** 0000-0003-3801-8284

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

ENERGY EFFICIENCY OF UKRAINE: PROBLEMS AND WAYS OF ITS GROWTH

The article defines the main tendencies of the development of world energy and the large-scale changes that have taken place in recent years in the energy sector. The experience of the advanced countries of the world and energy unions for the development of measures to improve the state of energy efficiency is considered.

The state of Ukraine's energy efficiency, in particular the dynamics of changes in the energy intensity of GDP of Ukraine is determined, the level of energy intensity with other countries is given, the characteristics of energy efficiency of the regions of Ukraine and the characteristic of consumption of the main energy resources are given. A comparison of the energy status of Ukraine according to the Energy Trilmes Index is made. The reasons for reducing the energy intensity of Ukraine's GDP are given. The monitoring of energy efficiency of the economic sectors and regions of Ukraine is monitored.

Considered the guidelines for the development of the energy sector in accordance with the Energy Strategy of the country for the period up to 2035. Measures to improve energy efficiency are described. The steps to improve the situation described in the European Union Energy Efficiency Directive are presented. The experience of the leading countries of the world regarding the development of the integration of renewable energy sources into the energy system of Ukraine is analyzed.

Taking into account the experience of the most advanced countries of the world, recommendations were made to improve Ukraine's energy efficiency through the use of non-traditional renewable energy sources, reforms in the fields of energy utilization and development of the energy management system.

Key words: energy efficiency, energy management, GDP, energy consumption, consumption and production of energy, energy strategy.

References

1. Barannik V.O. Energoefektivnist regioniv Ukrayini: problemi otsynki ta nayavniy stan. Institut strategychnih doslidzhen, serpen 2017 [Electronic resource]: – Rezhim dostupu: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5cecc.pdf>
2. Denisyuk S.P. Formuvannya pollitiki pldvischennya energetichnoyi efektyvnosti – suchasni vikliki ta Evropeyski orientiri // Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya. – 2013. – #2. – S. 7–22.
3. Denisyuk S.P., Targonskiy V.A. Staliy rozvitok energetiki Ukrayini u svitovih vimirah. Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya. – 2017. – #3. – S.7–31.

4. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. [Electronic resource]: Rezhim dostupu: <https://ukrstat.org>
5. Direktiva 2012/27EU Evropeyskogo Parlamentu ta Radi vid 25 zhovtnya 2012 r. Pro energoefektivnist [Electronic resource]: – Rezhim dostupu http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc
6. Dodonov B. Monitoring energoefektivnosti Ukraini 2016. – K.: Tsentр «Nova sotsialna i ekonomichna politika», 2016. – 20 s.
7. Dodonov B. Reyting energoefektivnosti teplozabezpechennya 2016. – K.: Tsentр «Nova sotsialna i ekonomichna politika», 2016. – 22 s.
8. Energetichna strategiya Ukraini na period do 2035 roku. Ministerstvo energetiki ta vugilnoyi promislivosti [Electronic resource]: – Rezhim dostupu: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245239554>
9. Energetichniy balans Ukraini za 2014 rik [Electronic resource] / Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/energ/en_bal/Bal_2015_u.zip
10. Energetichniy balans Ukraini za 2015 rik [Electronic resource] / Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini.: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2015/energ/en_bal/Bal_2014_u.zip
11. Energetichniy balans Ukraini za 2016 rk [Electronic resource] / Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/energ/en_bal/Bal_2016_u.zip
12. Zavgorodnya S.P. Faktori viniknennya energetichnoyi bidnosti ta prioritetni napryami yiyi podolannya. – K.: Institut strategichnih doslidzhen, zhovten 2017 r. [Electronic resource] http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energet_bidnist-66a29.pdf
13. Zakon Ukraini vid 22 chervnya 2017 roku # 2118-VIII "Pro energetichnu efektyvnu budivlu" [Electronic resource]: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
14. Maysner F., Naumenko D., Radeke Y. Pidvischennya energoefektivnosti v Ukraini: zmeshennya reguluyuvannya ta stimulyuvannya energozberezheniya. Seriya konsultativnih robit [PP/01/2012]. – Berlin/Kiyiv: Institut ekonomichnih doslidzhen ta poltichnih konsultatsiy, 2012. – 30 s.
15. Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnitstva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukraini. [Electronic resource]: Rezhim dostupu: <http://www.minregion.gov.ua/>
16. Pokazateli energoeffektivnosti: osnovyi formirovaniya politiki. – OECD/IEA, 2014. – 406 p.
17. Politika povyisheniya energoeffektivnosti: peredovoy opyt. – Nyu-York i Zheneva: UNECE, 2015. – 102 s.
18. Prioriteti politiki energoefektivnosti Ukraini IEA, 2015. – 10 s.
19. Stogniy B.S., Kirilenko O.V., Prahovnik A.V., Denisyuk S.P., Butso Z.Yu. Natsionalni prioriteti energoefektivnosti 2010. – K.: Tekst, 2010. – 580 s.
20. Uglublennyiy obzor politiki i programm Ukraini v oblasti energoeffektivnosti. – Bryussel: Sekretariat Energeticheskoy Hartii, 2013. – 144 s.
21. Upravlenie energoeffektivnostyu. Spravochnoe rukovodstvo. – OECD/IEA, 2011. – 70 s.
22. Energeticheskaya politika stran vne MEA. Vostochnaya Evropa, Kavkaz i Tsentralnaya Aziya. Osnovnyie polozheniya. – OECD/IEA, 2014. – 45 s.
23. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. – 22.1.2014 COM(2014), 15 final Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions.
24. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. – OECD/IEA, 2014. – 232 p.
25. Clean Energy For All Europeans. – European Commission Brussels, 30.11.2016 COM(2016) 860.
26. Denysiuk S. Green Industrial Development in Ukraine / S. Denysiuk, L. Galperina // Industrial Policy and Sustainable Growth. Editors: Murat Yülek. – Springer. – 26 p. ISBN: 978-981-10-3964-5 (Print), 978-981-10-3964-5 (Online).
27. Enerdata. Yearbook 2017 [Electronic resource]. <https://yearbook.enerdata.net>
28. Energy Efficiency and Renewable Energy DOE/EE-1479. – U.S. Department of Energy, September 2016 [Electronic resource]: <http://energy.gov/eere>
29. Energy Efficiency: A straight path towards energy sustainability. – World Energy Council, 2016. [Electronic resource] https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/Exec-Summary_EnergyEfficiency-A-straight-path-towards-energy-sustainability.pdf
30. Energy Efficiency 2017. – OECD/IEA, 2017. – 142 p.
31. Innovation for Cool Earth Forum 2017, Michael Liebreich, Driving innovation for Net-Zero Emissions, October 4, 2017 [Electronic resource]: https://www.icef-forum.org/annual_2017/outcomes/pdf/icef2017-report.pdf
32. Liebreich M. Driving innovation for Net-Zero Emissions // Innovation for Cool Earth Forum 2017, October 4, 2017 [Electronic resource]: https://www.icef-forum.org/annual_2017/outcomes/pdf/icef2017-report.pdf Tracking Clean Energy. Progress 2017. Energy Technology Perspectives 2017. – OECD/IEA, 2017. – 116 p.
33. Energy Efficiency Policy. Recommendations. – OECD/IEA, 2011. – 12 p.

34. Renewable energy in Europe 2017, Recent growth and knock-on. – EEA Report No 3/2017 [Electronic resource] <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2017>

35 World Energy Council. Energy Efficiency: A straight path towards energy sustainability. November 2016. [Electronic resource] https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/Exec-Summary_EnergyEfficiency-A-straight-path-towards-energy-sustainability.pdf

36. World Energy Forum. Global Energy Architecture Performance Index Report 2017 [Text]

37. World Energy Outlook-2017. – International Energy Agency, 2017 [Electronic resource]: <https://www.iea.org/Textbase/npsum/weo2017SUM.pdf>

Надійшла 15.12.2017

Received 15.12.2017

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.316

О.В. Коцар, канд. техн. наук, доц.

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

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Забезпечення точного і достовірного обліку на всіх ділянках виробництва, передачі і використання електроенергії є невід'ємною умовою успішного запровадження та ефективного функціонування лібералізованих ринків електричної енергії. В статті досліджено формування інформаційного забезпечення функціонування ринку електричної енергії України. Розглянуто етапи побудови АСКОЕ на оптовому і роздрібному ринках електричної енергії України, зокрема, АСКОЕ ОРЕ, ІОК Головного оператора, АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів електропередавальних компаній – ПРТ. Доведено, що для успішного запровадження та ефективного функціонування лібералізованого ринку електричної енергії України необхідно забезпечити інтегрування всіх складових до єдиної повномасштабної розподіленої АСКОЕ ринку електричної енергії, яка функціонує за принципами відкритої архітектури і єдиного нормативного забезпечення, надійно реалізує одночасні і точні вимірювання та облік електроенергії у всіх точках ринку, формує повні, достовірні та актуальні дані комерційного обліку і забезпечує надання даних обліку, зокрема – первинних, всім заінтересованим суб'єктам лібералізованого ринку електричної енергії, який об'єднує електроенергетичні компанії і кінцевих споживачів заради досягнення стратегічної мети – підвищення ефективності енерговикористання і скорочення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: АСКОЕ, вимірювання, Головний оператор, дані комерційного обліку, електроенергія, облік, ОРЕ, лібералізація, ринок електричної енергії.

Вступ

Одним з найважливіших напрямів і невід'ємних умов розвитку сучасної електроенергетики в рамках концепції Smart Grid, поряд з удосконаленням інфраструктури та інтеграцією до електричної мережі інформаційних технологій, є модернізація бізнес-процесів. Останнє покликано, зокрема, позбутися монополізації галузі, зробити її рентабельною та енергоефективною. Саме в цьому аспекті слід досліджувати результати функціонування та розвитку світових ринків електричної енергії, зокрема – ринку електричної енергії України.

Власне початком практичного реформування електроенергетики України можна вважати Указ Президента України «Про структурну перебудову в електроенергетичному комплексі України» [1], яким, зокрема, Міністерству енергетики та електрифікації України в рамках заходів щодо ринкових перетворень у галузі енергетики доручалося створити державне підприємство (ДП) «Енергоринок»; державну електричну компанію на базі електромереж напругою 220 кВ і вище, з їх інфраструктурою, міждержавними лініями та іншими об'єктами і підприємствами, що входять до сфери управління міністерства; державні енергогенерувальні та енергопостачальні компанії – майбутніх суб'єктів оптового ринку електричної енергії України.

Наступний важливий крок у реформуванні електроенергетики України пов'язаний з Постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) «Про забезпечення роботи оптового ринку електричної енергії України» [2], якою, зокрема, доручалося в 1996 році вжити заходів щодо поступового приведення діючих оптових цін на електроенергію у відповідність із фактичними витратами на її виробництво, а також щодо поетапного розширення кола учасників ринку електричної енергії за рахунок входження в нього інших суб'єктів підприємницької діяльності, що займаються виробництвом, передаванням та постачанням електричної енергії. На виконання [2] в березні того ж року з представників виробників та постачальників електроенергії було створено Тимчасову Раду, яка розпочала роботу над розробленням договору учасників ринку електричної енергії, а з 12 квітня 1996 року оптовий ринок електричної енергії України почав функціонувати в експериментальному режимі [3].

На загальних зборах виробників електроенергії, постачальників за регульованим тарифом (ПРТ), постачальників за нерегульованим тарифом (ПНТ) та оптового постачальника – Національного диспетчерського центру (НДЦ) України (в подальшому – ДП «Національна енергетична компанія (НЕК) «Укренерго»), які відбулися 15 листопада 1996 року, фактично було засновано Оптовий ринок електричної

енергії України (ОРЕ) – єдине в межах держави об'єднання суб'єктів підприємницької діяльності, що працюють на договірних засадах на підставі відповідних ліцензій Національної комісії з питань регулювання електроенергетики (НКРЕ) з виробництва, передавання та постачання електроенергії [3, 4]. 55 ліцензіатів НКРЕ стали першими членами ОРЕ України та підписали Договір між членами ОРЕ (ДЧОРЕ) – багатосторонню угоду, яка регулює відносини в ОРЕ, визначає базові економічні і фінансові засади та механізми його функціонування [5, 6].

Процес становлення ОРЕ України було закріплено Законом України (ЗУ) «Про електроенергетику», яким визначено правові, економічні та організаційні засади діяльності в електроенергетиці і регулюються відносини, пов'язані з виробництвом, передаванням, розподілом, постачанням і використанням енергії, забезпеченням енергетичної безпеки України, конкуренцією та захистом прав споживачів і працівників галузі [7]. Прийняття зазначеного закону дало змогу поступово вивести електроенергетику України з кризового стану і забезпечити поступовий і неухильний розвиток ОРЕ України [3].

Мета і завдання досліджень

Метою досліджень є визначення базових умов формування інформаційного забезпечення ефективного функціонування і розвитку ринку електричної енергії України.

Для досягнення поставленої мети в статті досліджено основні етапи формування інформаційного забезпечення функціонування ринку електричної енергії України, виконано аналіз результатів та сформульовано напрями вдосконалення інформаційного забезпечення з метою підвищення ефективності функціонування і розвитку ринку електричної енергії України в умовах його лібералізації.

Матеріал досліджень

Невід'ємною умовою успішного запровадження та ефективного функціонування ринку електричної енергії України є забезпечення достовірного обліку електроенергії на всіх ділянках і рівнях її виробництва, передачі, розподілу і споживання відповідно до правил ринку. Одним з найважливіших напрямів реалізації цього положення на етапі запровадження ОРЕ України стало виконання робіт з розроблення Концепції використання інформаційно-виміральної техніки для обліку електричної енергії в умовах функціонування енергоринку в Україні [9, 10], які проводилися робочою групою під керівництвом директора Інституту енергозбереження та енергоменеджменту (ІЕЕ) Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») доктора технічних наук, професора Артура Веніаміновича Праховника.

Вибір провідної установи – ІЕЕ НТУУ «КПІ» – для проведення цих робіт не є випадковим. Проблемами автоматизації обліку електроенергії в Радянському Союзі одними з перших почали займатися фахівці Київського політехнічного інституту. Група молодих науковців, очолювана А.В.Праховником, під керівництвом завідуючого кафедрою електропостачання професора Василя Миколайовича Винославського ще наприкінці 60-х років минулого століття започаткувала розробки в галузі енергозбереження та управління електроспоживанням з використанням локальних пристроїв, на базі яких в подальшому почали створювати перші автоматизовані системи обліку електроенергії (АСОЕ). Саме науковцями КПІ було доведено, що головною метою створення АСОЕ є ефективне використання електричної потужності (електроенергії) через формування інформаційного забезпечення завдань управління режимами електроспоживання споживачів, і закладено методологічний базис застосування АСОЕ для управління енерговикористанням [11]. Згодом АСОЕ дістали подальшого розвитку і стали підкласом більш широкого класу автоматизованих систем контролю, обліку та управління енерговикористанням (АСКОЕ). Термін АСКОЕ також часто застосовується у більш вузькому сенсі – автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії [12]. З тих пір КПІ обґрунтовано і беззаперечно вважається провідною навчальною й науковою установою СРСР, а згодом і незалежної України, в сфері енергоефективності, енергозбереження, автоматизації обліку електроенергії та управління енерговикористанням. До речі, саме в ІЕЕ НТУУ «КПІ» в 1997 році вперше в Україні було розпочато підготовку, а згодом і перепідготовку фахівців за новою спеціальністю – «Енергетичний менеджмент».

За результатами виконаних досліджень в ІЕЕ НТУУ «КПІ» в 1997 році було розроблено Концепцію побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку. В 2000 році вийшла в світ друга редакція зазначеної Концепції, яку було затверджено спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду, Держпромполітики [13]. З тих пір «Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку» залишається майже єдиним чинним цілісним нормативним документом¹ (НД), який визначає концептуальні положення побудови АСОЕ в умовах функціонування ринку електричної енергії України та містить базові технічні

¹ Зазвичай концепція не є нормативним документом, оскільки містить лише загальний погляд на досліджувану проблему. Але «Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку» містить розгорнуті технічні вимоги до АСОЕ і через те обґрунтовано вважається нормативним документом.

вимоги до автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії на об'єктах енергетики, промисловості, побуту та сфери послуг. Звичайно, з плином часу Концепція [13] вимагає суттєвого перероблення, а деякі її положення втратили актуальність і мають бути переглянуті та розвинуті [14]. Але вплив прийняття і застосування основних положень та базових вимог зазначеної Концепції для побудови АСКОЕ з функціями інтервального (погодинного) обліку електроенергії на етапі становлення ринку електричної енергії України і забезпечення переходу до тарифів реального часу важко переоцінити.

Ефективність застосування тарифів реального часу значною мірою залежить від дотримання певних умов, найважливішими серед яких є наступні [13]:

- в енергоринку функціонує автоматизована система управління реального часу (в мінімальному варіанті повинна діяти розподільча в просторі енергоринку автоматизована система комерційного обліку і контролю виробництва, постачання і споживання електричної енергії, що функціонує в реальному часі);
- автоматизовано взаєморозрахунки між учасниками енергоринку.

Для виконання зазначених умов у Концепції [13] було визначено сукупність вимог до організації комерційного обліку, формування і використання інформації, що регламентують права та обов'язки учасників комерційного обліку. Вперше було комплексно сформульовано вимоги щодо точності, достовірності та одночасності представлення вимірювальної інформації з метою формування якісного і достовірного балансу виробництва, передачі, розподілу і споживання електричної потужності та електроенергії в межах держави, а також показників якості електроенергії в розрахункових точках обліку, на базі технічних засобів, які повинні забезпечити можливість виконання цілісною системою функції електроспоживання, зокрема, управління режимами режимних заходів за фактами порушення споживачами електроенергії договірних зобов'язань, а також фіксацію фактів режимних заходів, що можуть привести до матеріальних збитків споживачів (покупців). Застосування положень, викладених в [13], забезпечило підвищення ефективності обліку електричної енергії та сприяло впорядкованості функціонування ринку електричної енергії України, особливо на перших етапах його становлення.

За [13] АСКОЕ в умовах енергоринку України має п'ятирівневу структуру (рис.1). Виділяють рівень вимірювальних комплексів – трансформатори напруги (ТН), трансформатори струму (ТС), лічильники електроенергії (ЛЧ) з інтегрованими пристроями перетворення (ПП), з'єднані між собою вторинними вимірювальними колами за встановленими схемами для вимірювання та обліку електроенергії в точках вимірювання (обліку) [15]; рівень об'єктів обліку – генерувальні компанії (ГК), промислові підприємства (ПП), побут та сфера послуг; рівень локального устаткування обліку (ЛУО) – ГК, райони електромереж (РЕМ), ПП; рівень регіонального устаткування збирання даних (РУЗД) – електроенергетичні системи (ЕС), обласні електропередавальні компанії – ПРТ, ПНТ і рівень центрального устаткування збирання даних (ЦУЗД) – Головний оператор (ДП «Енергоринок»), ДП «НЕК «Укренерго», національний Регулятор – НКРЕ [14].

В 1998 році було затверджено Інструкцію про порядок комерційного обліку електроенергії (ІКО) – додаток 10 до ДЧОРЕ [15], до якої увійшли базові положення Концепції [13]. Зокрема, було зроблено перехід від встановлення вимог щодо класів точності засобів обліку електроенергії до нормування допустимої результуючої похибки вимірювань електроенергії залежно від електричної потужності об'єктів обліку [13, 15].

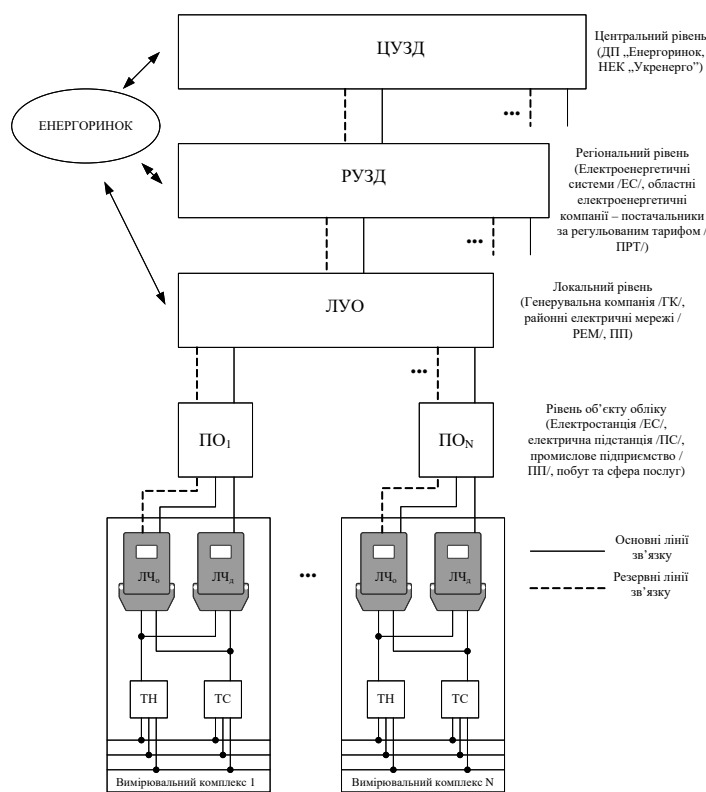


Рисунок 1. Основні принципи організації збору та обробки даних комерційного обліку в АСКОЕ в умовах енергоринку України

З метою аналізу стану ОРЕ України, опрацювання позитивного досвіду та проблем, що заважають його ефективному функціонуванню, визначення мети і напрямів подальшого розвитку ОРЕ та принципів його функціонування, а також розроблення заходів з реалізації завдань, спрямованих на вдосконалення функціонування та розвитку ОРЕ, розпорядженням КМУ [16] було утворено Міжвідомчу комісію з підготовки Концепції функціонування та розвитку ринку електричної енергії України. Підготовлену міжвідомчою групою Концепцію [17] було презентовано на науково-практичній конференції, яка відбулася в м. Києві 25 липня 2002 року, і схвалено постановою КМУ від 16.11.2002 р. №1789 [18].

Концепцією [17] визначалося, що за короткий період функціонування ОРЕ в умовах вкрай важкої економічної ситуації в державі було закладено основу запровадження ринкових відносин в електроенергетиці та набуто значного досвіду. Зокрема, створено підґрунтя для запровадження конкурентного середовища шляхом розподілу видів діяльності в електроенергетиці (виробництво, передача, постачання); забезпечено функціонування збалансованого за потужністю погодинного ринку; створено умови для рівноправного доступу суб'єктів господарювання до ОРЕ; забезпечено формування єдиної усередненої оптової ціни на електричну енергію; закладено систему саморегулювання ОРЕ тощо.

Серед проблем, що заважали ефективному функціонуванню ОРЕ України на той момент, було визначено недосконалість систем комерційного обліку електроенергії, зокрема – недостатню точність приладів обліку, відсутність у достатній кількості таких приладів з функцією погодинного обліку електроенергії та недосконалість систем передавання даних вимірювань. Це призводило до зростання понаднормативних втрат електроенергії, неможливості проведення точних та своєчасних погодинних розрахунків за електроенергію і, як наслідок, до виникнення суперечок між суб'єктами ОРЕ [17].

З метою удосконалення системи взаємовідносин в ОРЕ України Концепцією [17], серед іншого, було передбачено поступовий перехід від діючої моделі «єдиного покупця» шляхом її подальшої лібералізації до перспективної моделі повномасштабного конкурентного ринку, який передбачав:

- ринок прямих товарних поставок електричної енергії, що функціонує на основі двосторонніх договорів купівлі-продажу електричної енергії між виробниками електричної енергії та постачальниками і споживачами (такі договори могли б укладатися як на біржі, так і на позабіржовому ринку);

- балансуючий ринок електричної енергії;
- ринок фінансових контрактів;
- ринок допоміжних послуг.

Передбачалося, що перехід від поточної моделі ОРЕ до перспективної мав відбуватися шляхом поступового запровадження системи двосторонніх договорів на купівлю електричної енергії між кінцевим споживачем для власних потреб і виробником та між постачальником і виробником. Під контролем НКРЕ на цьому етапі мали поступово запроваджуватися елементи балансуючого ринку та розвиватися паралельно з діючим спотовим ринком ринок двосторонніх договорів. Для здійснення діяльності на ринку суб'єктами ОРЕ необхідно було передбачити створення систем диференційованого комерційного обліку та обміну даними [17].

Передумовою переходу до повномасштабного ринку двосторонніх договорів і балансуючого ринку (РДДБР) Концепцією [17], серед іншого, регламентовано впровадження автоматизованих вимірювальних систем обліку та обміну даними, які відповідають міжнародним стандартам. Для ефективного функціонування ОРЕ необхідна організація на рівні кожного його суб'єкта точного і надійного погодинного обліку електричної енергії та потужності з наявністю даних про виробництво, транспортування, постачання та споживання електричної енергії на базі сучасних інтегрованих автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, які об'єднано в єдину оперативну інформаційно-обчислювальну мережу (в подальшому – АСКОЕ ОРЕ).

АСКОЕ ОРЕ має бути розподіленою багаторівневою системою вимірювання, оброблення, зберігання та передавання даних комерційного обліку і будуватися за принципами відкритості архітектури і розподіленого функціонування, яка може бути складовою єдиної системи забезпечення роботи ОРЕ щодо збору і передачі інформації. Для побудови АСКОЕ ОРЕ необхідно [17]:

- приведення чинних НД, що регламентують вимоги до методів і засобів вимірювальної техніки для обліку електричної енергії, у відповідність до міжнародних та державних стандартів;
- розробка Правил взаємодії між суб'єктами ОРЕ в частині збору, передачі та обробки даних для визначення обсягу виробленої, переданої та спожитої електроенергії;
- розробка методик з визначення та віднесення втрат електричної енергії між суміжними за територіальною ознакою суб'єктами ОРЕ;
- внесення змін до будівельних норм і правил, а також проектних рішень щодо встановлення систем обліку електричної енергії;

- створення сучасної сертифікаційної і метрологічної бази як на етапі виробництва лічильників, систем обліку електричної енергії, трансформаторів струму та трансформаторів напруги, так і в процесі їх експлуатації, ремонту та обслуговування;
- розробка та виготовлення автоматизованого еталонного обладнання для проведення перевірки лічильників електроенергії;
- розробка нормативних документів з питань встановлення технічних вимог до організації комерційного обліку у споживачів.

Впровадження АСКОЕ ОРЕ мало здійснюватися послідовно. Кожний суб'єкт ОРЕ мав будувати АСКОЕ самостійно, але на підставі технічного завдання (ТЗ), погодженого з Головним оператором Системи комерційного обліку ОРЕ. Якщо суб'єкт ОРЕ мав спільні точки обліку перетоків електроенергії з суміжними з ним за територіальною ознакою суб'єктами ОРЕ, ТЗ мало бути погоджено з цими суб'єктами в межах спільних точок обліку. При цьому обов'язковим для виконання було використання уніфікованих протоколів міжсерверного обміну даними щодо купівлі-продажу електричної енергії.

Під час побудови АСКОЕ ОРЕ повинно було бути визначено сукупність вимог щодо організації комерційного обліку, формування і використання інформації. Крім того, потрібно було реалізувати процес об'єднання в єдину оперативну інформаційно-обчислювальну мережу самостійно функціонуючих в єдиному часі АСКОЕ суб'єктів ОРЕ шляхом постійного обміну інформацією між ними з встановленою періодичністю [17].

В середньостроковій перспективі (другий етап розвитку ОРЕ України) Концепцією [17] було передбачено запровадження автоматизованої системи обліку та розробку протоколів обміну даними, поступове застосування обладнання для погодинного обліку. Вимогу щодо наявності відповідної системи обліку у всіх учасників двосторонніх контрактів – виробників, передавальних та розподільних компаній, постачальників та споживачів – разом із наявністю системи зв'язку та обміну інформацією для розподілу обсягів навантаження та виставлення рахунків учасникам ринку, програмного забезпечення, що відповідає вимогам правил балансуючого ринку Концепцією [17] було визначено, як невід'ємну умову переходу до третього етапу розвитку ринку електричної енергії України – РДЦБР. Концепцією [17] передбачалося, що впровадження системи комерційного обліку та обміну даними, а також підвищення відповідальності за несанкціоноване споживання електричної енергії забезпечить зменшення втрат в електричних мережах і позитивно вплине на формування роздрібних тарифів на електричну енергію.

На виконання положень Концепції [17] щодо впровадження АСКОЕ суб'єктів ОРЕ було створено робочу групу з питань розроблення та затвердження програми послідовного впровадження Автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії та інформаційно-аналітичних технологій системи функціонування ОРЕ України [19], до складу якої увійшли фахівці ДП «Енергоринок» – Головного оператора Системи комерційного обліку ОРЕ України, НКРЕ, Мінпаливенерго, ДП «НЕК «Укренерго», інших суб'єктів ОРЕ, а також представники наукових установ України.

Положення про Головного оператора Системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України [20] затверджено в 2001 році. Головний оператор Системи комерційного обліку енергоринку (в подальшому – Головний оператор) – сторона, яка відповідає за функціонування Системи комерційного обліку Енергоринку, веде Реєстр Систем комерційного обліку та контролює порядок збору, обробки та видачі даних Системи комерційного обліку енергоринку відповідно до [20]. Основними цілями функціонування Головного оператора є:

- забезпечення погодинного комерційного обліку електроенергії відповідно до правил ОРЕ;
- підвищення точності, достовірності та оперативності одержання даних обліку щодо виробленої, переданої та відпущеної в мережі енергопостачальних компаній електроенергії та потужності;
- автоматизація збору, обробки та передачі даних засобів комерційного обліку;
- підвищення оперативності управління режимами виробництва, передачі та відпуску електроенергії, а також вдосконалення розрахунків за неї;
- формування оптимальних економічних відносин виробників електроенергії (потужності), енергопостачальних компаній та споживачів електроенергії (потужності) на засадах державного регулювання та конкуренції.

На основі [20] розроблялися положення про Операторів АСКОЕ, якими, зокрема, визначалися взаємовідносини із суміжними за територіальною ознакою Операторами АСКОЕ та Головним оператором.

Відповідно до [20] Оператором АСКОЕ є власник АСКОЕ або уповноважена ним сторона, на ім'я якої зареєстрована АСКОЕ у Головного оператора, і яка несе відповідальність за її функціонування. Основні дискусії під час прийняття Положення про Головного оператора Системи комерційного обліку ОПЕ розгорнулися навколо визначення Оператора АСКОЕ. Власником АСКОЕ є суб'єкт підприємницької діяльності з виробництва, передачі або постачання електроенергії, який одержав відповідну ліцензію НКРЕ та підписав ДЧОРЕ і має на своєму балансі АСКОЕ. Підписуючи ДЧОРЕ власник АСКОЕ тим самим бере на себе відповідальність перед іншими Членами ОПЕ та Головним оператором щодо забезпечення належного функціонування АСКОЕ. Власник АСКОЕ може уповноважити іншу сторону виконувати обов'язки щодо технічного забезпечення функціонування АСКОЕ, але відповідальність при цьому залишається на стороні ДЧОРЕ – власнику АСКОЕ.

В 2002 році було затверджено Структурну схему побудови АСКОЕ Оптового ринку України та обміну даними комерційного обліку між суб'єктами Оптового ринку і Головним оператором (рис.2) [21], а також розроблено та затверджено Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.І. Система збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електричної енергії в Оптовому ринку [22], якими визначено технічні вимоги в цілому, зокрема, до функціональних можливостей, АСКОЕ ОПЕ України, АСКОЕ Головного оператора та АСКОЕ суб'єктів ОПЕ. Найважливішим можна вважати те, що [22] містить вимоги щодо забезпечення синхронності вимірювань і верифікації даних вимірювань. Зокрема, відповідно до [22]:

- для забезпечення синхронності вимірювань у відповідності з вимогами Концепції побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії в умовах енергоринку [13] у всіх точках купівлі/продажу електричної енергії Оптового ринку Головним оператором повинна бути створена атестована по метрології, доступна всім суб'єктам Оптового ринку система еталонного часу;
- з метою узгодження звітних величин сальдо перетікань між суміжними суб'єктами Оптового ринку Головним оператором повинна бути розроблена, затверджена і передана суб'єктам Оптового ринку процедура верифікації даних вимірювань у відповідності з вимогами Концепції побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії в умовах енергоринку [13].

В подальшому загальні технічні вимоги буде розвинуто і конкретизовано в інших НД ОПЕ.

В 2003 році робочою групою було розроблено Програму послідовного впровадження АСКОЕ ОПЕ України [23]. Програмою було передбачено розробку та затвердження технічних вимог до АСКОЕ ОПЕ, що фактично містилися в [22], створення і впровадження в постійну (промислову) експлуатацію АСКОЕ Головного оператора (центральный рівень [13, 21]), зокрема, в частині організації зв'язку з АСКОЕ суб'єктів ОПЕ, побудову АСКОЕ суб'єктів ОПЕ (регіональний і локальний рівні [13, 21]), вступ Головного оператора до Асоціації користувачів DLMS-COSEM [24], вдосконалення чинних НД, зокрема ІКО [15] та Положення про Головного оператора Системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України [20], та розроблення нових, зокрема, Типового положення про Оператора системи комерційного обліку [25], затвердження Положення про оперативні взаємовідносини між Головним оператором та суб'єктами ОПЕ тощо. Також, Програмою [23] було передбачено підготовку персоналу, задіяного в створенні, супроводженні та експлуатації АСКОЕ ОПЕ. Проте, частину заходів, передбачених [23], не було виконано.

На виконання Концепції [17] і відповідно до Програми [23] в 2003 році ДП «Енергоринок» було оголошено тендер на розробку підсистеми збору, збереження та первинної обробки даних комерційного

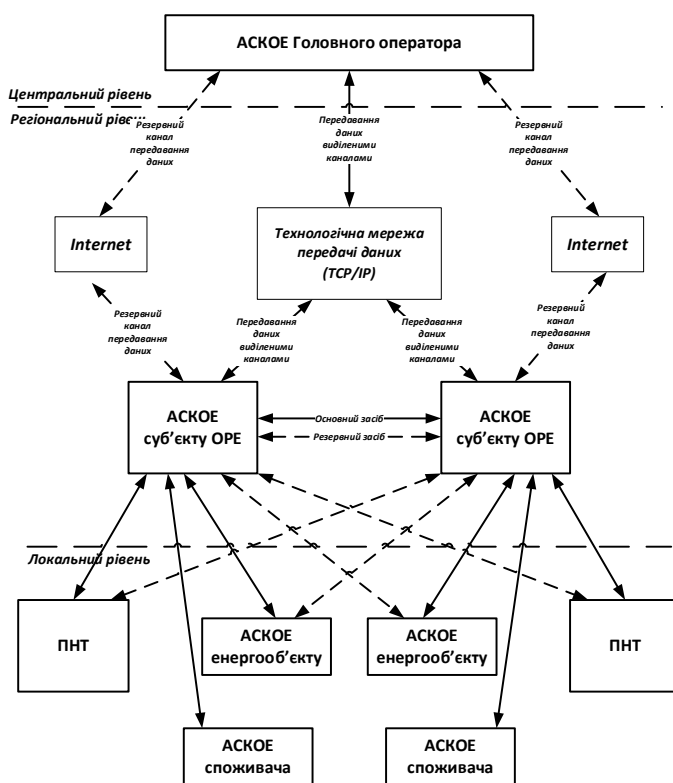


Рисунок 2. Структурна схема побудови АСКОЕ ОПЕ України та обміну даними комерційного обліку

обліку АСКОЕ Головного оператора [26]. Фактично йшлося про розробку АСКОЕ Головного оператора і створення базису АСКОЕ ОРЕ України. В тендері прийняли участь всі провідні розробники АСКОЕ в Україні. Під час виконання тендерного завдання було розроблено специфікацію уніфікованого протоколу передавання даних вимірювань (УППДВ) [27], уніфіковану базу даних (УБД) АСКОЕ Головного оператора ОРЕ [28], уніфікований реєстр даних (УРД) [29], програмне забезпечення (ПЗ) сервера та автоматизованих робочих місць (АРМ) АСКОЕ Головного оператора [30].

З метою створення базису для побудови масштабованої АСКОЕ ОРЕ України було розроблено і описано УППДВ. Цей протокол відповідає 5-му і 6-му рівням Базової еталонної моделі взаємодії відкритих систем OSI [31]. Фактично було розроблено інформаційну модель віртуальної АСКОЕ, описано загальну модель представлення даних комерційного обліку в АСКОЕ, типи даних і константи, що використовуються для реалізації УППДВ, представлення даних, специфікація і опис параметрів, представлення позначок часу, єдиний формат представлення чисел під час передавання інформаційною мережею, коди якості (достовірності) даних комерційного обліку [65], власне протокол передавання даних і команд АСКОЕ IP-мережею, команди протоколу і формати представлення даних обліку [27]. Мета розробки УППДВ – передавання даних комерційного обліку до АСКОЕ Головного оператора усіма суб'єктами ОРЕ в уніфікований спосіб, взаємодія АСКОЕ суб'єктів ОРЕ, використання його в якості внутрішньосистемного протоколу на верхніх рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України, взаємодія з суміжними підсистемами, в першу чергу з автоматизованою системою диспетчерського управління (АСДУ). Сфера застосування УППДВ – ЦУЗД, РУЗД, ЛУО, а також рівень об'єктів обліку розподіленої АСКОЕ ОРЕ України (рис.1) [30].

Логічною одиницею АСКОЕ Головного оператора ОРЕ, для якої здійснюється вимірювання та облік електроенергії і визначення даних комерційного обліку, є канал обліку (КО). КО асоціюється з одним напрямом вимірювання активної або реактивної енергії (інтегрованої в часі реактивної потужності). Кожному КО АСКОЕ ставиться у відповідність вимірювальний канал (ВК) або група обліку (ГО) в АСКОЕ суб'єкта ОРЕ. На підставі такої відповідності КО АСКОЕ Головного оператора поділяються на категорії (табл.1) [30].

Таблиця 1. Категорії КО АСКОЕ Головного оператора ОРЕ

ID	Ім'я	Опис
0	Категорія за умовчанням	Категорія за умовчанням
1	W_p+	Активна енергія. Надходження
2	W_p-	Активна енергія. Відпуск
3 ²	W_q+	Реактивна енергія. Надходження
4 ²	W_q-	Реактивна енергія. Відпуск
5	W_{Vp}	Баланс активної енергії
6 ²	W_{Vq}	Баланс реактивної енергії
7 ²	W_{Q1+}	Реактивна енергія. Квадрант 1
8 ²	W_{Qc+}	Реактивна енергія. Квадрант 2
9 ²	W_{Q1-}	Реактивна енергія. Квадрант 3
10 ²	W_{Qc-}	Реактивна енергія. Квадрант 4

В АСКОЕ Головного оператора безліч КО АСКОЕ суб'єктів ОРЕ відображується в безліч віртуальних приладів обліку (ВПО). Під ВПО розуміється певна сутність, що має такі властивості:

- ВПО відповідає один або декілька КО;
- ВПО нумерує відповідні йому КО в унікальний спосіб;
- ВПО обробляє запити АСКОЕ до відповідних КО, приховуючи від «зовнішнього світу» деталі реалізації процедури визначення даних комерційного обліку;
- всі ВПО мають в АСКОЕ Головного оператора унікальний номер.

Під це визначення підпадає програмний механізм доступу як до кожного конкретного фізичного приладу обліку, так і до АСКОЕ в цілому. Зазвичай, кожна АСКОЕ суб'єкта ОРЕ відображується в один ВПО. Кожне значення попередньо визначених даних, що надходять до АСКОЕ Головного оператора, і кожний запит АСКОЕ Головного оператора відносяться до єдиного визначеного ВПО. З метою структурованого доступу до КО АСКОЕ Головного оператора створюється ВПО-транслятор номерів КО [30].

Крім УППДВ було розроблено і описано УБД АСКОЕ Головного оператора [28] та попередній Уніфікований реєстр даних (УРД) АСКОЕ Головного оператора ОРЕ [29]. Мета розробки УБД та УРД –

²На цей час в ОРЕ України розрахунки за реактивну енергію не здійснюються. Проте, в АСКОЕ Головного оператора зарезервовано категорії 3,4,6-10 для випадку, якщо такі розрахунки здійснюватимуться в майбутньому

забезпечення єдиного формату і специфікації даних комерційного обліку, які передаються, обробляються, відображаються і зберігаються в АСКОЕ Головного оператора. Проектний рівень застосування УБД – ЦУЗД розподіленої АСКОЕ ОРЕ України. Але під час впровадження АСКОЕ Головного оператора та організації інформаційної взаємодії з АСКОЕ суб'єктів ОРЕ було рекомендовано застосування УБД на рівнях РУЗД, ЛУО, а також рівні об'єктів обліку розподіленої АСКОЕ ОРЕ України (рис.1) [30].

Втім, УППДВ і УБД орієнтовано як на оптовий, так і на роздрібний ринки електричної енергії, і може бути застосовано, також, в АСКОЕ споживачів електричної енергії. Конкретну реалізацію УППДВ і УБД може бути обмежено потребами суб'єкта ринку, що дозволяє створити оптимальні умови і мінімізувати витрати на розробку АСКОЕ для цього суб'єкта [32].

Напрацювання [27 – 29] утворили технічну базу для побудови єдиної АСКОЕ оптового і роздрібного ринків електричної енергії України, забезпечивши можливість та надавши інструментарій для інтегрування до АСКОЕ ОРЕ, зокрема, АСКОЕ електропередавальних, електропостачальних компаній та споживачів. Проте, не готовність суб'єктів ОРЕ передавати деталізовані дані обліку по точках обліку, зокрема, первинні дані обліку, Головному оператору фактично обмежили сферу застосування УППДВ і УБД центральним рівнем (ЦУЗД) розподіленої АСКОЕ ОРЕ України [13, 21]. Сьогодні Головний оператор є єдиним суб'єктом ОРЕ, який надійно взаємодіє з іншими суб'єктами і отримує від них агреговані дані комерційного обліку електроенергії в уніфікований спосіб за допомогою УППДВ. Взаємодія АСКОЕ суміжних суб'єктів ОРЕ до цих пір здійснюється за допомогою текстових файлів-макетів. Не говорячи про те, що взаємодія між інформаційними системами в такий спосіб неефективна, інформаційна взаємодія шляхом обміну текстовими файлами не практично дозволяє здійснювати керування попиту в реальному часі, що є однією з головних цілей лібералізації ринку електричної енергії.

В березні 2004 року впровадження підсистеми збору, збереження та первинної обробки даних комерційного обліку було практично завершено, АСКОЕ Головного оператора підготовлено до взаємодії з АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Враховуючи досвід створення АСКОЕ Головного оператора і АСКОЕ суб'єктів ОРЕ деякі положення і терміни [23] було скориговано. Другу редакцію Програми послідовного впровадження АСКОЕ в ОРЕ України було затверджено в листопаді 2005 року [33]. Розпочалося широке впровадження АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. З метою прискорення переходу ОРЕ України до розрахунків на основі показів засобів диференційованого обліку електроенергії – багатофункціональних електронних лічильників електроенергії відповідно до [33] на замовлення ДП «Енергоринок» було розроблено Модуль ручного вводу (МРВ) даних комерційного обліку електроенергії та передавання за допомогою УППДВ до АСКОЕ Головного оператора. МРВ було поширено серед суб'єктів ОРЕ з відкритою ліцензією на умовах вільного застосування в період до впровадження в експлуатацію АСКОЕ. Застосування МРВ дало змогу розпочати дослідну експлуатацію АСКОЕ Головного оператора до завершення побудови і впровадження АСКОЕ суб'єктами ОРЕ.

Разом з тим, вимог [22] було недостатньо для побудови якісних АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Тому в 2005 – 2006 роках на замовлення ДП «Енергоринок» ІЕЕ НТУУ «КПІ» було розроблено стандарт ОРЕ: «Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги» [35], який мав стати базисним документом в системі нормативного забезпечення побудови та застосування АСКОЕ в ОРЕ України. До роботи над стандартом були залучені провідні фахівці України в сфері обліку електроенергії. Стандарт містить базові положення для формування розширених технічних вимог до АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Докладні технічні вимоги до АСКОЕ мало бути викладено в інших документах зазначеного комплексу стандартів [36 – 37]. Але впровадження цього стандарту в дію та розроблення решти НД зазначеного комплексу стандартів було з незрозумілих причин припинено незважаючи на чималі зусилля Головного оператора – ДП «Енергоринок». Проте, ці документи були конче необхідні з причин, докладно викладених в [14, 38 – 40], незважаючи на прийняття комплексу ДСТУ 5003.Х:2008 [41 – 44]. В результаті АСКОЕ суб'єктів ОРЕ протягом 2004 – 2010 років фактично будувалися на базі вимог Концепції [13], ІКО [15], Загальних технічних вимог [22] з дотриманням положень Стандарту ОРЕ [35] на добровільних засадах, оскільки процедуру набуття чинності цим стандартом не було завершено у встановлений спосіб. Винятком були лише АСОЕ, що впроваджувалися в ДП «НЕК «Укренерго» на підставі Технічних та організаційних вимог до побудови автоматизованих систем обліку електроенергії на об'єктах НЕК «Укренерго» [45], який має статус НД організації і носить цілісний характер.

Надійну АСКОЕ ОРЕ України не може бути побудовано без виконання вимоги щодо забезпечення одночасності вимірювань [13]. В умовах погодинної диференціації вартості електроенергії прив'язка результатів обліку до національної шкали координованого часу (НШКЧ) є вкрай важливим завданням в комплексі задач забезпечення повноти, достовірності та актуальності даних комерційного обліку електроенергії [34]. На вирішення цього завдання в 2004 робочою групою було розроблено Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.П. Система точного часу та підсистема забезпечення синхронності вимірювань (СТЧіСВ) АСКОЕ ОРЕ України [46]. В рамках реалізації другої редакції Програми послідовного впровадження АСКОЕ в ОРЕ України [33] на замовлення ДП «Енергоринок» було розроблено ТЗ на побудову СТЧіСВ

[47], яке містить розширені технічні вимоги до СТЧ і джерел часу, а також до підсистем забезпечення синхронності вимірювань у складі АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Окрім технічних вимог в [47] запропоновано технології прив'язки шкал часу (ШЧ) засобів диференційованого обліку електроенергії до НШКЧ і наведено передпроектні технічні рішення щодо побудови СТЧ. Своєчасна побудова СТЧ ОРЕ України і створення підсистем забезпечення синхронності вимірювань відповідно до [47] в період розроблення та впровадження АСКОЕ суб'єктів ОРЕ дозволило б забезпечити частотно-часовою інформацією (ЧЧІ) суб'єктів не лише оптового, а й роздрібних ринків електричної енергії України, і створило б умови для формування якісних і достовірних балансів електричної енергії на основі одночасних вимірювань і обліку електроенергії, зокрема, в межах держави, не лише в ОРЕ, а й під час розвитку і лібералізації ринку електричної енергії України. Проте, СТЧіСВ й досі не побудовано, що часто зумовлює виникнення додаткової складової похибки диференційованого обліку електроенергії та стає причиною формування недостовірних балансів електричної енергії на різних рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України.

В 2010 році АСКОЕ суб'єктів ОРЕ було переважно побудовано і впроваджено в постійну (промислово) експлуатацію. Дані комерційного обліку надавалися до АСКОЕ Головного оператора відповідно до затвердженого УРД [29]. Національним Регулятором – НКРЕ – було прийнято рішення щодо переходу до розрахунків в ОРЕ на підставі даних, що формуються АСКОЕ суб'єктів ОРЕ [48] (до цього моменту розрахунки в ОРЕ здійснювалися на підставі даних макету, що формується ДП «НЕК «Укренерго» [12]). З метою верифікації даних, які надходили до АСКОЕ Головного оператора, на замовлення ДП «Енергоринок» було розроблено автоматизовану інформаційну систему «Використання даних, отриманих з автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ» (АІС ВДКО) [49]. Перші випробування АІС ВДКО засвідчили низький ступінь достовірності даних, що надходили від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ, які, підкресливо, перебували в постійній (промисловій) експлуатації. Втім, протягом стислого часу НКРЕ, Головним оператором та суб'єктами ОРЕ було невідкладно вжито дієвих заходів щодо забезпечення повноти та достовірності даних комерційного обліку, які формувалися АСКОЕ. На початку 2011 року переважною частиною АСКОЕ суб'єктів ОРЕ формувалися повні й достовірні дані комерційного обліку електроенергії, які успішно верифікувалися в АІС ВДКО та валідувалися Головним оператором. З березня 2011 року розрахунки в ОРЕ України здійснюються на підставі даних, що формуються АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Верифікація і валідація даних комерційного обліку, що надходять від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ до АСКОЕ Головного оператора, здійснюється за допомогою АІС ВДКО на підставі затвердженого у встановлений спосіб Порядку перевірки даних [50]. АСКОЕ ОРЕ України функціонує в штатному режимі і забезпечує прозорі розрахунки між Членами Оптового ринку електричної енергії.

З метою забезпечення ефективного застосування АСКОЕ ОРЕ в умовах лібералізації ринку електричної енергії України в 2011 році на замовлення ДП «Енергоринок» ІЕЕ НТУУ «КПІ» було розроблено Концепцію інформаційно-обчислювального комплексу (ІОК) Головного оператора Системи комерційного обліку Оптового ринку електроенергії України [51] (з вагомих причин в [51] замість поняття «АСКОЕ Головного оператора» застосовано поняття «ІОК Головного оператора»), якою визначено напрями подальшого розвитку АСКОЕ ОРЕ, завдання Головного оператора щодо забезпечення надійного функціонування АСКОЕ ОРЕ, а також повноти, достовірності та актуальності даних комерційного обліку електроенергії під час запровадження перспективних моделей ринку електричної енергії України і на перехідних етапах.

Під час розроблення Концепції [51] було проведено аналіз та визначено головні недоліки існуючої схеми обміну даними обліку електроенергії в АСКОЕ ОРЕ України:

- відсутність дистанційного автоматизованого доступу суб'єктів ОРЕ до первинних баз даних (ПБД) приладів комерційного обліку електроенергії, які встановлено на території суміжних суб'єктів ОРЕ, з метою верифікації і валідації даних комерційного обліку, зокрема, на підставі результатів порівняння та аналізу достовірності первинних даних обліку, аналізу журналів подій лічильників тощо;
- недосконалість файлів-макетів, що містять дані обліку електроенергії, зокрема, відсутність у файлах-макетах кодів якості (достовірності) даних комерційного обліку, застосування різних систем кодування, зокрема – точок обліку у файлах-макетах тощо;
- недосконалість процедури обміну файлами-макетами за допомогою електронної пошти, зокрема, відсутність гарантій щодо доставлення електронної пошти, невизначеність доставлення електронної пошти в часі, неможливість повторного запиту файлу-макету тощо;
- відсутність уніфікації під час обміну даними обліку електроенергії за допомогою файлів-макетів, зокрема, відсутність єдиних форматів файлів-макетів визначених типів, відсутність єдиних форматів даних у файлах-макетах, відсутність єдиних способів обміну файлами-макетами в ОРЕ України тощо.

Вищенаведені недоліки не дозволяють повною мірою забезпечити повноту, достовірність та актуальність даних комерційного обліку з метою здійснення якісних розрахунків та управління попитом в лібералізованому ринку електричної енергії України.

Виходячи з багаторічного досвіду побудови та застосування АСКОЕ на електроенергетичних та промислових підприємствах, зокрема, в умовах функціонування ринку електричної енергії України, та за результатами комплексного аналізу факторів, що впливають на повноту, достовірність та актуальність даних комерційного обліку, авторами Концепції [51] було сформульовано умови неухильного розвитку та ефективного застосування АСКОЕ ОРЕ України:

- наявність єдиної нормативної бази з розробки, побудови, впровадження та застосування АСКОЕ;
- визначення та затвердження єдиних правил застосування в АСКОЕ приладів комерційного обліку електроенергії;
- запровадження уніфікованих технічних рішень на всіх рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України;
- визначення та затвердження єдиних правил формування, узгодження, передавання та використання даних в розподіленій АСКОЕ ОРЕ України;
- забезпечення захисту і безпеки даних обліку на всіх рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України;
- визначення метрологічного забезпечення комерційного обліку електроенергії в ОРЕ України;
- визначення процедур верифікації та валідації даних обліку на всіх рівнях розподіленої АСКОЕ ОРЕ України;
- забезпечення узгодженого функціонування АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та ІОК Головного оператора в розподіленій АСКОЕ ОРЕ України.

Для створення умов неухильного розвитку та ефективного застосування АСКОЕ ОРЕ України з метою забезпечення повноти, достовірності та актуальності даних комерційного обліку, прозорості розрахунків і формування інформаційного забезпечення завдань управління попитом в умовах лібералізації ринку електричної енергії України в Концепції [51] запропоновано поступове вдосконалення процедур обміну даними комерційного обліку електроенергії між АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Зокрема, наполягається на забезпеченні під час створення АСКОЕ взаємного рівноправного дистанційного доступу всіх заінтересованих сторін до первинних даних обліку в автоматизований спосіб з метою своєчасної верифікації даних комерційного обліку та формування інформаційного забезпечення завдань управління попитом в реальному часі, а також запропоновано уніфіковані технічні рішення для реалізації такого доступу, ефективність яких підтверджено досвідом застосування АСКОЕ ОРЕ України.

На виконання положень Концепції ІОК Головного оператора [51] з метою формування цілісної нормативної бази з розробки, побудови, впровадження та застосування АСКОЕ в умовах лібералізації ринку електричної енергії України в 2012 – 2014 роках на замовлення ДП «Енергоринок» рядом організацій, зокрема, ІЕЕ НТУУ «КПІ» було розроблено низку НД:

- Інструкція про порядок формування кодів якості даних комерційного обліку [52];
- Вимоги до порядку збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електроенергії в ОРЕ України [53];
- Порядок контролю достовірності даних комерційного обліку в АСКОЕ ОРЕ [54];
- Порядок проведення приймальних випробувань АСКОЕ суб'єктів ринку. Типова програма приймальних випробувань [55];
- Експлуатація та технічне обслуговування АСКОЕ суб'єктів ринку електроенергії [56];
- Правила формування ідентифікаторів в ринку електроенергії України на базі використання системи ідентифікації EIC ENTSO-E та порядок надання та ведення ідентифікаторів суб'єктів та об'єктів ринку електроенергії [57].

Розроблені НД сприятимуть впорядкуванню і підвищенню ефективності застосування АСКОЕ, а також формування і обміну даними комерційного обліку в лібералізованому ринку електричної енергії України.

Одночасно з впровадженням АСКОЕ у суб'єктів ОРЕ впроваджувалися АСКОЕ у суб'єктів роздрібного ринку електричної енергії України – споживачів. В жовтні 2005 року постановою НКРЕ [58] було затверджено нову редакцію Правил користування електричною енергією (ПКЕЕ) [59], відповідно до якої на всіх площадках вимірювання споживачів з приєднаною потужністю електроустановок 150 кВт і вище та середньомісячним обсягом електроспоживання за дванадцять попередніх розрахункових періодів не менше 50 000 кВт год протягом 2005 – 2008 років повинно було бути впроваджено засоби диференційованого обліку електроенергії та локального устаткування збирання та оброблення даних (ЛУЗОД). Впровадження ЛУЗОД відповідно до [59] мало здійснюватися на підставі технічних рекомендацій електропередавальної компанії – ПРТ, що здійснює ліцензовану діяльність на закріпленій території. У рекомендаціях щодо вибору розрахункових засобів обліку електроенергії та устаткування, яким має забезпечуватися передавання інформації щодо обліку електроенергії, ПРТ має враховувати можливість об'єднання ЛУЗОД в єдину АСКОЕ споживачів ПРТ.

Відповідно до п.3.10 [59] технічні рекомендації мають містити:

- перелік даних, що передаються до електропередавальної компанії – ПРТ;
- протокол передавання даних;
- перелік місць встановлення засобів обліку електроенергії;

- перелік місць встановлення комунікаційного устаткування;
- інформацію про параметри каналів зв'язку, які будуть застосовуватися для зчитування даних з ЛУЗОД або обміну даними з АСКОЕ споживача;
- рекомендації щодо апаратного та програмного інтерфейсу лічильників;
- граничні показники похибки вимірювання обсягу (кількості) електроенергії;
- граничні показники розсинхронізації часу;
- алгоритм приведення первинних даних обліку з лічильників до даних, що будуть використовуватися для проведення комерційних розрахунків;
- умови спільного використання ЛУЗОД.

Таким чином Національний Регулятор – НКРЕ через ПКЕЕ [59] фактично делегував електропередавальним компаніям – ПРТ право провадити на закріпленій території власну технічну політику із створення інтегрованої АСКОЕ електропередавальних компаній – ПРТ та споживачів заради досягнення стратегічної мети – побудови надійного повномасштабного багатофункціонального інструментарію для реалізації точного й достовірного обліку електроенергії, контролю поточних та інтегральних параметрів режимів електроспоживання, складання якісних електроенергетичних балансів в автоматизований спосіб та формування інформаційного забезпечення завдань управління попитом кінцевих споживачів. Ці функції АСКОЕ безперечно є найважливішими для успішного запровадження та ефективного функціонування лібералізованого ринку електричної енергії. Адже в умовах прогнозованого багатократного зростання кількості суб'єктів ринку за рахунок виходу на ринок кваліфікованих кінцевих споживачів оператор ринку (ОР) під час узгодження обсягів купівлі – продажу електроенергії і формування прогнозованих електроенергетичних балансів, а особливо оператор системи передачі (ОСП) під час контролю виконання узгоджених режимів виробітку й споживання електроенергії в реальному часі, мають опиратися на точні, повні, достовірні і актуальні дані обліку електропередавальних компаній – операторів систем розподілу (ОСР). При цьому достовірність результуючого електроенергетичного балансу України безпосередньо пов'язана із достовірністю балансів кожного окремого ОСР. Звідси витікає важливий висновок: побудова надійної інтегрованої АСКОЕ електропередавальних компаній – ПРТ і кінцевих споживачів є завданням не корпоративного, а національного масштабу. І це завдання є не послугою, а обов'язком електропередавальних компаній – ПРТ (в подальшому – ОСР), невід'ємною умовою їхньої бізнес-діяльності [60].

Забезпечення регламентованого (контрольованого) дистанційного доступу до ПБД приладів комерційного обліку електроенергії сприятиме дисциплінованості суб'єктів ринку під час формування та передавання даних комерційного обліку електроенергії, а також підвищить якість і точність формування електроенергетичних балансів через своєчасне виявлення та обґрунтоване заміщення недостовірних даних обліку електроенергії.

В лібералізованому ринку електричної енергії вимоги щодо оперативного (своєчасного) надання необроблених даних та даних комерційного обліку електроенергії всім заінтересованим сторонам, а також забезпечення регламентованого (контрольованого) дистанційного доступу до ПБД приладів комерційного обліку електроенергії в уніфікований спосіб повинні бути розповсюджені на всіх суб'єктів ринку, зокрема, на кінцевих споживачів. Це дозволить оперативно узгоджувати обсяги купівлі/продажу, визначати сальдо перетікань електричної енергії між суб'єктами ринку та здійснювати прозорі розрахунки за електричну енергію на підставі повних, точних і достовірних даних комерційного обліку.

Закон України «Про ринок електричної енергії» [61] законодавчо закріпив процес реформування ОРЕ України і перехід до лібералізованого ринку електричної енергії, а також визначив етапи такого переходу. Організація і процедури комерційного обліку в лібералізованому ринку електричної енергії України визначено кодексом комерційного обліку [62]. Відповідно до [62] дані комерційного обліку повинні формуватися постачальниками послуг комерційного обліку (ППКО) та надаватися адміністратору комерційного обліку (АКО), який, виконуючи роль агрегатора даних комерційного обліку (АДКО) на рівні ЦУЗД розподіленої АСКОЕ ринку електричної енергії України, здійснює перевірку, упорядкування, профілювання, сертифікацію та агрегацію валідованих даних комерційного обліку, отриманих від операторів даних комерційного обліку (ОДКО), і надає сертифіковані дані комерційного обліку адміністратору розрахунків і всім заінтересованим сторонам. АДКО також здійснює експлуатацію і технічне обслуговування центральної автоматизованої системи даних комерційного обліку Datahub, до якої мають авторизований доступ учасники ринку електроенергії та споживачі, з метою забезпечення прозорих розрахунків в лібералізованому ринку електричної енергії України.

В свою чергу ОДКО отримують дані від операторів зчитування даних (ОЗД), які зчитують необроблені дані обліку з засобів комерційного обліку (ЗКО) – лічильників електроенергії, здійснюють контроль якості зчитування, формування класифікованих даних комерційного обліку та їхнє передавання до ОДКО. Втім, [62] передбачено зчитування показів лічильника, зокрема, споживачами і передавання зчитаних необроблених даних обліку ОДКО безпосередньо або через електропостачальників. Такий підхід не сприятиме підвищенню якості комерційного обліку електричної енергії і може призвести до втрат,

зокрема, в частині повноти, точності і достовірності даних комерційного обліку, а також до втрати ними властивості актуальності. Адже він є наслідком недосконалості процесів побудови, впровадження та застосування ЛУЗОД/АСКОЕ споживачів в минулі роки, зокрема, через невідповідність нормативного забезпечення комерційного обліку на оптовому і роздрібному ринках електричної енергії України [14, 32, 38 – 40, 60].

З метою забезпечення ефективного обліку електричної енергії передовими країнами реалізуються національні проекти з впровадження Smart Metering Systems. Такі системи, зазвичай, здійснюють синхронний облік активної електричної енергії та інтегрованої в часі реактивної потужності (імпорт та експорт) в розподілених точках комерційного обліку і забезпечують користувачів повною, точною, достовірною та актуальною інформацією щодо поточних та інтегральних режимів виробітку та споживання електричної енергії з метою управління попитом в реальному часі. Результатом ефективного функціонування таких систем, зокрема, є узгоджена поведінка всіх гравців лібералізованого ринку електричної енергії з метою підвищення енергоефективності та скорочення шкідливих викидів, що врешті решт є чи не головною метою лібералізації ринку електричної енергії.

Висновки

1. Прийняття Закону України (ЗУ) «Про ринок електричної енергії» [61] надає широкі можливості щодо глибокого реформування ОРЕ України і створення єдиного інтегрованого лібералізованого ринку електричної енергії, який об'єднає всіх суб'єктів підприємницької діяльності з виробництва, передачі і використання електроенергії, а саме: електрогенерувальні, електропередавальні, електророзподільні, електропостачальні компанії і кінцевих споживачів та відкриває шляхи до повномасштабної інтеграції електроенергетичного сектору України до об'єднаних енергозон Європи ENTSO-E [63].

2. Невід'ємною умовою ефективного запровадження і функціонування лібералізованого ринку електричної енергії є забезпечення точного і достовірного обліку електроенергії на всіх ділянках її виробництва, передачі і використання.

3. Станом на момент прийняття ЗУ «Про ринок електричної енергії» [61] в Україні побудовано і функціонує АСКОЕ ОРЕ України, яка об'єднує АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та ІОК Головного оператора, функціонує на базі єдиного, хоча й недосконалого нормативного забезпечення, і реалізує автоматизований комерційний облік електричної енергії на межі ОРЕ, уніфіковану інформаційну взаємодію Головного оператора і суб'єктів ринку під час обміну даними комерційного обліку, а також верифікацію і валідацію даних комерційного обліку Головним оператором з метою проведення прозорих і достовірних розрахунків в ОРЕ України. На роздрібному ринку функціонують АСКОЕ споживачів, які об'єднують сервери АСКОЕ електропередавальних компаній – ПРТ та АСКОЕ/ЛУЗОД споживачів і мають забезпечувати збирання первинних даних обліку і формування даних комерційного обліку на закріпленій території. АСКОЕ/ЛУЗОД споживачів будуються на підставі рекомендацій електропередавальних компаній – ПРТ, що не забезпечує інформаційної, функціональної, конструктивної, експлуатаційної та інших видів сумісності (окрім метрологічної, що пояснюється єдиним метрологічним забезпеченням АСКОЕ/ЛУЗОД в Україні) між собою та з АСКОЕ ОРЕ, переважно не уніфіковані і в загальному випадку не спроможні забезпечити ефективний облік електричної енергії та інформаційну взаємодію відповідно до регламентів лібералізованого ринку електричної енергії, що безперечно стане на заваді його ефективному запровадженню і функціонуванню.

4. З метою забезпечення запровадження ефективного лібералізованого ринку електричної енергії України необхідно забезпечити надійне узгоджене функціонування АСКОЕ суб'єктів оптового й роздрібного ринків та ІОК операторів в розподіленій АСКОЕ лібералізованого ринку електричної енергії України на принципах уніфікації, єдиних технічних й організаційних вимог та правил.

5. Побудова ефективною повномасштабної розподіленої АСКОЕ лібералізованого ринку електричної енергії України, яка функціонує на прогресивній науково-технічній платформі Smart Grid і формує точну, повну, достовірну і актуальну інформацію про вироблену, передану, поставлену, спожиту і використану електроенергію, створить умови для побудови якісних і достовірних балансів електричної енергії та проведення прозорих розрахунків, що врешті решт сприятиме підвищенню енергоефективності ринку електричної енергії і скороченню шкідливого впливу на навколишнє природне середовище.

Список використаної літератури

1. Про структурну перебудову в електроенергетичному комплексі України [Електронний ресурс] // Указ президента України від 4 квітня 1995 року № 282/95 – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/282/95>.

2. Про забезпечення роботи оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] // Постанова Кабінету Міністрів України від 19 лютого 1996 року № 207 – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/207-96-%D0%BF/para03#o3>.

3. Бедін С.В. Особливості нормативно-правового забезпечення державного регулювання ринку електроенергії // Державне управління, 2013. – № 2 (42) – С.32 – 36.
4. Про Національну комісію з питань регулювання електроенергетики [Електронний ресурс] // Указ президента України від 8 грудня 1994 року № 738/94 – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ru/738/94>.
5. Договір між членами Оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] // Договір від 15 листопада 1996 року із змінами і доповненнями, 2012. – 34с. – Режим доступу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=1285>.
6. Правила Оптового ринку електричної енергії України. Додаток 2 до ДЧОРЕ [Електронний ресурс] // Затв. НКРЕ, постанова від 12 листопада 1997 року № 1047а, 2016. – 142 с. – Режим доступу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=1285>.
7. Про електроенергетику [Електронний ресурс] // Закон України від 16 жовтня 1997 року № 575/97-ВР (із змінами і доповненнями) – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.
8. Державне регулювання енергетики України [Електронний ресурс] // Центр сприяння інституційному розвитку державної служби при Головному управлінні державної служби України, 2006. – 36 с. – Режим доступу: <http://old.icps.com.ua/files/articles/45/10/White%2003%20-%20Energy%20Regulation%20Commission%20U.pdf>
9. Концепція використання інформаційно-вимірювальної техніки для обліку електричної енергії в умовах функціонування ринку в Україні. Етапи I і II: УкрНТІ, Держреєстрація №01960022544, Інв. № 0297ИОО1589, Київ, 1996.
10. Концепція використання інформаційно-вимірювальної техніки для обліку електричної енергії в умовах функціонування ринку в Україні. Етапи III і IV: УкрНТІ, Держреєстрація №01960022544, Інв. № 0297ИОО1589, Київ, 1997.
11. Праховник А.В., Калинчик В.П., Волошко А.В., Коцарь О.В. Системы учета электроэнергии в условиях функционирования Smart Grid технологий // Энерг. та електрифікація, 2012. – № 1 – С. 51 – 58.
12. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням [електронне видання] / О. В. Коцар // Навч. посібн. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, — Дніпро: Середняк Т. К., 2017, — 44 с. – Режим доступу: <http://tsem.iee.kpi.ua/en/handbooks>.
13. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку України // Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України від 17 квітня 2000 року № 32/28/28/276/75/54.
14. Праховник А.В., Коцар О.В. Формування інформаційного забезпечення розрахунків за електричну енергію в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України // Энерг. и електрифікація, 2009. – № 3 – С. 40 – 51.
15. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії. Додаток 10 до Договору між Членами Оптового ринку електричної енергії // Затв. Радою оптового ринку електричної енергії України, протокол від 09 червня 1998 року № 8 (із змінами і доповненнями).
16. Про утворення Міжвідомчої комісії з підготовки концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] // Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 січня 2002 року № 25-р – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/25-2002-%D1%80>.
17. Концепція функціонування і розвитку Оптового ринку електричної енергії України // Матеріали науково-практичної конференції, Київ, 25 липня 2002 року – Х.: Енерго Клуб України, 2002. – 72 с.
18. Про схвалення Концепції функціонування і розвитку Оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс] // Постанова Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 року № 1789 – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1789-2002-%D0%BF>.
19. Щодо затвердження Звіту про діяльність НКРЕ у 2002 році [Електронний ресурс] // Постанова НКРЕ від 31 березня 2003 року № 272 – Режим доступу: <http://lawua.info/bdata4/ukr455/index.htm>.
20. Положення про Головного оператора системи комерційного обліку // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 27 червня 2001 року № 7.
21. Структурна схема побудови АСКОЕ Оптового ринку України та обміну даними комерційного обліку між суб'єктами Оптового ринку та Головним оператором // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 17 жовтня 2002 року № 16.
22. Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.I. Система збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електричної енергії в Оптовому ринку. Додаток 7.4 до Договору між Членами Оптового ринку електричної енергії України // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 09 січня 2003 року № 7 (із змінами і доповненнями).

23. Програма послідовного впровадження АСКОЕ в ОРЕ України // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 30 січня 2003 року № 26.

24. IEC 62056. Device Language Message Specification / COmpanion Specification for Energy Metering (DLMS/COSEM).

25. Типове Положення про Оператора Системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 27 березня 2003 року № 2.

26. Програмне забезпечення підсистеми збору, збереження та первинної обробки даних комерційного обліку АСКОЕ Головного оператора ОРЕ. Технічні та кваліфікаційні вимоги // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 27 березня 2003 року № 2.

27. Унифицированный протокол передачи данных АСКУЭ ГО ОРЭ. Спецификация. Версия протокола 1.0. Версия документа 1.1.3.1 [Електронний ресурс] / Разраб. О.В. Коцарь, В.В. Мазан – К.: 2003 – 65 с. – Режим доступа: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=13&wid=91be95c2e3479e0eb4da444ae693e28a>.

28. Унифицированная база данных АСКУЭ Головного оператора ОРЕ / Разраб. О.В.Коцарь – руковод. разраб., В.В.Мазан – К.: 2003 – 32 с.

29. Попередній Уніфікований реєстр даних АСКОЕ Головного оператора ОРЕ [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?f=50>.

30. Коцарь О.В., Мазан В.В. Применение унифицированного протокола передачи данных коммерческого учета электрической энергии в АСКУЭ Головного оператора ОРЭ Украины // Энерг. и электрификация, 2005. – № 2 – С. 2 – 9.

31. ISO/IEC 7498-1:1994(E). Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model.

32. Коцарь О.В., Мазан В.В. Некоторые особенности создания АСКУЭ электро-энергетических компаний // Энерг. и электрификация, 2003. – № 9–10 – С. 37 – 46.

33. Програма послідовного впровадження АСКОЕ в ОРЕ України (друга редакція) // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 25 листопада 2005 року № 12.

34. Коцар О.В., Романько В.М. Методи та засоби синхронізації вимірювань під час диференційованого обліку електричної енергії в ОРЕ України // Український метрологічний журнал, 2009. – № 4 – С. 8 – 16.

35. Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги. Стандарт ОРЕ // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 27 січня 2006 року № 15.

36. Щодо стандартів з обліку електричної енергії для суб'єктів оптового ринку / А.В. Праховник, В.І. Прокопеч, О.В. Коцар // Прогресивні інформаційні та комп'ютерні технології для підвищення ефективності функціонування енергопостачальних компаній та електроенергетичних систем. Науково-практична конференція – Яремча, 13 – 17 лютого 2006 року.

37. Праховник А.В., Коцар О.В., Прокопеч В.І. Сучасні принципи побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів в умовах енергоринку України // Энерг. и электрификация, 2006. – № 4 – С. 2 – 7.

38. Праховник А.В., Коцар О.В. Перешкоди під час формування даних комерційного обліку в АСКОЕ та шляхи їхнього подолання // Энерг. и электрификация, 2008. – № 8 – С. 3 – 7.

39. Праховник А.В., Коцар О.В. Концептуальні положення побудови АСКОЕ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України // Энерг. и электрификация, 2009. – № 2 – С. 45 – 50.

40. Коцар О.В. Комплексне забезпечення достовірності та актуальності даних комерційного обліку в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів і балансуєчого ринку // Энерг. та электрификация, 2011. – № 3 – С. 27 – 39.

41. ДСТУ 5003.1:2008. Автоматизовані системи обліку електричної енергії. Загальні положення.

42. ДСТУ 5003.2:2008. Автоматизовані системи обліку електричної енергії. Термін та визначення понять.

43. ДСТУ 5003.3-1:2008. Автоматизовані системи обліку електричної енергії. Структура, функції та види забезпечення.

44. ДСТУ 5003.4-1:2008. Автоматизовані системи обліку електричної енергії. Забезпечення сумісності.

45. Технічні та організаційні вимоги до побудови автоматизованих систем обліку електроенергії на об'єктах НЕК «Укренерго» (друга редакція) // Затв. наук.–техн. радою НЕК «Укренерго», протокол від 22 вересня 2005 року № 6.

46. Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.ІІ. Система точного часу та підсистема забезпечення синхронності вимірювань Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електроенергії України.

Додаток 7.4 до Договору між Членами Оптового ринку електричної енергії // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 24 вересня 2004 року № 12.

47. Система точного часу та підсистема забезпечення синхронності вимірювань в АСКОЕ ОРЕ України. Технічне завдання [Електронний ресурс] / Разраб. О.В. Коцар – керівн. розроб., В.В. Мазан // Затв. ЗАТ «ІНЕТ» 01 квітня 2006 року – 170 с., дод. – Режим доступу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=13&wid=8c816a267d311b8a2898a5c94432725c>

48. Про внесення змін до Умов та Правил здійснення ліцензованої діяльності з виробництва, передачі й постачання електричної енергії [Електронний ресурс] // Постанови НКРЕ від 15 липня 2010 №№815, 816, 817, 818, 819, 820) – Режим доступу: <http://consultant.parus.ua/?doc=07C62A53E2>.

49. Коцар О.В., Расько Ю.О. Формування інформаційного забезпечення комерційних розрахунків в ОРЕ України // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2014. – № 3 – С. 38 – 45.

50. Порядок перевірки даних отриманих від автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ // Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 24 листопада 2011 року № 20, погоджено постановою НКРЕ від 16 грудня 2010 року № 1875.

51. Концепція Інформаційно-обчислювального комплексу Головного оператора Системи комерційного обліку Оптового ринку електроенергії України / Розроб.: А.В. Праховник – керівн. розроб., О.В. Коцар, Ю.О.Расько // Затв. ДП «Енергоринок» 10 листопада 2011 року – 68 с.

52. Інструкція про порядок формування кодів якості даних комерційного обліку / Розроб.: О.В. Коцар – керівн. розроб., Ю.О. Расько // Затв. ТОВ «УНВК-ЕТУ» 31 травня 2012 року – 32 с.

53. Вимоги до порядку збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електроенергії в ОРЕ України / Розроб.: О.В. Коцар – керівн. розроб., Ю.О. Расько // Затв. ІЕЕ НТУУ «КПІ» 10 січня 2013 року – 75 с.

54. Порядок контролю достовірності даних комерційного обліку в АСКОЕ ОРЕ / Розроб.: М. Арбузов, А. Скрипниченко, М. Смик, А. Сливченко, В. Войціцький, В Арбузов (керівник розробки) // Затв. ТОВ «НВП «Преобразователь» 30 квітня 2013 року – 80 с.

55. Порядок проведення приймальних випробувань АСКОЕ суб'єктів ринку. Типова програма проведення приймальних випробувань / Розроб.: О.В. Коцар – керівн. розроб., Ю.О. Расько // Затв. ІЕЕ НТУУ «КПІ» 03 жовтня 2013 року – 41 с.

56. Експлуатація та технічне обслуговування АСКОЕ суб'єктів ринку електроенергії / Розроб.: О.В. Коцар – керівн. розроб., Ю.О. Расько // Затв. ІЕЕ НТУУ «КПІ» 16 вересня 2013 року – 34 с.

57. Правила формування ідентифікаторів в ринку електроенергії України на базі використання системи ідентифікації EIC ENTSO-E та порядок надання та ведення ідентифікаторів суб'єктів та об'єктів ринку електроенергії // Затв. ТОВ «Укренергоналадка», 2013. – 138 с.

58. Про внесення змін до Правил користування електричною енергією // Постанова НКРЕ від 17 жовтня 2005 року № 910.

59. Правила користування електричною енергією // Затв. Постановою НКРЕ від 31 липня 1996 року № 28 у редакції Постанови НКРЕ від 17 жовтня 2005 року № 910 із змінами і доповненнями.

60. Коцар О.В., Поліщук О.Ю. Практичні аспекти побудови та експлуатації АСКОЕ кінцевих споживачів // Енерг. та електрифікація, 2013. – № 6 – С. 53 – 64.

61. Закон України «Про ринок електричної енергії». [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=58829.

62. Кодекс комерційного обліку електричної енергії. Проект. Версія 0.75 від 31.10.2017 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/ККО_2017-11-03.pdf.

63. ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.entsoe.eu/>.

O. Kotsar, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION PROVIDING FUNCTIONING OF THE ELECTRICITY MARKET OF UKRAINE

Providing the accurate and reliable metering in the areas of generation, transmission and electricity usage are essential for the successful implementation and effective functioning of the liberalized electricity markets. The paper has been researched the development of the information providing functioning of the electricity market of Ukraine. The stages of roll-out of the Smart Metering Systems (SMS) which have been implemented in the wholesale and retail electricity markets of Ukraine, in particular, SMS in wholesale electricity market, SMS-server for Main operator of electricity market and integrated SMS for DSO and final consumers have been

considered. It is proved that for the successful implementation and effective functioning the liberalized electricity market of Ukraine is necessary to ensure the integration of all components into a single full-scale distributed SMS of electricity market, which operates on the principles of open architecture and single regulatory support, reliably implements the accurate measurement and metering of electricity in all market points, generates the complete, accurate and relevant metering data and provides the commercial metering data, including primary, for everybody players of a liberalized electricity market, which integrates power companies and final consumers to achieve strategic goals – increasing the energy efficiency and reducing harmful effects on the environment.

Keywords: SMS, measurement, Main operator, commercial metering data, electricity, metering, wholesale electricity market, liberalized of electricity market.

References

1. Pro strukturnu perebudovu v elektroenerhetychnomu kompleksi Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Ukaz prezydenta Ukrainy vid 4 kvitnya 1995 roku № 282/95 – Rezhyim dostupu: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/282/95>.
2. Pro zabezpechennya roboty optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 lyutoho 1996 roku № 207 – Rezhyim dostupu: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/207-96-%D0%BF/para03#o3>.
3. Bedin S.V. Osoblyvosti normatyvno-pravovoho zabezpechennya derzhavnoho rehulyuvannya rynku elektroenerhiyi // Derzhavne upravlinnya, 2013. – № 2 (42) – S.32 – 36.
4. Pro Natsional'nu komisiyu z pytan' rehulyuvannya elektroenerhetyky [Elektronnyy resurs] // Ukaz prezydenta Ukrainy vid 8 hrudnya 1994 roku № 738/94 – Rezhyim dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/ru/738/94>.
5. Dohovir mizh chlenamy Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Dohovir vid 15 lystopada 1996 roku iz zminamy i dopovnennyamy, 2012. – 34s. – Rezhyim dostupu: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=1285>.
6. Pravyla Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy. Dodatok 2 do DCHORE [Elektronnyy resurs] // Zatv. NKRE, postanova vid 12 lystopada 1997 roku № 1047a, 2016. – 142 s. – Rezhyim dostupu: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=1285>.
7. Pro elektroenerhetyku [Elektronnyy resurs] // Zakon Ukrainy vid 16 zhovtnya 1997 roku № 575/97-VR (iz zminamy i dopovnennyamy) – Rezhyim dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80>.
8. Derzhavne rehulyuvannya enerhetyky Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Tsentr spryannya instytutsiynomu rozvytku derzhavnoyi sluzhby pry Holovnomu upravlinni derzhavnoyi sluzhby Ukrainy, 2006. – 36 s. – Rezhyim dostupu: <http://old.icps.com.ua/files/articles/45/10/White%2003%20-%20Energy%20Regulation%20Commission%20U.pdf>.
9. Kontseptsiya vykorystannya informatsiyno-vymiryval'noyi tekhniky dlya obliku elektrychnoyi enerhiyi v umovakh funktsionuvannya rynku v Ukraini. Etapy I i II: UkrNTI, Derzhrehistratsiya №01960022544, Inv. № 0297YOO1589, Kyiv, 1996.
10. Kontseptsiya vykorystannya informatsiyno-vymiryval'noyi tekhniky dlya obliku elektrychnoyi enerhiyi v umovakh funktsionuvannya rynku v Ukraini. Etapy III i IV: UkrNTI, Derzhrehistratsiya №01960022544, Inv. № 0297YOO1589, Kyiv, 1997.
11. Prakhovnyk A.V., Kalynchik V.P., Voloshko A.V., Kotsar' O.V. Systemy ucheta élektroénerhiyi v uslovyakh funktsionuvannya Smart Grid tekhnolohiy // Enerh. ta elektryfikatsiya, 2012. – № 1 – S. 51 – 58.
12. Avtomatyzovani systemy kontrolyu, obliku ta upravlinnya enerhovykorystanniam [elektronne vydannya] / O. V. Kotsar // Navch. posibn. – K. : KPI im. Ihorya Sikors'koho, — Dnipro: Serednyak T. K., 2017, — 44 s. – Rezhyim dostupu: <http://tceem.iee.kpi.ua/en/handbooks>.
13. Kontseptsiya pobudovy avtomatyzovanykh system obliku elektroenerhiyi v umovakh enerhorynku Ukrainy // Zatv. spil'nym nakazom Minpalyvenerho, NKRE, Derzhkomenerhozberezhennya, Derzhstandartu, Derzhbudu ta Derzhkomprompolityky Ukrainy vid 17 kvitnya 2000 roku № 32/28/28/276/75/54.
14. Prakhovnyk A.V., Kotsar O.V. Formuvannya informatsiynoho zabezpechennya rozrakhunkiv za elektrychnu enerhiyu v umovakh zaprovadzhennya perspektivnykh modeley enerhorynku Ukrainy // Énerh. y élektrofykatsiya, 2009. – № 3 – S. 40 – 51.
15. Instruksiya pro porядok komertsiiynoho obliku elektrychnoyi enerhiyi. Dodatok 10 do Dohovoru mizh Chlenamy Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi // Zatv. Radyu optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 09 chervnya 1998 roku № 8 (iz zminamy i dopovnennyamy).
16. Pro utvorennya Mizhvidomchoyi komisiyi z pidhotovky kontseptsii funktsionuvannya ta rozvytku optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24 sichnya 2002 roku № 25-r – Rezhyim dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/25-2002-%D1%80>.

17. Kontsepsiya funktsionuvannya i rozvytku Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy // Materialy naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, Kyiv, 25 lystnya 2002 roku – KH.: Enerho Klub Ukrainy, 2002. – 72 s.
18. Pro skhvalennya Kontsepsiyi funktsionuvannya i rozvytku Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy [Elektronnyy resurs] // Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 16 lystopada 2002 roku № 1789 – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1789-2002-%D0%BF>.
19. Shchodo zatverdzhennya Zvitu pro diyal'nist' NKRE u 2002 rotsi [Elektronnyy resurs] // Postanova NKRE vid 31 bereznya 2003 roku № 272 – Rezhym dostupu: <http://lawua.info/bdata4/ukr455/index.htm>.
20. Polozhennya pro Holovnoho operatora systemy komertsynoho obliku // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 27 chervnya 2001 roku № 7.
21. Strukturna skhema pobudovy ASKOE Optovoho rynku Ukrainy ta obminu danymy komertsynoho obliku mizh sub'yektamy Optovoho rynku ta Holovnym operatorom // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 17 zhovtnya 2002 roku № 16.
22. Zahal'ni tekhnichni vymohy do Avtomatyzovanoi systemy komertsynoho obliku Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy. CH.I. Systema zboru, obrobky ta obminu danymy komertsynoho obliku elektrychnoyi enerhiyi v Optovomu rynku. Dodatok 7.4 do Dohovoru mizh Chlenamy Optovohoh rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 09 sichnya 2003 roku № 7 (iz zminamy i dopovnennyamy).
23. Prohrama poslidovnoho vprovadzhenya ASKOE v ORE Ukrainy // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 30 sichnya 2003 roku № 26.
24. IEC 62056. Device Language Message Specification / COmpanion Specification for Energy Metering (DLMS/COSEM).
25. Typove Polozhennya pro Operatora Systemy komertsynoho obliku Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 27 bereznya 2003 roku № 2.
26. Prohramne zabezpechennya pidsystemy zboru, zberezhenya ta pervynnoi obrobky danykh komertsynoho obliku ASKOE Holovnoho operatora ORE. Tekhnichni ta kvalifikatsiyni vymohy // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 27 bereznya 2003 roku № 2.
27. Unyfytsyrovannyi protokol peredachy danykh ASKUÉ HO ORÉ. Spetsyfykatsyya. Versyya protokola 1.0. Versyya dokumenta 1.1.3.1 [Elektronnyy resurs] / Razrab. O.V. Kotsar', V.V. Mazan – K.: 2003 – 65 s. – Rezhym dostupu: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=13&wid=91be95c2e3479e0eb4da444ae693e28a>.
28. Unyfytsyrovannaya baza danykh ASKUÉ Holovnoho operatora ORE / Razrab. O.V.Kotsar' – rukovod. razrab., V.V.Mazan – K.: 2003 – 32 s.
29. Poperedniy Unifikovanyy reyestr danykh ASKOE Holovnoho operatora ORE [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.er.gov.ua/doc.php?f=50>.
30. Kotsar' O.V., Mazan V.V. Prymenenye unyfytsyrovannoho protokola peredachy danykh kommercheskoho ucheta élektrycheskoy énerhyy v ASKUÉ Holovnoho operatora ORÉ Ukrainy // Énerh. y élektryfykatsyya, 2005. – № 2 – S. 2 – 9.
31. ISO/IEC 7498-1:1994(E). Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model.
32. Kotsar' O.V., Mazan V.V. Nekotorye osobennosti sozdanyya ASKUÉ élektro-énerhetycheskykh kompanyy // Énerh. y élektryfykatsyya, 2003. – № 9–10 – S. 37 – 46.
33. Prohrama poslidovnoho vprovadzhenya ASKOE v ORE Ukrainy (druha redaktsiya) // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 25 lystopada 2005 roku № 12.
34. Kotsar O.V., Roman'ko V.M. Metody ta zasoby synkhronizatsiyi vymiryuvan' pid chas dyferentsiyovanooho obliku elektrychnoyi enerhiyi v ORE Ukrainy // Ukrayins'kyi metrolohichnyy zhurnal, 2009. – № 4 – S. 8 – 16.
35. Avtomatyzovani systemy komertsynoho obliku elektroenerhiyi sub'yektiv ORE. Zahal'ni vymohy. Standart ORE // Zatv. Radyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrainy, protokol vid 27 sichnya 2006 roku № 15.
36. Shchodo standartiv z obliku elektrychnoyi enerhiyi dlya sub'yektiv optovoho rynku / A.V. Prakhovnyk, V.I. Prokopets', O.V. Kotsar // Prohresyvni informatsiyni ta komp'yuterni tekhnolohiyi dlya pidvyshchennya efektyvnosti funktsionuvannya enerhopostachal'nykh kompaniy ta elektroenerhetychnykh system. Naukovo-praktychna konferentsiya – Yaremcha, 13 – 17 lyutoho 2006 roku.
37. Prakhovnyk A.V., Kotsar O.V., Prokopets' V.I. Suchasni pryntsyipy pobudovy ASKOE sub'yektiv ORE ta ASKOE spozhyvachiv v umovakh enerhorynku Ukrainy // Énerh. y élektryfykatsyya, 2006. – № 4 – S. 2 – 7.
38. Prakhovnyk A.V., Kotsar O.V. Pereshkody pid chas formuvannya danykh komertsynoho obliku v ASKOE ta shlyakhy yikhn'oho podolannya // Énerh. y élektryfykatsyya, 2008. – № 8 – S. 3 – 7.

39. Prakhovnyk A.V., Kotsar O.V. Kontseptual'ni polozhennya pobudovy ASKOE v umovakh zaprovadzhennya perspektyvnykh modeley enerhorynku Ukrayiny // *Енерг. у електрифікації*, 2009. – № 2 – С. 45 – 50.
40. Kotsar O.V. Kompleksne zabezpechennya dostovirnosti ta aktual'nosti danykh komertsijnogo obliku v umovakh zaprovadzhennya v Ukrayini rynku dvokhstoronnikh dohovoriv i balansuyuchoho rynku // *Енерг. та електрифікація*, 2011. – № 3 – С. 27 – 39.
41. DSTU 5003.1:2008. Avtomatyzovani systemy obliku elektrychnoyi enerhiyi. Zahal'ni polozhennya.
42. DSTU 5003.2:2008. Avtomatyzovani systemy obliku elektrychnoyi enerhiyi. Termin ta vyznachennya ponyat'.
43. DSTU 5003.3-1:2008. Avtomatyzovani systemy obliku elektrychnoyi enerhiyi. Struktura, funktsiyi ta vydy zabezpechennya.
44. DSTU 5003.4-1:2008. Avtomatyzovani systemy obliku elektrychnoyi enerhiyi. Zabezpechennya sumisnosti.
45. Tekhnichni ta orhanizatsiyni vymohy do pobudovy avtomatyzovanykh system obliku elektroenerhiyi na ob'yektakh NEK «Ukrenerho» (druha redaktsiya) // *Zatv. nauk.–tekh. radoyu NEK «Ukrenerho»*, protokol vid 22 veresnya 2005 roku № 6.
46. Zahal'ni tekhnichni vymohy do Avtomatyzovanoj systemy komertsijnogo obliku Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrayiny. CH.II. Systema tochnoho chasu ta pidsystema zabezpechennya synkhronnosti vymiryuvan' Avtomatyzovanoj systemy komertsijnogo obliku Optovoho rynku elektroenerhiyi Ukrayiny. Dodatok 7.4 do Dohovoru mizh Chlenamy Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi // *Zatv. Radoyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrayiny*, protokol vid 24 veresnya 2004 roku № 12.
47. Systema tochnoho chasu ta pidsystema zabezpechennya synkhronnosti vymiryuvan' v ASKOE ORE Ukrayiny. Tekhnichne zavdannya [Elektronnyy resurs] / Razrab. O.V. Kotsar – kerivn. rozrob., V.V. Mazan // *Zatv. ZAT «INET» 01 kvitnya 2006 roku – 170 s.*, dod. – Rezhym dostupu: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=13&wid=8c816a267d311b8a2898a5c94432725c>
48. Pro vnesennya zmin do Umov ta Pravyl zdiysnennya litsenzovanoj diyal'nosti z vyrobnytstva, peredachi y postachannya elektrychnoyi enerhiyi [Elektronnyy resurs] // *Postanovy NKRE vid 15 lypnya 2010 №№815, 816, 817, 818, 819, 820* – Rezhym dostupu: <http://consultant.parus.ua/?doc=07C62A53E2>.
49. Kotsar O.V., Ras'ko YU.O. Formuvannya informatsijnogo zabezpechennya komertsijnykh rozrakhunkiv v ORE Ukrayiny // *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2014. – № 3 – С. 38 – 45.
50. Poryadok perevirky danykh otrymanykh vid avtomatyzovanykh system komertsijnogo obliku elektroenerhiyi sub'yektiv ORE // *Zatv. Radoyu Optovoho rynku elektrychnoyi enerhiyi Ukrayiny*, protokol vid 24 lystopada 2011 roku № 20, pohodzheno postanovoyu NKRE vid 16 hrudnya 2010 roku № 1875.
51. Kontseptsiya Informatsiyno-obchyslyval'noho kompleksu Holovnoho operatora Systemy komertsijnogo obliku Optovoho rynku elektroenerhiyi Ukrayiny / Rozrob.: A.V. Prakhovnyk – kerivn. rozrob., O.V. Kotsar, YU.O.Ras'ko // *Zatv. DP «Enerhorynok» 10 lystopada 2011 roku – 68 s.*
52. Instruksiya pro poryadok formuvannya kodiv yakosti danykh komertsijnogo obliku / Rozrob.: O.V. Kotsar – kerivn. rozrob., YU.O. Ras'ko // *Zatv. TOV «UNVK-ETU» 31 travnya 2012 roku – 32 s.*
53. Vymohy do poryadku zboru, obrobky ta obminu danymy komertsijnogo obliku elektroenerhiyi v ORE Ukrayiny / Rozrob.: O.V. Kotsar – kerivn. rozrob., YU.O. Ras'ko // *Zatv. IEE NTUU «KPI» 10 sichnya 2013 roku – 75 s.*
54. Poryadok kontrolyu dostovirnosti danykh komertsijnogo obliku v ASKOE ORE / Rozrob.: M. Arbuzov, A. Skrypnychenko, M. Smyk, A. Slyvchenko, V. Voytsits'kyi, V. Arbuzov (kerivnyk rozrobky) // *Zatv. TOV «NVP «Preobrazovatel'» 30 kvitnya 2013 roku – 80 s.*
55. Poryadok provedennya pryymal'nykh vyprobuvan' ASKOE sub'yektiv rynku. Typova prohrama provedennya pryymal'nykh vyprobuvan' / Rozrob.: O.V. Kotsar – kerivn. rozrob., YU.O. Ras'ko // *Zatv. IEE NTUU «KPI» 03 zhovtnya 2013 roku – 41 s.*
56. Ekspluatatsiya ta tekhnichne obsluhovuvannya ASKOE sub'yektiv rynku elektroenerhiyi / Rozrob.: O.V. Kotsar – kerivn. rozrob., YU.O. Ras'ko // *Zatv. IEE NTUU «KPI» 16 veresnya 2013 roku – 34 s.*
57. Pravyla formuvannya identyfikatoriv v rynku elektroenerhiyi Ukrayiny na bazi vykorystannya systemy identyfikatsiyi EIS ENTSO-E ta poryadok nadannya ta vedennya identyfikatoriv sub'yektiv ta ob'yektiv rynku elektroenerhiyi // *Zatv. TOV «Ukrenerhonaladka», 2013. – 138 s.*
58. Pro vnesennya zmin do Pravyl korystuvannya elektrychnoyu enerhiyeyu // *Postanova NKRE vid 17 zhovtnya 2005 roku № 910.*
59. Pravyla korystuvannya elektrychnoyu enerhiyeyu // *Zatv. Postanovoyu NKRE vid 31 lypnya 1996 roku № 28 u redaktsiyi Postanovy NKRE vid 17 zhovtnya 2005 roku № 910 iz zminamy i dopovnennyamy.*
60. Kotsar O.V., Polishchuk O.YU. Praktychni aspekty pobudovy ta ekspluatatsiyi ASKOE kintsevykh spozhyvachiv // *Енерг. та електрифікація*, 2013. – № 6 – С. 53 – 64.
61. *Закон України «Про ринок електричної енергії»*. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=58829.

62. Kodeks komertsiynoho obliku elektrychnoyi enerhiyi. Proekt. Versiya 0.75 vid 31.10.2017 r. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/KKO_2017-11-03.pdf.

63. ENTSO-E. European Network of Transmission System Operators for Electricity. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.entsoe.eu/>.

О.В. Коцарь, канд.техн.наук, доц

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

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ УКРАИНЫ

Обеспечение точного и достоверного учета на всех участках производства, передачи и использования электроэнергии является неотъемлемым условием успешного внедрения и эффективного функционирования либерализованных рынков электрической энергии. В статье исследовано формирование информационного обеспечения функционирования рынка электрической энергии Украины. Рассмотрены этапы построения АСКУЭ на оптовом и розничном рынках электрической энергии Украины, в частности, АСКУЭ ОРЭ, ИВК Главного оператора, АСКУЭ субъектов ОРЭ и АСКУЭ потребителей электропередающих компаний - ПРТ. Обосновано, что для успешного внедрения и эффективного функционирования либерализованного рынка электрической энергии Украины необходимо обеспечить интегрирование всех составляющих в единую полномасштабную распределенную АСКУЭ рынка электрической энергии, которая функционирует на принципах открытой архитектуры и единого нормативного обеспечения, надежно реализует точные синхронные измерения и учет электроэнергии во всех точках рынка, формирует полные, достоверные и актуальные данные коммерческого учета и обеспечивает предоставление данных учета, в т.ч. первичных, всем субъектам либерализованного рынка электрической энергии, который объединяет электроэнергетические компании и конечных потребителей для достижения стратегической цели – повышение эффективности энергоиспользования и сокращения вредного воздействия на окружающую природную среду.

Ключевые слова: АСКУЭ, измерения, Главный оператор, данные коммерческого учета, электроэнергия, учет, ОРЭ, либерализация, рынок электрической энергии.

Надійшла 29.10.2017

Received 29.10.2017

УДК 621.577 + 644.652 + 697

М.К. Безродний, д-р техн. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0788-5011

Н.О. Притула, канд. техн. наук, асист., ORCID 0000-0002-3500-5165

Т.О. Місюра

Национальный техничний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СХЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ І СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Проаналізовано ефективність теплонасосної системи опалення з використанням попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря. Розроблено теоретичну модель цієї системи та виконано числовий аналіз її термодинамічної ефективності. Встановлено, що застосування даної системи дозволяє забезпечити більш сприятливі температурні умови роботи теплового насоса в холодний період року, зменшити сумарні питомі затрати зовнішньої енергії на опалення в порівнянні з системою без підігріву. Отримано графічні залежності з зображенням оптимальних режимів роботи теплонасосної системи.

Ключові слова: повітряний тепловий насос, сонячний колектор, сумарні питомі затрати зовнішньої енергії, низькотемпературна система опалення.

Вступ. Безперервний технологічний прогрес, який ми можемо спостерігати у світі, є досить енергоємним процесом, левова частка енергії, що споживається різними галузями щорічно, отримується в результаті використання невідновлюваних джерел, тобто корисних копалин, запасів яких може вистачити лише на декілька сотень років. Тому останніми роками актуальним питанням у теплоенергетичній сфері стало знаходження шляхів, які б змогли зменшити навантаження на традиційні установки.

Пошуками ефективних альтернативних джерел енергії займаються усі провідні країни світу. Деякі з них, такі як країни Скандинавії, впроваджують на законодавчому рівні проекти, що спонукають громадян використовувати енергозберігаючі заходи. Уряд спеціально виділяє для цього кошти на основні капіталовкладення, необхідні для переходу до нетрадиційних енергосистем.

Найбільш поширеними серед даних енергосистем є теплонасосні схеми опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, які як нижнє джерело теплоти утилізують теплоту ґрунту, ґрунтових вод або атмосферного повітря. Останній вид джерела теплоти набув особливо широкого застосування, насамперед, через низькі капіталовкладення в порівнянні з іншими джерелами енергії. Необмеженість та доступність атмосферного повітря робить повітряні теплові насоси (ТН) також більш привабливими для рядового споживача. Проте значним недоліком даних установок є втрата потужності та ефективності із зниженням температури повітря [1].

Для України температурний потенціал атмосферного повітря є недостатнім для ефективного використання теплонасосної системи для цілей опалення протягом холодного періоду року. Для м. Києва, наприклад, розрахункова температура на опалення становить -22°C . Деякі виробники теплонасосного обладнання припускають нормальну роботу своєї продукції за температур зовнішнього повітря до -20°C . Проте в даних умовах роботи коефіцієнти трансформації та використання первинної енергії палива зазвичай знаходяться нижче значень, які прийняті для енергоефективної системи. Тому виникає задача розробки і дослідження комбінованих теплонасосних систем з використанням додаткових джерел теплоти для забезпечення роботи повітряних ТН протягом усього опалювального періоду.

Одним із таких джерел є енергія сонячного випромінювання, яка за сонячної погоди здатна забезпечувати взимку температуру води в сонячних вакуумних колекторах (СК) до $20 - 30^{\circ}\text{C}$ [2]. Нині великою популярністю користуються схеми, в яких ТН поєднуються із СК різних конструкцій для забезпечення низькотемпературного водяного опалення та гарячого водопостачання. Але, на жаль, в Україні зими, в основному, з великою хмарністю і тому на Сонце можна покладатись лише в демісезон (весна-осінь). Проте сонячна енергія може бути додатковим джерелом для підігрівання низькотемпературного теплоносія перед випарником ТН [3]. У зв'язку з цим авторами запропонована та проаналізована принципова схема теплонасосної системи опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря.

Мета та завдання

Метою статті є аналіз ефективності теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної радіації.

Опис роботи схеми

На рис. 1 зображена принципова схема теплонасосної системи опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря. Принцип роботи схеми: теплоносій СК (наприклад, 35%-ний водний розчин пропиленгліколю) проходить через змійовик контактного теплообмінника (КТО), віддаючи теплоту сонячної радіації воді, яка циркулює у даному апараті. За допомогою вентилятора у КТО подається атмосферне повітря з температурою t_0 та масовою витратою $G_{\text{п}}$. Вода, що циркулює в теплообміннику, розпилюється за допомогою форсунок у його верхній частині і підігріває повітря до температури t_1 . Підігріте атмосферне повітря надходить до випарника ТН, де воно охолоджується і на виході має температуру $t_{\text{в}}$. Для компенсації витрат теплоти на опалення використовується тепловий потік від компресора ТН $Q_{\text{оп}}$ з температурою теплоносія $t_{\text{к}}$ на вході в систему опалення.

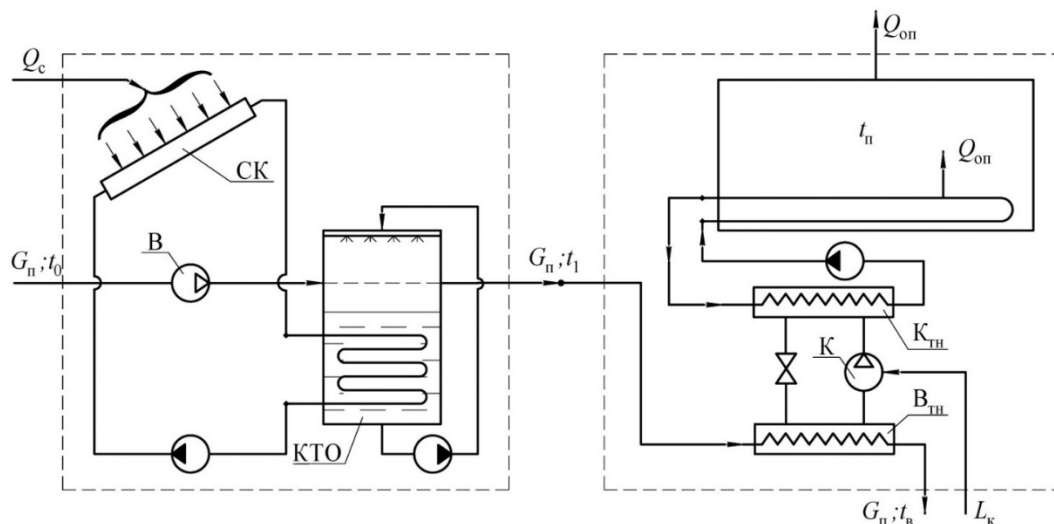


Рисунок 1 – Принципова схема теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря:
 $K_{тн}$ – конденсатор ТН; $B_{тн}$ – випарник ТН; K – компресор; B – вентилятор; $СК$ – сонячний колектор;
 $КТО$ – контактний теплообмінник для підігріву атмосферного повітря.

Термодинамічний аналіз теплонасосної системи опалення

Попередній аналіз представленої вище схеми дозволяє зробити висновок, що використання додаткового джерела теплоти (у вигляді сонячної енергії) для повітряного ТН при будь-якій температурі зовнішнього повітря приводить до збільшення температури повітря t_1 на вході до випарника ТН і це збільшення залежить від загальної потужності СК. Тому подальший кількісний аналіз схеми можна виконати двояким способом, а саме: задавшись або температурою t_1 , або тепловою потужністю СК (Q_c) при розрахунковій температурі атмосферного повітря. Для цього перш за все треба визначити співвідношення для поки що невідомих величин t_1 і Q_c .

Залежності для величин t_1 і Q_c можна отримати із системи рівнянь теплового балансу для сонячної установки і об'єкту опалення з ТН (виділені на схемі штриховими лініями). Відповідні рівняння мають вигляд:

$$Q_c + G_{п} c_p t_0 + L_{в} = G_{п} c_p t_1, \quad (1)$$

$$G_{п} c_p t_1 + L_{к} = G_{п} c_p t_{в} + Q_{оп}, \quad (2)$$

де $L_{к}$, $L_{в}$ – потужності приводу компресора ТН та вентилятора, кВт; $Q_{оп}$ – тепловий потік на опалення, кВт; $G_{п}$ – масова витрата повітря, що подається на випарник ТН, кг/с; t_0 , $t_{в}$ – температури зовнішнього повітря і повітря на виході з випарника ТН, °С.

Потужності приводу компресора ТН і вентилятора визначаються за співвідношеннями

$$L_{к} = \frac{Q_{вип}}{(\phi - 1)}, \quad (3)$$

$$L_{в} = \frac{G_{п}}{\rho_{п}} \Delta p \frac{1}{\eta}, \quad (4)$$

де $Q_{вип}$ – теплове навантаження випарника ТН, кВт; ϕ – коефіцієнт трансформації теплоти ТНУ; $\rho_{п}$ – густина повітря, кг/м³; Δp – втрати тиску у випарнику ТН, кПа; $\eta = \eta_{в} \eta_{пр}$; $\eta_{в}$ і $\eta_{пр}$ – ККД вентилятора і його приводу відповідно.

Теплове навантаження випарника ТН у цьому випадку буде визначатись так

$$Q_{вип} = G_{п} c_p (t_1 - t_{в}), \quad (5)$$

де $G_{\text{п}}$ – масова витрата атмосферного повітря на випарник ТН, кг/с; c_p – ізобарна теплоємність повітря, кДж/(кг·°С); $t_1, t_{\text{в}}$ – температури повітря на вході та виході з випарника ТН відповідно, °С.

Тоді, із системи рівнянь (1) – (2) з урахуванням (3), (4) і (5) можемо отримати вирази для t_1 і $Q_{\text{с}}$, які мають вигляд:

$$t_1 = t_0 + \frac{A}{\eta} + \frac{Q_{\text{с}}}{Q_{\text{оп}}} \frac{\varphi}{\varphi - 1} \Delta t, \quad (6)$$

$$\frac{Q_{\text{с}}}{Q_{\text{оп}}} = \frac{(t_1 - t_0) \varphi - 1}{\Delta t} - \frac{A \varphi - 1}{\eta \varphi} \frac{1}{\Delta t}, \quad (7)$$

де $\Delta t = t_1 - t_{\text{в}}$ – різниця температур повітря на вході і виході з випарника ТН, °С; $A = \Delta p / (\rho_{\text{п}} c_p)$ – комплекс постійних величин, що залежить від аеродинамічного опору випарника.

Різниця температур Δt в формулах (6) і (7) на вході і виході з випарника ТН може бути прийнята рівною оптимальному значенню, яке при врахуванні роботи компресора і вентилятора згідно з роботою [2] визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{A(273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}})}{\eta_{\text{в}} \eta_{\text{пр}}}} \left[\eta_{\text{ТН}} - 1 + \frac{273 + t_1 - \Delta t_{\text{вип}}}{273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}}} \right] \quad (8)$$

і слабо залежить від температури на вході до випарника ТН [2].

Коефіцієнт трансформації теплоти ТН визначається як

$$\varphi = \varphi_{\text{Т}} \eta_{\text{ТН}}, \quad (9)$$

де $\eta_{\text{ТН}}$ – коефіцієнт, що враховує реальні процеси, що здійснюються робочим тілом у ТН, який згідно з рядом джерел може змінюватись в діапазоні 0,6...0,8 (приймаємо $\eta_{\text{ТН}} = 0,6$) [4, 5]; $\varphi_{\text{Т}}$ – теоретичний коефіцієнт трансформації ТН.

Коефіцієнт трансформації теплоти ідеального циклу Карно $\varphi_{\text{Т}}$ з урахуванням теплових необоротностей у випарнику та конденсаторі ТН визначається за співвідношенням

$$\varphi_{\text{Т}} = \frac{T_{\text{к}}^{\text{ТН}}}{T_{\text{к}}^{\text{ТН}} - T_{\text{в}}^{\text{ТН}}} = \frac{273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}}}{t_{\text{к}} - t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{в}}}, \quad (10)$$

де $T_{\text{в}}^{\text{ТН}}$ – абсолютна температура випаровування холодильного агента у випарнику ТН, К; $T_{\text{к}}^{\text{ТН}}$ – абсолютна температура конденсації холодильного агента в конденсаторі ТН, К; $t_{\text{в}}$ – температура відпрацьованого повітря на виході з випарника ТН, °С; $t_{\text{к}}$ – температура води на виході з конденсатора ТН, °С; $\Delta t_{\text{в}}$ – температурний перепад між потоками відпрацьованого повітря й холодильного агента на виході з випарника ТН, °С; $\Delta t_{\text{к}}$ – температурний перепад між потоками холодильного агента і гріючого теплоносія в системі опалення на виході з конденсатора ТН, °С. У літературі наводяться числові значення температурних перепадів у конденсаторі і випарнику для ТН типу «повітря – вода». Згідно з [4] для конденсатора ТН можна прийняти $\Delta t_{\text{к}} = 5^\circ\text{С}$, для випарника – $\Delta t_{\text{в}} = 10^\circ\text{С}$.

Температура теплоносія, що подається в систему опалення, визначається за співвідношенням [6]

$$t_{\text{к}} = t_{\text{п}} + (t_{\text{Т}}^{\text{п}} - t_{\text{п}}) \left[\frac{(t_{\text{п}} - t_0)}{(t_{\text{п}} - t_0^{\text{п}})} \right]^{1/(1+n)}, \quad (11)$$

де $t_{\text{п}}$ – температура повітря у приміщенні, становить 20°С ; t_0 – температура навколишнього атмосферного повітря; $t_{\text{Т}}^{\text{п}}$ – розрахункова температура гріючого теплоносія в системі опалення за розрахункової температури атмосферного повітря $t_0^{\text{п}}$ (у даних розрахунках ця температура складає

-22°C); $n = 0$ для низькотемпературних систем опалення. Розрахункова температура теплоносія в системі опалення приймається $t_T^P = 45$ °C.

Важливим параметром при визначенні коефіцієнта трансформації ТН є температура повітря на виході з випарника, що визначається як

$$t_B = t_1 - \Delta t_{\text{опт}} \quad (12)$$

Саме ця температура, буде визначати ефективність роботи ТН за прийнятих умов. Тому, визначення мінімального значення цієї температури має принципове значення. В умовах використання додаткового джерела енергії для подальших розрахунках ми можемо прийняти, що мінімальне значення t_B знаходиться на рівні розрахункової температури зовнішнього повітря t_0^P . При цьому теплота атмосферного повітря не буде використовуватись, а необхідна витрата теплоти в випарнику ТН буде повністю покриватись за рахунок сонячної енергії. Тоді, із (12) випливає, що відповідна температура повітря на вході до випарника ТН буде мати граничне значення

$$t_1^{\Gamma P} = t_0^P + \Delta t_{\text{опт}}, \quad (13)$$

яке дозволить за формулою (7) визначити відповідну максимальну відносну потужність СК. Слід зазначити, що мінімальне значення температури t_B може бути прийняте на більш високому рівні, але це потягне за собою, у відповідності з (13), підвищення температури $t_1^{\Gamma P}$ і, як наслідок, збільшення необхідної відносної потужності СК.

При підвищенні температури атмосферного повітря температура t_1 на вході у випарник буде визначатись за рівнянням (5) в залежності від відношення $Q_c / Q_{\text{оп}}$, яке не буде залежати від атмосферних умов, оскільки тепловий потік, що відводиться в теплообміннику повітрям Q_c буде зменшуватись приблизно пропорційно зменшенню витрат теплоти на опалення внаслідок зменшення температурного напору між теплоносіями в теплообміннику.

Важливою характеристикою комбінованої теплонасосної установки є також аналіз відносного вкладу окремих нижніх джерел енергії в загальну витрату теплоти на опалення. При цьому вклад сонячної складової визначається рівнянням (6), а вклад теплоти атмосферного повітря може бути визначений із рівняння теплового балансу ТН, яке можна записати у вигляді

$$Q_{\text{п}} + Q_c + L_B + L_K = Q_{\text{оп}}, \quad (14)$$

де $Q_{\text{п}}$ – тепловий потік, що вноситься із атмосферним повітрям, кВт.

Розділивши ліву та праву частини рівняння (14) на $Q_{\text{оп}}$, з урахування співвідношень (3) і (4), отримаємо

$$\beta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{оп}}} = \frac{\varphi - 1}{\varphi} - k - \frac{\varphi - 1}{\varphi} \frac{A}{\eta \Delta t_{\text{опт}}}, \quad (15)$$

де $k = Q_c / Q_{\text{оп}}$ – доля сонячної енергії в покритті загальних потреб теплоти на опалення.

Ефективність роботи теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з урахуванням затрат енергії на привід компресора ТН і вентилятора, що нагнітає повітря у випарник ТН, можна охарактеризувати величиною питомих затрат зовнішньої енергії на опалення, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення

$$l_{\text{оп}} = \frac{L_K + L_B}{Q_{\text{оп}}}. \quad (16)$$

З урахуванням (3), (4), (5) після ряду математичних перетворень рівняння (16) для оцінки сумарних питомих затрат зовнішньої енергії на теплонасосну систему опалення буде мати вигляд

$$l_{\text{оп}} = \frac{1}{\varphi} \left[1 + \frac{A}{\eta} \cdot \frac{(\varphi - 1)}{\Delta t_{\text{опт}}} \right]. \quad (17)$$

Розрахунковий аналіз схеми

Метою чисельного аналізу був вибір відносної теплової потужності системи СК, що забезпечує витрату теплоти на опалення в найбільш холодний період, тобто при розрахунковій температурі атмосферного повітря, а також інших параметрів теплонасосної схеми, що характеризують ефективність її роботи.

Залежність відносної теплової потужності системи СК від температури повітря t_1 на вході до випарника ТН розрахована за формулою (6) і наведена на рис. 2. На цьому рисунку штриховими лініями відмічені граничні значення температури $t_1^{ГР}$, розраховані за формулою (13) і відповідні їм максимальні значення відносної потужності СК за різних значень комплексу A . Ці максимальні значення відношення $Q_c / Q_{оп}$ слабо залежать від величини A і знаходяться в діапазоні $Q_c / Q_{оп} = 0,517...0,557$. Це означає, що при такій відносній потужності СК, вони повністю забезпечують потреби теплоти на опалення в розрахунковий період.

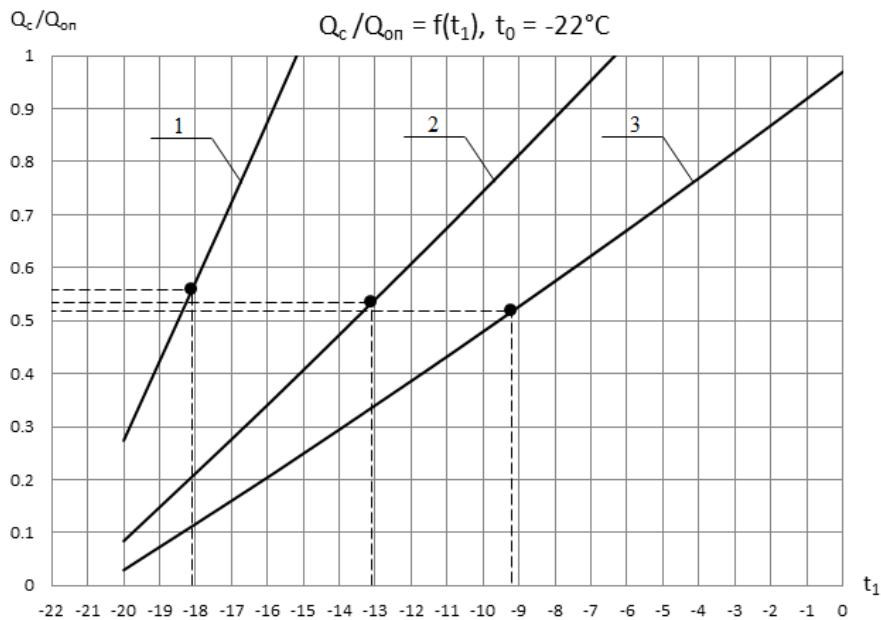
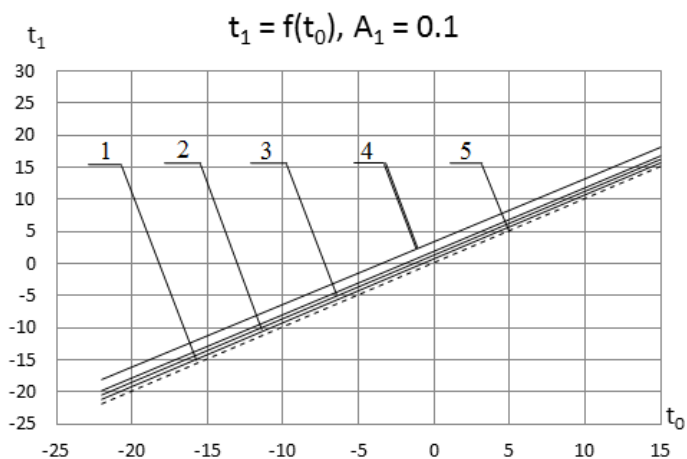


Рисунок 2 – Залежності відношення теплового навантаження СК до потоку теплоти на опалення від температури повітря на вході до випарника ТН: 1-3 – $A = 0,1; 0,5; 1,0$.

На рис. 3, а-в показана залежність температури повітря на вході до випарника від температури зовнішнього повітря при різних значеннях відношення $k = Q_c / Q_{оп}$. Штрихові лінії на графіках відповідають значенню $k = 0$, тобто випадку за відсутності СК і тоді $t_1 = t_0$. З графіків видно, що підігрів повітря за рахунок сонячної енергії за прийнятої потужності СК призводить до більш суттєвого підвищення температури t_1 при великих значеннях комплексу A , тобто при великих значеннях аеродинамічного опору випарника ТН (рис. 3в).



а)

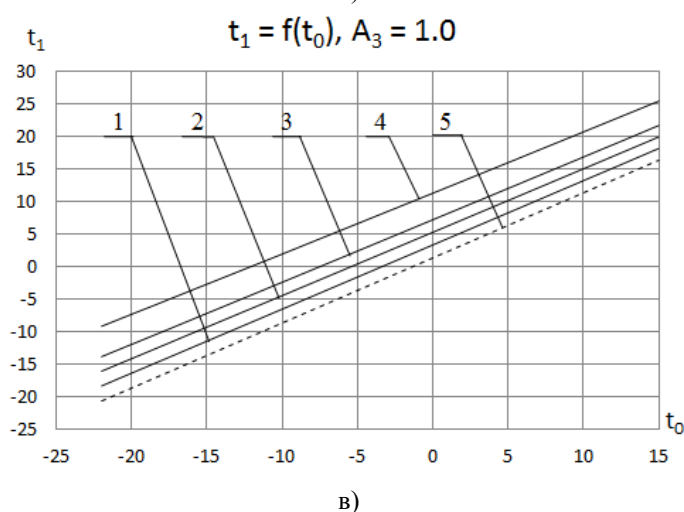
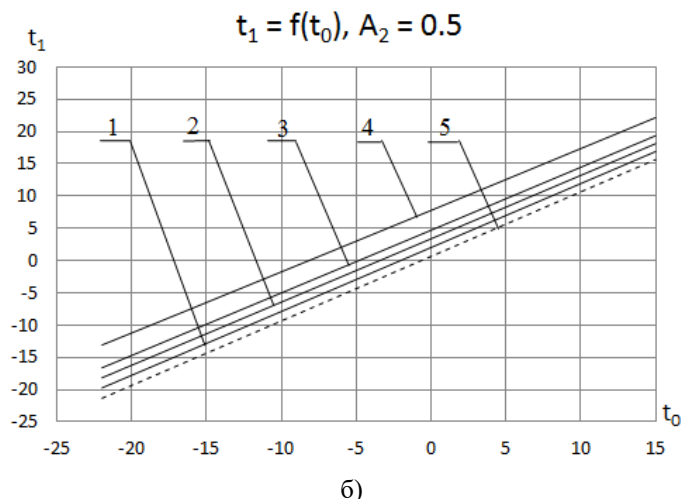


Рисунок 3 – Залежності температури повітря на вході до випарника ТН від температури атмосферного повітря: а), б), в) – $A = 0,1; 0,5; 1,0$ відповідно; 1-3 – $k = 0,1; 0,2; 0,3$; 4 – $k_{кр} = 0,557$ (а); $0,533$ (б); $0,517$ (в); 5 – $k = 0$.

На рис. 4, а-в наведені графічні залежності відношення теплового потоку, отриманого за рахунок використання теплоти атмосферного повітря, до загальної витрати теплоти на опалення від температури атмосферного повітря $\beta = f(t_0)$, з яких видно, що коефіцієнт β зменшується зі збільшенням коефіцієнтів k та A і збільшується при підвищенні температури атмосферного повітря. Усе поле на графіках для коефіцієнта β нанесені криві ділять на три області: нижче кривих – область, що відповідає частці теплоти зовнішнього повітря в загальних потребах теплоти на опалення; між суцільними кривими та штрихованою лінією – частка сонячної енергії; вище штрихованої лінії – частка енергозатрат на привід компресора ТН і вентилятора. Видно, що за критичних значень коефіцієнтів k (криві 4) та розрахункового значення температури атмосферного повітря t_0^p величина $\beta = 0$, тобто теплота зовнішнього повітря в ТН не використовується.

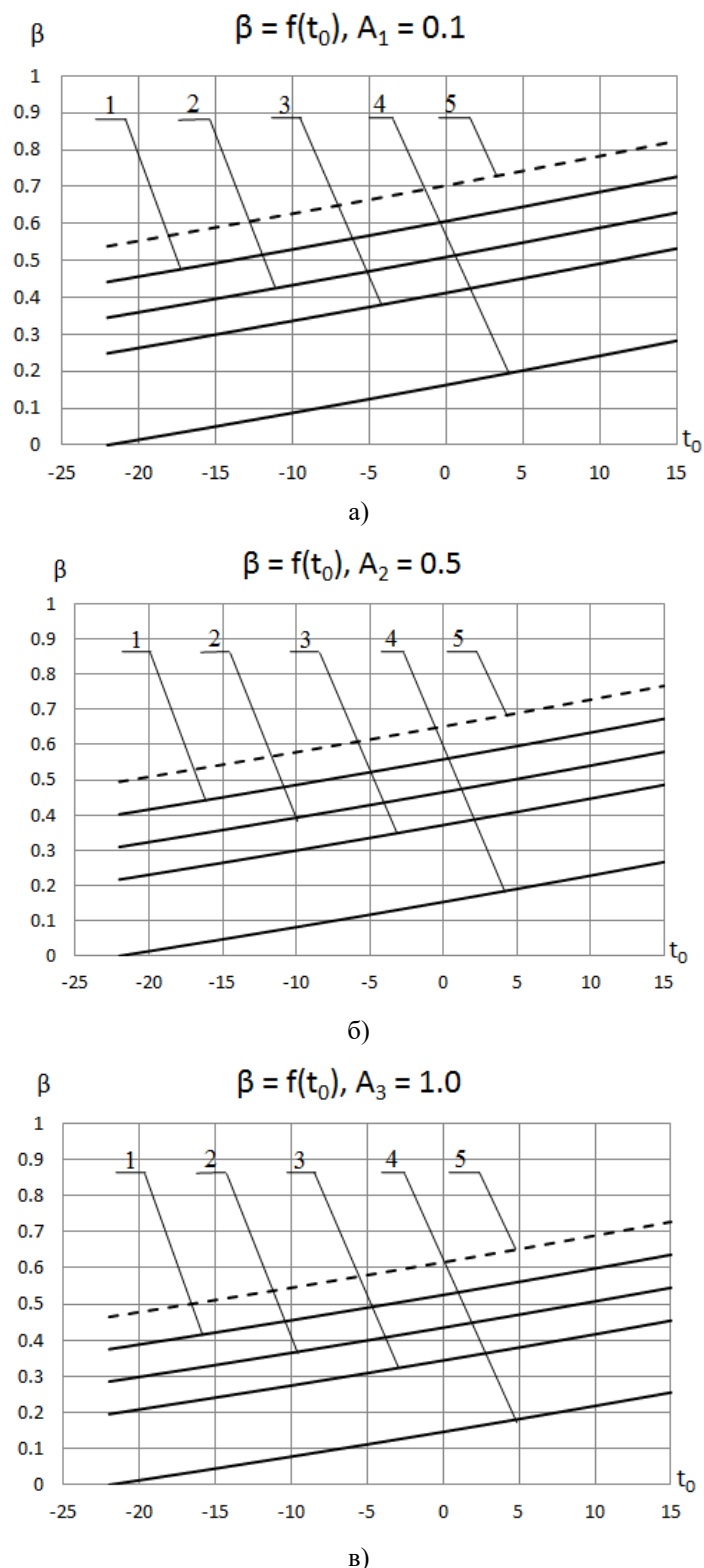


Рисунок 4 – Залежності відношення теплового потоку, що вноситься із атмосферним повітрям, до загальної витрати теплоти на опалення від температури атмосферного повітря: а), б), в) – $A = 0,1; 0,5; 1,0$ відповідно; 1-3 – $k = 0,1; 0,2; 0,3$; 4 – $k_{кр} = 0,557$ (а); $0,533$ (б); $0,517$ (в); 5 – $k = 0$.

На основі числового аналізу співвідношення (16) побудовано графічні залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури атмосферного повітря (рис. 5, а-в). Видно, що питомі затрати зменшуються з підвищенням температури навколишнього повітря та зі зростанням коефіцієнту k . При

збільшенні аеродинамічного опору випарника ТН (при зростанні A) питомі затрати, навпаки, збільшуються. Але перевага використання досліджуваної схеми порівняно з вихідною проявляється саме за високих значень коефіцієнта A . При значенні $A = 0,1$ ця перевага стає мінімальною.

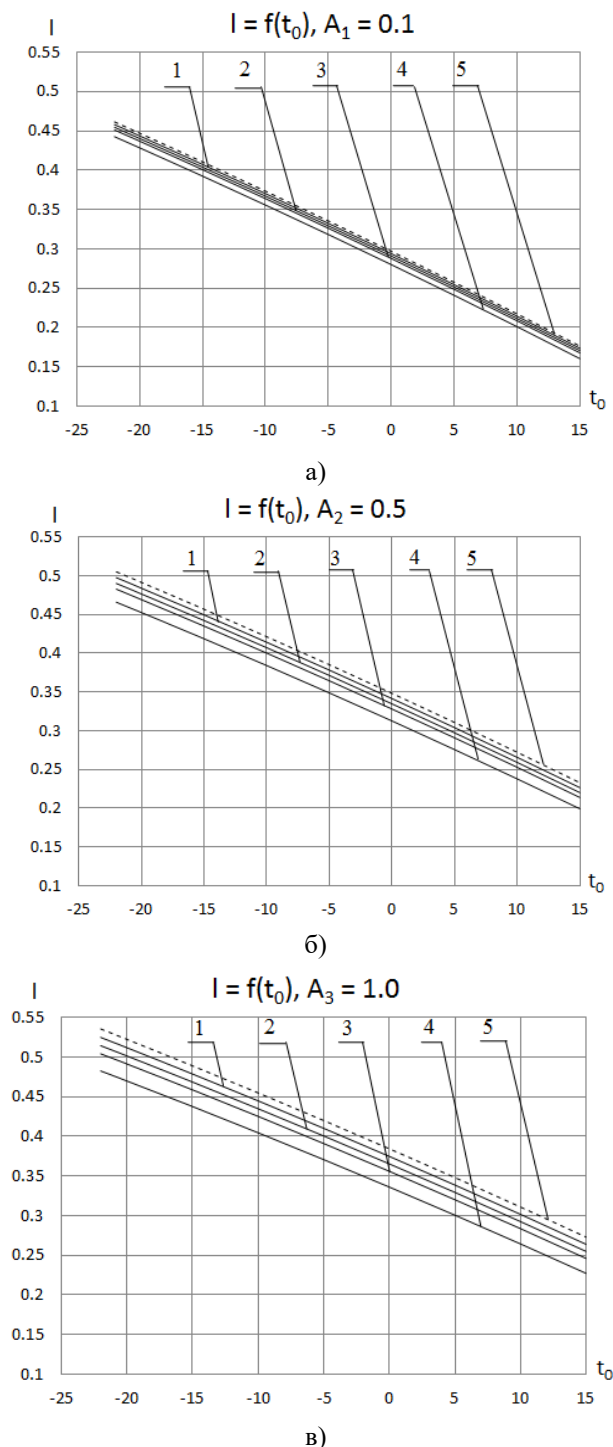


Рисунок 5 – Залежності питомих затрат зовнішньої енергії від температури атмосферного повітря: а), б), в) – $A = 0,1; 0,5; 1,0$ відповідно; 1-3 – $k = 0,1; 0,2; 0,3$; 4 – $k_{кр} = 0,557$ (а); $0,533$ (б); $0,517$ (в); 5 – $k = 0$.

Висновки

1. Використання теплоти підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря дозволяє забезпечити більш сприятливі температурні умови роботи ТН в холодний період року, підвищуючи температуру повітря на вході та виході з випарника.

2. Комбіноване використання теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії в повітряних теплових насосах дає можливість забезпечити потреби теплоти на опалення при значному зменшенні необхідної теплової потужності або площі сонячних колекторів.

3. Наведена методика розрахунку дає змогу оцінити необхідну потужність сонячних колекторів за різних розрахункових температур атмосферного повітря.

4. Використання сонячної радіації як додаткового джерела теплоти для повітряних ТН в загальному випадку призводить до суттєвого зниження затрат зовнішньої енергії на вироблення теплоти в низькотемпературних теплонасосних системах опалення.

Список використаної літератури

1. Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами [Текст] / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.

2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Пritула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с.

3. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.

4. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов [Текст] / Т. В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.

5. Steward F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward // Energy Conversion Mgmt. – 1984. Vol. 24 – № 2. – С. 123–129.

6. Шубин Е. П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов [Текст] / Е. П. Шубин. – М: Энергия, 1979. – 359 с.

M. Bezrodny, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID**: 0000-0002-0788-5011

N. Prytula, Cand. Sc. (Eng.), TF, **ORCID**: 0000-0002-3500-5165

T. Misiura

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE HEAT PUMP HEATING SCHEME USING THE HEAT OF ATMOSPHERIC AIR AND SOLAR ENERGY

In this article the efficiency of a heat pump low-temperature water heating system using the preheated with solar radiation atmospheric air is analysed. A theoretical model of the system has been developed and a numerical analysis of its thermodynamic efficiency was conducted. The purpose of numerical analysis was to obtain values of solar collector specific thermal power which would be optimal to provide enough heat for the heating system during the coldest period, i.e. at rated temperature of atmospheric air, as well as other parameters of the heat pump scheme which characterise the efficiency of its operation. It was found that the use of this system makes it possible to provide more favourable temperature conditions for the operation of a heat pump in the cold period of year, to reduce total specific costs of external energy for heating in comparison with the system without preheating of atmospheric air. Graphic dependencies were obtained with the image of optimal operating conditions of the heat pump system.

Key words: air heat pump, solar collector, total specific costs of external energy, low-temperature heating system

References

1. Gershkovich, V. F. (2009). Features of the design of heating systems of buildings with heat pumps. Kyiv, Ukraine: Ukrainian Academy of Architecture "Energomimum", 60 p.

2. Bezrodny M.K. Thermodynamic and energy efficiency of heat pump heat supply circuits: monograph / M.K. Bezrodny, N.O. Pritula - Kyiv: NTUU "KPI" View "Polytechnic", 2016. - 272 p.

3. Bezrodny M. K., Pukhovy I. I., Kutra D. S. Heat pumps and their use. Kyiv, NTUU «KPI» Publ., 2013. 312 p.

4. Morozjuk, T. V. (2006). The theory of chillers and heat pumps. Odessa, Ukraine: Studija «Negoci-ant», 712 p.

5. Steward, F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward // Energy Conversion Mgmt. – 1984. Vol. 24 – № 2. – pp. 123–129.

6. Shubin, E. P. (1979). The main issues of cities' heating systems designing. Moscow, USSR: Jenergija, 359 p.

УДК 621.316

М.К. Безродный, д-р техн. наук, проф., ORCID: 0000-0002-0788-5011

Н.А. Притула, канд. техн. наук, асис., ORCID: 0000-0002-3500-5165

Т.А. Мисюра

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

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СХЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ АТМОСФЕРНО-ГО ВОЗДУХА И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Проанализирована эффективность теплонасосной системы отопления с использованием предварительно подогретого за счёт солнечной радиации атмосферного воздуха. Разработана теоретическая модель этой системы, и выполнен числовой анализ её термодинамической эффективности. Установлено, что использование данной системы позволяет обеспечить более благоприятные температурные условия работы ТН в холодный период года, уменьшить суммарные удельные затраты внешней энергии на отопление в сравнении с системой без подогрева. Получены графические зависимости с изображением оптимальных режимов работы теплонасосной системы.

Ключевые слова: воздушный тепловой насос, солнечный коллектор, суммарные удельные затраты внешней энергии, низкотемпературная система отопления.

Надійшла 02.10.2017

Received 02.10.2017

УДК 536.24

Ю.Е. Николаенко, д-р техн. наук, ст. научн. сотр., ORCID 0000-0002-3036-5305

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

Б.И. Басок, член-корреспондент НАН Украины, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-8935-4248

Институт технической теплофизики НАН Украины

Д.В. Козак, аспирант

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

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Проблема энергосбережения является актуальной как для Украины, так и для других стран мира. От 19 до 22 % вырабатываемой в мире электроэнергии расходуется на освещение, значительная часть которой идет на внутреннее освещение помещений жилищного фонда и объектов социально-культурного назначения. В статье предложены новые схемы энергоэффективных светодиодных осветительных приборов с тепловыми трубами для использования их в энергоэффективных зданиях с минимальным потреблением электроэнергии. Экспериментально исследованы зависимости термического сопротивления тепловых труб от мощности светодиодных модулей. Исследовано влияние материала тепловых труб, типа капиллярной структуры и вида теплоносителей на термическое сопротивление тепловых труб. Показано, что для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодных осветительных приборов наиболее рациональными вариантами являются конструкции медных и алюминиевых тепловых труб с резьбовой капиллярной структурой, как более технологичные по сравнению с тепловыми трубами, имеющими другие типы капиллярных структур. Рекомендованными теплоносителями для медных тепловых труб являются этанол и хладон 141b, для алюминиевых тепловых труб – n-пентан и хладон 141b.

Ключевые слова: тепловая труба, термическое сопротивление, светодиодный осветительный прибор, энергоэффективное здание.

Введение

Проблема сокращения вредных выбросов в атмосферу, образующихся при сжигании органических видов топлива на тепловых электростанциях, является крайне актуальной. Улучшения экологического состояния окружающей среды можно достичь путем снижения использования органических видов топлива в структуре энергопотребления и расширения использования возобновляемых источников энергии – солнечной энергии и энергии ветра, а также путем более эффективного использования имеющихся энергоресурсов. Основными потребителями энергии в Украине, как и в большинстве европейских стран, являются жилые дома и объекты социально-культурного назначения. Ими потребляется более 30% конечной энергии [1].

Жилые здания и объекты социально-культурного назначения используют как тепловую, так и электрическую энергию. Большинство опубликованных в последние годы результатов научных исследований посвящено снижению потребления тепловой энергии, идущей на создание комфортных условий для нахождения человека в жилом помещении, путем реализации концепции построения энергоэффективных зданий пассивного типа с минимальным потреблением энергии и домов типа «ноль энергии» с полным исключением потребления традиционных источников энергии [2, 3].

Электрическая энергия в жилых зданиях и объектах социально-культурного назначения используется на работу бытовой электротехники (холодильник, кондиционер, компьютер, стиральная машина, пылесос, телевизор и др.) и на освещение помещений. И хотя осветительные приборы потребляют меньше энергии, чем бытовая техника, даже небольшое снижение энергопотребления, идущего на освещение помещения, в масштабах города или страны может привести к существенному сокращению энергопотребления и объемов сжигаемого органического топлива. Вопросы снижения потребления электрической энергии в жилых помещениях и помещениях социально-культурного назначения, идущей на освещение, рассмотрены в [1, 4]. С этой целью предлагается использовать возобновляемые источники энергии и высокоэффективные светодиодные источники света вместо традиционных ламп накаливания. Использование светодиодных источников света вместо ламп накаливания позволит в 10 раз снизить энергопотребление за счет более высокой световой отдачи, и, кроме того, дополнительно снизить на 40-50 % потребление электроэнергии за счет возможности автоматизации управления освещением [1].

Решение проблемы снижения энергопотребления освещением, с помощью возобновляемых источников энергии и светодиодных источников света осуществляется в основном двумя путями:

- в индивидуальных домах, оснащенных мощными фотоэлектрическими установками (ФЭУ), преобразовывающими солнечную энергию в напряжение 220 В переменного тока, необходимое для питания бытовых электроприборов – путем подключения осветительных приборов к этой сети;
- в многоквартирных домах – путем перехода на использование в подвесных люстрах вместо ламп накаливания светодиодных ламп прямой замены (СДЛПЗ), подключенных к централизованной электросети, которые по конструктивному исполнению идентичны лампам накаливания.

Использование мощных ФЭУ для питания бытовой электротехники и осветительных приборов в многоквартирных домах, преобладающих в жилищном секторе, является проблематичным из-за необходимых значительных площадей для установки ФЭУ. Это не позволяет широко использовать солнечную энергию для освещения помещений в многоквартирных домах. Решение указанной проблемы может быть достигнуто путем использования комбинированных систем электропитания осветительных приборов на основе индивидуально установленных небольших солнечных панелей на фасадах, балконах и крышах многоквартирных домов [5].

Положительной особенностью электропитания и работы светодиодных источников света является использование источников постоянного тока и небольшое значение прямого падения напряжения на светодиоде (СД). Это дает возможность питать светодиодные источники тока постоянным током от относительно маломощных солнечных ФЭУ без промежуточного преобразования постоянного тока в переменный [6]. Однако ограниченные габаритные размеры СДЛПЗ, устанавливаемых в существующие люстры, и низкая эффективность теплообмена между радиатором СДПЗ и окружающим воздухом внутри плафона, приводят к тому, что тепловой режим СДЛПЗ существенно ухудшается, что снижает надежность светодиодных источников света. В [7, 8] впервые было предложено принципиально новое техническое решение использования светодиодных источников света в бытовых осветительных приборах. Суть предложенного технического решения заключается в выполнении каркаса люстры из тепловых труб (ТТ), обладающих в десятки и сотни раз более высокой эквивалентной теплопроводностью по сравнению с металлами. При этом источниками света вместо СДЛПЗ служат объемные светодиодные модули (СДМ), устанавливаемые в зоне испарения ТТ. Благодаря высокой эффективности отвода теплоты с помощью ТТ, мощность СДМ в люстре, а соответственно и их световой поток, могут быть увеличены, по крайней мере, вдвое по сравнению со СДЛПЗ без нарушения нормального теплового режима СД. Это позволяет вдвое уменьшить количество источников света в люстре или количество люстр, необходимое, например, для освещения помещений большой площади или помещений с высокими потолками.

Особенностями конструкций ТТ, предназначенных для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса люстры, являются их значительная длина (700-900 мм) и короткая (40-50 мм) зона испарения. Исследования тепловых характеристик подобных конструкций ТТ крайне ограничены [9], что обуславливает актуальность задачи экспериментального исследования тепловых характеристик наиболее рациональных конструкций ТТ применительно к использованию их в каркасах светодиодных люстр энергоэффективных зданий

Цель статьи

Целью данной работы является разработка, изготовление и экспериментальное исследование термического сопротивления ТТ, предназначенных для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодной люстры, которые были бы технологичными в изготовлении в условиях действующих предприятий машиностроительного или приборостроительного профиля.

Основные типы светодиодных люстр с ТТ и наиболее рациональные конструкции экспериментальных образцов ТТ

Конструктивно-технологические варианты построения подвесных светодиодных люстр с ТТ можно свести к трем основным типам (рис.1): первый тип (рис.1,а), в котором декоративный каркас люстры изготовлен из ТТ с отогнутыми вверх концами и с установленными на них СДМ; второй тип (рис.1,б), в котором концы ТТ с установленными СДМ отогнуты вниз и третий тип (рис.1,в), в котором концы ТТ с установленными на них СДМ расположены горизонтально. Для упрощения на рис.1 показаны схемы люстр с двумя рожками, практически их может быть любое количество (преимущественно от 3 до 8). Источники постоянного тока (драйверы), по-возможности, лучше выносить за пределы люстры и располагать в составе индивидуальной фотоэлектрической установки.

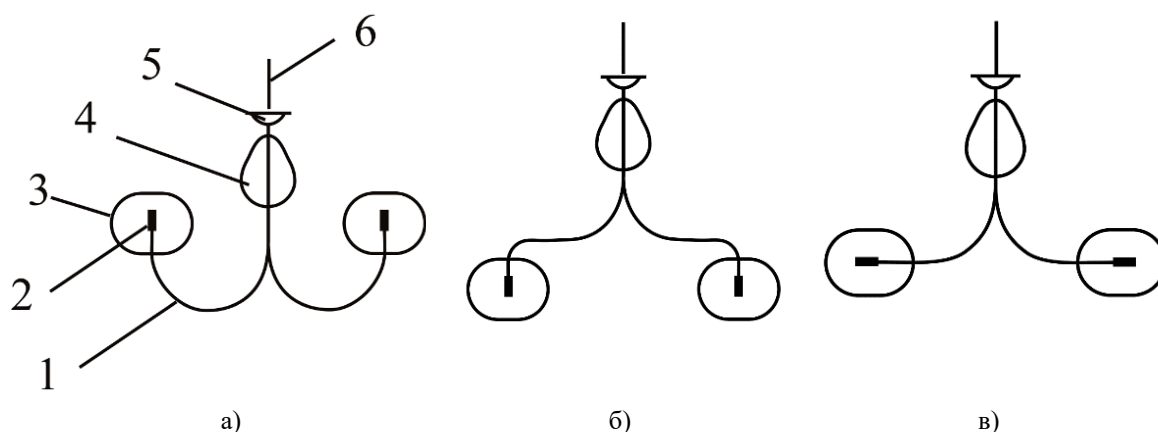


Рисунок 1 – Схемы вариантов конструкций светодиодных люстр с ТТ: а) – первый тип; б) – второй тип; в) – третий тип. 1 – ТТ; 2 – светодиодный модуль; 3 – плафон; 4 – радиатор; 5 – подвес; 6 – электрические соединительные провода

В первом типе люстр обязательно должна использоваться ТТ с капиллярной структурой (КС), обеспечивающей достаточный капиллярный напор для подъема жидкого теплоносителя из изогнутого колена до СДМ, например, металловолоконная капиллярная структура (МВКС), порошковая или композиционная капиллярная структура, спеченная из металлических волокон и порошков [10]. Во втором и третьем типах люстр, кроме МВКС, порошковой и композиционной капиллярных структур, возможно использование более простой и более технологичной в изготовлении капиллярной структуры – резьбовой [11], поскольку возврат жидкого теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения осуществляется за счет действия силы гравитации. Основная функция КС в этом случае состоит не в транспортировке жидкого теплоносителя в зону испарения против силы гравитации, а в увеличении потенциальных центров парообразования и стабилизации процесса теплообмена в зоне испарения. Более того, во втором типе люстр может использоваться ТТ без КС, т.е. гладкостенный термосифон с затопленной теплоносителем зоной испарения.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ТТ (табл.1) применительно к использованию их во втором типе светодиодных люстр.

Таблица 1 – Характеристики тепловых труб

№ ТТ	Материал корпуса и КС	Тип КС	Теплоноситель
1	Медь М2	Резьбовая	Этанол
2	Медь М2	МВКС	Этанол
3	Медь М2	Резьбовая	Хладон 141b
4	Медь М2	Без КС	Хладон 141b
5	Медь М2	МВКС	Вода
6	Медь М2	Без КС	Вода
7	Медь М2	Без КС	Хладон 113
8	Медь М2	Резьбовая	Ацетон
9	Алюминиевый сплав АД31Т	Резьбовая	Хладон 141b
10	Алюминиевый сплав АД31Т	Резьбовая	Н-пентан

Длина всех ТТ – 830 мм. Внешний диаметр – 12 мм, внутренний диаметр – 10 мм, за исключением ТТ № 10, в которой внутренний диаметр составлял 8 мм. Ориентация ТТ в пространстве – вертикальная, зона испарения расположена внизу. Длина зоны испарения – 50 мм. Подвод теплоты при проведении экспериментов осуществлялся омическим нагревателем. Длина зоны конденсации у медных ТТ – 520 мм, у алюминиевых ТТ № 9 и № 10 – 640 мм и 680 мм соответственно. Отвод теплоты осуществлялся естественной конвекцией воздуха без использования дополнительных радиаторов. Описание экспериментальной установки и методики проведения экспериментов описаны в [12]. Для исключения теплооттоков поверхность участка нагрева тщательно теплоизолировалась путем размещения его в термосе с полыми вакуумированными стенками. Увеличение мощности на нагревателе ТТ осуществлялось ступенчато и ограничивалось достижением температуры в зоне испарения ТТ 100 °С.

В медных ТТ № 2 и № 5 МВКС наносилась на внутреннюю поверхность корпуса ТТ в зоне испарения и спекалась из медных волокон диаметром 50 мкм. Толщина слоя МВКС – 0,5 мм. Пористость – 85 %. В медных ТТ № 1, № 3, № 8 и в алюминиевых ТТ № 9 и № 10 капиллярная структура выполнена в виде мелкой метрической резьбы с шагом 0,5 мм на длине 55 мм от нижнего конца ТТ. Диаметр резьбы – 11 мм, кроме ТТ № 10, в которой он составлял 9 мм. Внутренняя поверхность корпуса ТТ в зонах транспорта и конденсации капиллярной структурой не покрывалась. В медных ТТ № 4, № 6, № 7 капиллярная структура в зоне испарения отсутствовала, т.е. эти ТТ представляли собой гладкостенный термосифон.

Результаты исследований

Термическое сопротивление R определялось как отношение перепада температуры Δt по тепловой трубе к подводимому тепловому потоку Q . Значение перепада температуры Δt по длине тепловой трубы определялось как разность средних значений температуры корпуса в зонах испарения и конденсации в установившемся стационарном тепловом режиме. Погрешность определения термического сопротивления не превышала 3,8 %.

На рис.2 приведены экспериментально полученные зависимости термического сопротивления R шести экспериментальных образцов ТТ от подводимого теплового потока Q в условиях отвода теплоты естественной конвекции воздуха.

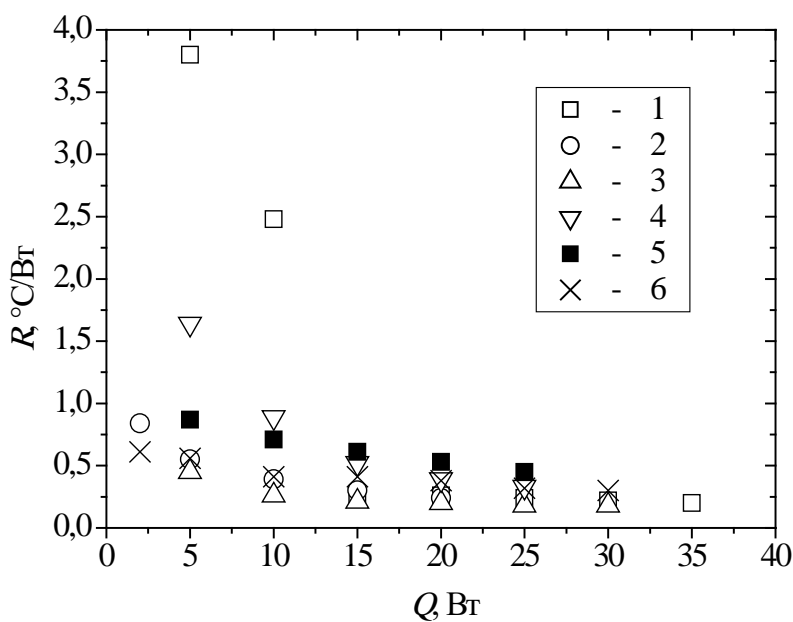


Рисунок 2 – Термічне опору медних ТТ: 1 – № 1 (етанол, різьба); 2 – № 3 (хладон 141b, різьба); 3 – № 5 (вода, МВКС); 4 – № 7 (хладон 113, гладка стінка); 5 – № 8 (ацетон, різьба); 6 – № 2 (етанол, МВКС)

Аналіз представлених графічних залежностей показує, що при малих значеннях теплового потоку, в діапазоні від 2 до 10 Вт включительно, теплообмін в зоні випарення здійснюється в основному шляхом теплопровідності і конвекції теплоносія, що обумовлює найбільш високе значення термічного опору ТТ. Максимальне значення термічного опору спостерігалося у ТТ № 1 (етанол, різьба) при значенні підведеного теплового потоку 5 Вт, яке склало $3,74$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. При подальшому підвищенні підведеного теплового потоку до 15 Вт відбувається перехід від випарного режиму роботи до режиму кипіння теплоносія, при якому інтенсивність теплообміну суттєво підвищується. Це призводить до зниження термічного опору ТТ – до $0,47$ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Найменшими значеннями термічного опору в усьому досліджуваному діапазоні підведеного теплового потоку володіють ТТ з МВКС з теплоносителями вода (ТТ № 5) і етанол (ТТ № 2). Близькі до них значення термічного опору мала і ТТ № 3 з різьбовою КС, заповнена хладоном 141b. Незважаючи на більш низьке значення термічного опору медних ТТ з МВКС, їх суттєвим недоліком порівняно з ТТ з різьбовою КС є складність технологічного процесу виготовлення МВКС, що вимагає використання високотемпературного термічного обладнання при спеканні МВКС, вакуумної робочої середовища або захисної атмосфери.

Залежність значень термічного опору R алюмінієвих гравітаційних ТТ з різьбовою КС від підведеного теплового потоку Q наведено на рис. 3. З рисунка видно, що вплив виду теплоносія (хладон 141b і н-пентан) на термічне опору ТТ не суттєво. Так, з збільшенням підведеного теплового потоку від 5 до 25 Вт різниця в термічному опору ТТ № 9 (хладон 141b) і ТТ № 10 (н-пентан) зменшується і їх термічні опору практично порівнюються при теплово́му потоку, рівному 30 Вт.

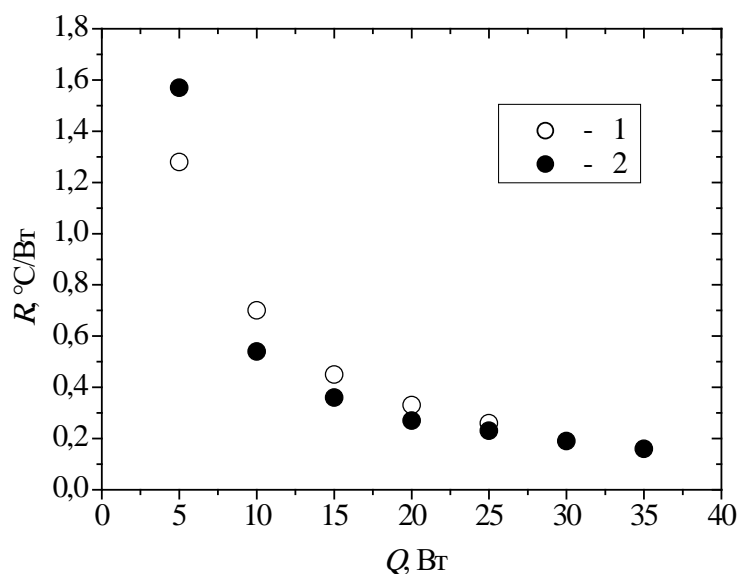


Рисунок 3 – Термическое сопротивление алюминиевых ТТ с резьбовой КС, заправленных хладоном 141b (1) и н-пентаном (2)

Влияние материала корпуса (медь М2 и алюминиевый сплав АД31Т) на термическое сопротивление ТТ показано на рис. 4. Как видно из рис. 4, материал корпуса ТТ не влияет на характер зависимости термического сопротивления от подводимого теплового потока. Однако, абсолютные значения термического сопротивления исследованных ТТ с резьбовой КС с одним и тем же теплоносителем (хладоном 141b) существенно отличаются между собой. Так, в диапазоне значений подводимого теплового потока от 5 до 25 Вт термическое сопротивление медной ТТ в 2,0-1,4 раза ниже, чем алюминиевой ТТ.

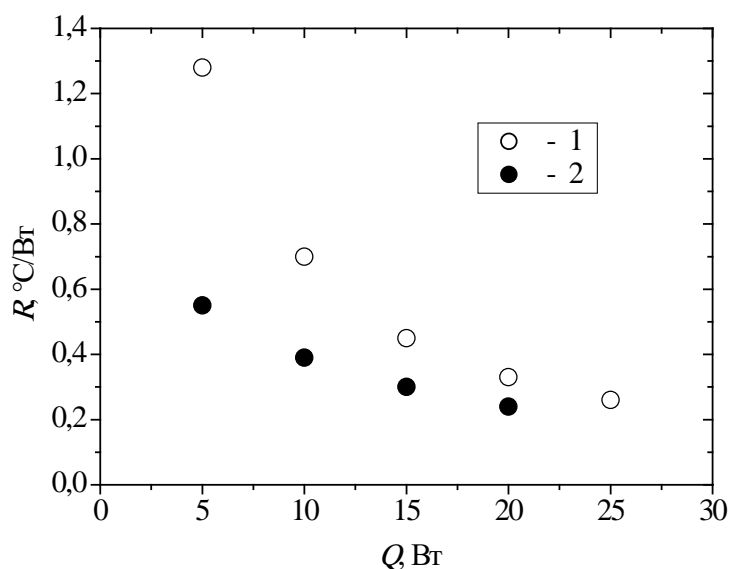


Рисунок 4 – Термическое сопротивление алюминиевой (1) и медной (2) ТТ с резьбовой КС, теплоноситель – хладон 141b

Об эффективности использования резьбовой капиллярной структуры на внутренней поверхности корпуса ТТ в зоне испарения можно судить по результатам сравнения экспериментально полученных зависимостей термического сопротивления ТТ с резьбовой КС № 3 и ТТ № 4 без КС (термосифона одинаковых размеров) с одним и тем же теплоносителем (хладоном 141b) от подводимого теплового потока Q , приведенных на рисунке 5. Из рисунка 5 видно, что в диапазоне значений подводимого теплового

потока от 5 до 20 Вт термическое сопротивление R ТТ с резьбовой КС в 4,5-2 раза меньше, чем у гладкостенного термосифона. Наибольший выигрыш в термическом сопротивлении наблюдается при меньших значениях теплового потока (5–10 Вт).

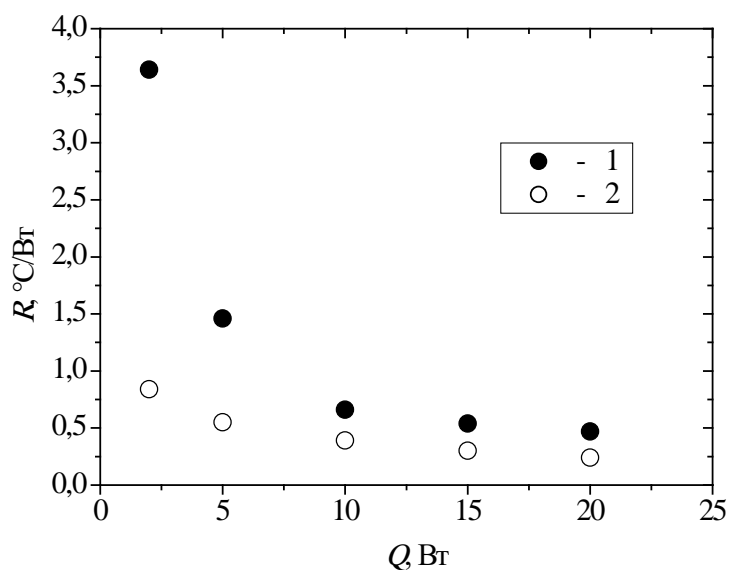


Рисунок 5 – Термическое сопротивление медной ТТ № 4 без КС (1) и медной ТТ № 3 с резьбовой КС (2), заправленных хладоном 141b, в зависимости от подводимого теплового потока

С использованием исследованных медных ТТ с резьбовой КС (теплоносители – этанол и хладон 141b) в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» был изготовлен действующим образец пятирожковой светодиодной л (см. рис.6). Экспериментальные исследования электрических и тепловых характеристик люстры показали, что температура основания светодиодных модулей в диапазоне потребляемой каждым СДМ мощности от 2,3 до 26, 7 Вт не превышала 56 °C при температуре окружающего воздуха 25±1 °C [6].



Рисунок 6 – Внешний вид светодиодной люстры с тепловыми трубами

Выводы и рекомендации

1. Одним из путей снижения потребления электрической энергии на освещение помещений энергоэффективных жилых зданий и объектов социально-культурного назначения является переход на светодиодное освещение с комбинированным электропитанием на основе использования солнечной энергии.

2. Выполнение каркаса светодиодной люстры из тепловых труб позволяет, по меньшей мере, вдвое

увеличить мощность объемных светодиодных модулей по сравнению со светодиодными лампами прямой замены без нарушения нормального теплового режима светодиодных источников света, и, соответственно, вдвое увеличить световой поток люстры и за счет этого – уменьшить необходимое количество источников света и осветительных приборов.

3. Для использования в качестве теплопередающих элементов каркаса светодиодных люстр наиболее рациональными вариантами являются конструкции медных и алюминиевых ТТ с резьбовой капиллярной структурой, как более технологичные по сравнению с ТТ, имеющими металловолоконнистую капиллярную структуру, и как более эффективные по термическому сопротивлению по сравнению с гладкостенными термосифонами. Рекомендуемыми теплоносителями для медных ТТ являются этанол и хладон 141b, для алюминиевых ТТ – н-пентан и хладон 141b.

5. Полученные графические зависимости термического сопротивления от подводимого теплового потока в исследованных диапазонах параметров можно использовать при тепловом конструировании светодиодных люстр с тепловыми трубами

Авторы выражают благодарность д.т.н. Кравцу В.Ю. за помощь в изготовлении ТТ.

Список использованной литературы

1. Бабаев В. М. Энергобережения в системах теплоснабжения та освітлення будівель / В. М. Бабаев, П. П. Говоров, В. П. Говоров, О. В. Король // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 169–173. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_33.

2. Долінський А. А. Концептуальні основи створення експериментального будинку типу “нуль енергії” / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О. М. Недбайло, Т. Г. Беляєва, М. А. Хибина, М. В. Ткаченко, М. П. Новіцька // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 222-227. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_44.

3. Басок Б. І. Концептуальні основи створення експериментального будинку пасивного типу (загальною площею 300 кв. м) / Б. І. Басок, Г. Г. Фаренюк // Будівельні конструкції. – 2014. – Вип. 81. – С. 233243. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2014_81_30.

4. Рабич Е. В. Проблемы энергоэффективного освещения в зданиях / Е. В. Рабич, Л. А. Чумак, Т. А. Ковтун-Горбачева // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 328–333. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_65.

5. Николаенко Ю.Е Патент України на корисну модель № 101963, МПК (2015.01) F21S 8/00, F21L 4/08 (2006.01). Світлодіодна люстра з комбінованим електроживленням // НТУУ “КПІ” / Ю.Є. Ніколаєнко, Ю.О. Хмельов, Д.А. Герасименко, Т.Ю. Ніколаєнко – Опубл. 12.10.2015. – Бюл. № 19. Заявка u 201503322 від 09.04.2015 р.

6. Николаенко Ю.Е. Экспериментальное исследование характеристик светодиодной люстры с тепловыми трубами с возможностью питания ее от возобновляемых источников энергии / Ю.Е. Николаенко, А.В. Баранок, Т.Ю. Николаенко // Труды международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Секция III: Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение, их прикладные аспекты, 13-14 июня 2017 г, г. Ташкент, Узбекистан, Академия наук Республики Узбекистан, НПО “Физика-Солнце” Физико-технический институт. – С. 149–154. <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20610>

7. Николаенко Ю.Е. Решение тепловой проблемы мощных светодиодных светильников с помощью тепловых труб // Труды XIII международной научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии”, 4–8 июня 2012 г. – Одесса. – С. 203. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17392>

8. Николаенко Ю.Е Патент України на корисну модель № 68831, МПК (2012.01) F21S 8/00, F21V 7/00. Люстра // Ю.Є. Ніколаєнко, Т.Ю. Ніколаєнко. – Опубл. 10.04.2012. – Бюл. № 7. Заявка u 2011 12026 від 13.10.2011 р.

9. Kate Smith, Samuel Siedel, Anthony J. Robinson, Roger Kempers. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 101. – Pp. 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024>

10. Kostornov AG, Moroz AL, Shapoval AA, Kabov O, Strizhak P, Legros JC. Composite structures with gradient of permeability to be used in heat pipes under microgravity // Acta Astronaut – 2015. – Vol. 115. – Pp. 52–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.04.022>

11. Николаенко Ю.Є. Патент України на корисну модель № 109840, МПК (2006.01) F28D 15/02. Гравітаційна тепла труба / НТУУ “КПІ” // Ю.Є. Ніколаєнко. – Опубл. 12.09.2016. – Бюл. № 17. Заявка u201602421 від 14.03.2016 р. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19508>

12. Николаенко Ю.Е. Термическое сопротивление алюминиевой гравитационной тепловой трубы с резьбовой капиллярной структурой / Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2017. – № 4–5. – С. 24–31. DOI: 10.15222/ТКЕА2017.4-5.24. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20956>

Yu. Nikolaenko, Dr. Sc. Sciences, Senior Researcher, ORCID 0000-0002-3036-5305
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
B. Basok, Cor. Mem. of the NAS of Ukraine, Dr. Sc. Sciences, Prof., ORCID 0000-0002-8935-4248
Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine
D. Kozak, PhD student
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

THERMAL RESISTANCE OF HEAT PIPES FOR LED LIGHTING FIXTURES OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

The problem of energy saving is relevant both for Ukraine and for other countries of the world. From 19 to 22% of the electricity produced in the world is consumed by lighting, a significant part of which goes for interior lighting of houses and of social and cultural facilities. One of the ways to reduce the consumption of electrical energy used for illumination of the premises of energy-efficient residential buildings and social and cultural facilities is switching to a LED lighting with a combined power supply systems based on the use of solar energy. Introduction of powerful photovoltaic systems in individual houses and introduction of individual low-power photoelectric plants in multi-apartment buildings will significantly reduce consumption of electricity from the centralized electrical network in the housing sector, reduce the use of organic fuels for electricity generation and reduce the amount of harmful emissions into the atmosphere. The article suggests new schemes of energy-efficient LED lighting devices with heat pipes which can be used in energy-efficient buildings with a minimum consumption of electricity. The dependences of the thermal resistance of heat pipes on the power of the LED modules are studied experimentally. The influence of the material of heat pipes, the type of the capillary structure, and the type of heat carriers on the thermal resistance of heat pipes was investigated. It is shown that, the designs of copper and aluminum heat pipes with a threaded capillary structure, which are more technological as compared to the heat pipes having other types of capillary structures, comprise the most rational choice for the heat-transfer elements of the frame of light-emitting diode lighting fixtures. Ethanol and chladone 141b are recommended as heat carriers for copper heat pipes while n-pentane and chladone 141b are recommended for aluminum heat pipes.

Keywords: heat pipe, thermal resistance, LED lighting, energy-efficient building

References

1. Babaev V.M., Govorov P.P., Govorov V.P., Korol O.V. [Energy saving in the systems of heat supply and lighting of buildings] // *Budivelnnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 169–173 http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_33
2. Dolinsky A.A., Basok B.I., Nedbaylo O.N., Belyaeva T.G., Khibina M.A., Tkachenko M.V., Novitskaya M.P. [Conceptual foundations for the creation of an experimental building of the "zero energy" type] // *Budivelnnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 222–227 (in Ukrainian) http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_44
3. Basok B. I., Fahrenyuk G. G. [Conceptual foundations for the creation of an experimental passive type building (with a surface area of 300 sq. m)] // *Budivelnnye konstrukcii*. – 2014. – Iss. 81. – Pp. 233–243 (in Ukrainian) http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2014_81_30
4. Rabich E.V., Chumak L.A., Kovtun-Gorbacheva T.A. [Problems of energy-efficient lighting in buildings] // *Budivelnnye konstrukcii*. – 2013. – Iss. 77. – Pp. 328–333 (in Russian) http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2013_77_65
5. Pat. 101963 Ukraine. [LED lamps with a combined power supply]. Nikolaenko Yu.Ye., Khmelev Yu.O., Gerasimenko D.A., Nikolaienko T.Yu. – 2015. – Bull. No.19 (in Ukrainian).
6. Nikolaenko Yu.E., Baranyuk A.V., Nikolaienko T.Yu. [Experimental study of the characteristics of LED chandelier with thermal pipes with the possibility of feeding it from renewable energy sources] // *Proceedings of International Conference "Fundamental and Applied Problems of Physics"*. Section III: Renewable Energy and Heliummatology, Applied Aspects, 13-14 June 2017, Tashkent, Uzbekistan, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, NPO "Physics-Sun" Physical-Technical Institute. – Pp. 149-154 (in Russian) <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20610>
7. Nikolaenko Yu.E. [Solution of the heat problem of high power LED lamps with heat pipes] // *Proc. of 13 th ISPC "Modern Information and Electronic Technologies" ("MIET-2012")*, Odessa, Ukraine, 4-8 June 2012, Pp. 203 (in Russian). <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17392>
8. Pat. 68831 Ukraine. [Chandelier] // Nikolaenko Yu.E., Nikolaienko T.Yu. – 2012. – Bull. No 7 (in Ukrainian).
9. Kate Smith, Samuel Siedel, Anthony J. Robinson, Roger Kempers. The effects of bend angle and fill ratio on the performance of a naturally aspirated thermosyphon // *Applied Thermal Engineering*. – 2016. – Vol. 101. – Pp. 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.024>

10. Kostornov AG, Moroz AL, Shapoval AA, Kabov O, Strizhak P, Legros JC. Composite structures with gradient of permeability to be used in heat pipes under microgravity // Acta Astronaut – 2015. – Vol. 115. – Pp. 52–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.04.022>

11. Pat. 109840 Ukraine. [Gravity heat pipe]. Nikolaenko Yu. E. – 2016. – Bull. No 17 (in Ukrainian). <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19508>

12. Nikolaenko Yu.E., Kozak D.V. [Thermal resistance of an aluminum gravity heat pipe with threaded capillary structure] // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. – 2017. – No. 4-5. – Pp. 24-31 (in Russian). DOI: 10.15222 / TKEA2017.4-5.24. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20956>

УДК 536.24

Ю.Є. Ніколаєнко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., **ORCID** 0000-0002-3036-5305
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Б.І. Басок, член-кореспондент НАН України, д-р техн. наук, проф. **ORCID** 0000-0002-8935-4248
Інститут технічної теплофізики НАН України
Д.В. Козак, аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ТЕРМІЧНИЙ ОПІР ТЕПЛОВИХ ТРУБ ДЛЯ
СВІТЛОДІОДНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

Проблема енергозбереження є актуальною як для України, так і для інших країн світу. Від 19 до 22% вироблюваної в світі електроенергії витрачається на освітлення, значна частина якої йде на внутрішнє освітлення приміщень житлового фонду та об'єктів соціально-культурного призначення. У статті запропоновані нові схеми енергоефективних світлодіодних освітлювальних приладів з тепловими трубами для використання їх в енергоефективних будівлях з мінімальним споживанням електроенергії. Експериментально досліджено залежності термічного опору теплових труб від потужності світлодіодних модулів. Досліджено вплив матеріалу теплових труб, типу капілярної структури і виду теплоносія на термічний опір теплових труб. Показано, що для використання в якості теплопередавальних елементів каркасу світлодіодних освітлювальних приладів найбільш раціональними варіантами є конструкції мідних і алюмінієвих теплових труб з різьбовою капілярною структурою, як більш технологічні в порівнянні з тепловими трубами, що мають інші типи капілярних структур. Рекомендованими теплоносіями для мідних теплових труб є етанол і хладон 141b, для алюмінієвих теплових труб – n-пентан і хладон 141b.

Ключові слова: теплова труба, термічний опір, світлодіодний освітлювальний прилад, енергоефективна будівля.

Надійшла 22.11.2017
Received 22.11.2017

БАЗИ КЛІМАТОЛОГІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬ

У даній роботі проаналізовано різні кліматичні бази даних, які використовуються при визначенні енергетичної потреби будівель на опаленні. В залежності від задач, що вирішуються, потреба в опаленні може визначатися в річному (стаціонарні методи), в помісячному (квазістаціонарні методи) та погодинному (динамічні методи) розрізі, що, в свою чергу, потребує різних пакетів вихідних параметрів (у тому числі – кліматичних даних). У методиках, які широко застосовуються в Україні, основні кліматичні параметри, які використовуються для розрахунку енергопотреб є зовнішня температура і сонячні теплонадходження. Авторами проведено аналіз наявних в Україні кліматологічних даних та міжнародних кліматичних файлів погоди IWEC, визначено відмінності баз даних та встановлено їх вплив на розрахунки значення енергопотреб за допомогою динамічної моделі 5R1C кімнати.

Ключові слова: енергопотреба, бази кліматології, IWEC, зовнішня температура повітря, сонячні теплонадходження.

Вступ

В Україні громадські будівлі та житлові будинки є значними споживачами теплової енергії. За даними [1] 44% виробленої теплової енергії споживається житлово-комунальним сектором. При цьому на централізоване опалення припадає 42%. Рівень енергоспоживання будівель залежить від ряду факторів, таких як огорожувальні конструкції, кліматичні умови тощо. Саме тому для забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на опалення необхідний ефективний підхід щодо встановлення можливого потенціалу економії енергоресурсів. Існує значна різноманітність методик та програмних продуктів з розрахунку енергопотреб будівель в опаленні, які базуються на стаціонарних, квазістаціонарних та динамічних підходах. При розрахунку енергетичних характеристик будівель поширеними в Україні стаціонарними й квазістаціонарними методами використовуються кліматичні характеристики для відповідного регіону/обласного центру, а саме – середньомісячні показники зовнішньої температури, сонячні теплонадходження на горизонтальну та вертикальні поверхні [2-4].

В умовах ефективного використання енергоносіїв потреба в опаленні повинна розраховуватися з урахуванням погодинної зміни кліматичних характеристик. В Україні все ширшого застосування набувають динамічні моделі визначення енергетичних характеристик будівель, які потребують використання погодинних кліматичних даних. Нормативної погодинної кліматології в Україні не існує.

В рамках дослідницького проекту RP-1015 U.S. National Climatic Data Center були створені кліматичні файли типового року International Weather for Energy Calculations (IWEC) для ряду міст. Процедура отримання даних була заснована на виборі типового року протягом 18-річної послідовності погодних даних. Погодинні значення з файлу IWEC [5] включають в себе температуру сухого термометра, відносну вологість, швидкість та напрям вітру, барометричний тиск, пряму (виражена через direct normal) та розсіяну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню (diffuse horizontal) тощо. Для території України створено кліматичні IWEC файли типового року для міст у вільному доступі (Києва і Одеси), що можуть бути використані як усереднена характеристика кожної з двох температурних зон. В IWEC 2 створено погодні файли для 41-го міста України, але вони є платним ресурсом, що обмежує їх використання. [6]

Існують програмні продукти, які дозволяють аналізувати динамічні характеристики будівлі і використовують вже створені деталізовані файли кліматології. Наприклад, програмний продукт EnergyPlus використовує кліматичний файл IWEC [7]. Використання IWEC в інших підходах, крім програмного продукту EnergyPlus, має складнощі, пов'язані з форматом представлення інформації. Для перерахунку сонячної активності потрібно використати положення сонця відносно горизонту протягом року та його зміни протягом доби. EnergyPlus використовує кілька методик розрахунку сонячних теплонадходжень на вертикальні поверхні. [8]

Наприклад, в Інтернет ресурсі [9], створеному в рамках проекту NASA "Atmospheric science data center", можна задати географічними координатами потрібний регіон та отримати середньомісячні значення прямої, розсіяної, повної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, кількість безхмарних днів у місяці, значення азимуту і таке інше. Дані приведені на даному сайті, є усередненими

характеристиками за останні 22 роки.

Крім деталізованих кліматичних даних файлів IWEC на платному Інтернет ресурсі [10] можна отримати деталізовані погодинні значення сонячної активності для типового року або фактичні дані вибраного року. Обмежений доступ до даних є головною перешкодою їх використання.

В залежності від задач, що вирішуються, можуть використовуватися відповідні інтервали усереднення кліматичних даних. Дана робота присвячена дослідженню відмінностей різних баз даних кліматології та визначенню їх впливу на енергопотребу будівлі.

Мета та завдання

Метою роботи є аналіз застосування різних нормативних кліматичних баз даних для розрахунку енергетичної потреби в опаленні.

Відповідно до поставленої мети мають бути вирішені такі завдання:

1. Вибрати методики перерахунку кліматичних даних сонячних теплонадходжень міжнародного файлу погоди IWEC на вертикальні поверхні;
2. Порівняння даних кліматології IWEC з діючою в Україні кліматологією;
3. Аналіз енергопотреби в опаленні отриманої за допомогою різних баз даних кліматології.

Матеріал та результати досліджень

Методика перерахунку сонячних теплонадходжень файлу IWEC на вертикальні поверхні для визначення енергопотреби

Територія України умовно поділяється на дві температурні зони. Кліматичні погодинні значення типового року IWEC створені для двох міст України: Київ (I кліматична зона) та Одеса (II кліматична зона). [4] Основна частина України відноситься до першої температурної зони.

При розрахунку енергопотреби за діючими в Україні методиками, серед кліматичних показників урахується зовнішня температура повітря та сонячні теплонадходження на вертикальні та горизонтальні поверхні. Як згадувалось раніше, сонячні теплонадходження задані у файлі типового року через повну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню, розсіяну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню та прямі до нормалі променя. Існує велика кількість методик перерахунку даних сонячних показників теплонадходжень на сумарні теплонадходження на вертикальні поверхні відповідних орієнтацій. [11]

Програмні продукти, які використовують кліматичні дані типового року IWEC (наприклад, EnergyPlus), містять вбудовані методики перерахунку від спрощених до деталізованих. В Україні набув чинності спрощений погодинний динамічний метод розрахунку на базі європейського стандарту EN 13790 [12], який враховує у своїх розрахунках сумарні сонячні теплонадходження в зону кімнати. В роботі використана методика перерахунку сонячних теплонадходжень в зону кімнати за підходами, запропонованими в працях [11].

Схилення Сонця в певний день визначається за формулою:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), \quad (1)$$

де n - порядковий номер дня, відрахований від 1 січня.

Кількість теплоти, яка надходить на вертикальні поверхні огороження, залежить від розташування в певній місцевості на широті φ (для Києва $50^{\circ}27'$, для Одеси $46^{\circ}28'$).

Величина питомої теплової енергії q_i , Вт·год/м², що надходить на 1 м² південної поверхні за i -ту годину, визначається за формулою:

$$q_i = H_B \frac{\cos(\varphi - s) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - s) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} + H_D = H_B \cdot R_B + H_D, \quad (2)$$

де H_B і H_D , Вт/м² – питомі теплові потоки прямого та розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню, на широті населеного пункту при безхмарному небі;

R_B – коефіцієнт перерахунку прямої сонячної радіації на похилу поверхню з південною орієнтацією; s – кут нахилу поверхні до горизонту ($s=90^{\circ}$).

При розрахунках за формулою (2) треба враховувати лише значення, які задовольняють умовам:

$$\omega < 90^{\circ}; \quad \omega < \omega_{C(3)} = \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - s) \cdot \operatorname{tg} \delta); \quad R_B > 0. \quad (3)$$

де $\omega_{C(3)}$ - годинний кут сходу (заходу) сонця на похилу поверхню.

У розрахунках прийнято, що на північну поверхню потрапляє лише розсіяна сонячна радіація. В даній методиці розрахунку хмарність не врахована.

Тепловий потік, що надходить в зону кімнати, визначається:

$$Q_{sol} = q_i F_{\epsilon} k_{np} k_{zm}, \quad (4)$$

де Q_{sol} - тепловий потік від сонця в зону кімнати, Вт;
 q_i - питомий тепловий потік, що надходить на вертикальну поверхню відповідної орієнтації, Вт/м²;
 F_e - площа світлопрозорих елементів конструкцій, м²;
 k_{np} - коефіцієнт пропускання сонячної радіації;
 k_{zt} - коефіцієнт, що враховує наявність затіняючих елементів.

Порівняння даних кліматології IWEC і діючої в Україні кліматології

За наведеною вище методикою перераховано погодинні значення сумарних сонячних теплонадходжень на вертикальні поверхні. Для порівняння в роботі наведено крайні випадки сонячних теплонадходжень для Пд та Пн орієнтації. Для порівняння кліматологій встановлено середньомісячні значення зовнішньої температури і сонячних теплонадходжень (на рис. 1) для двох міст України.

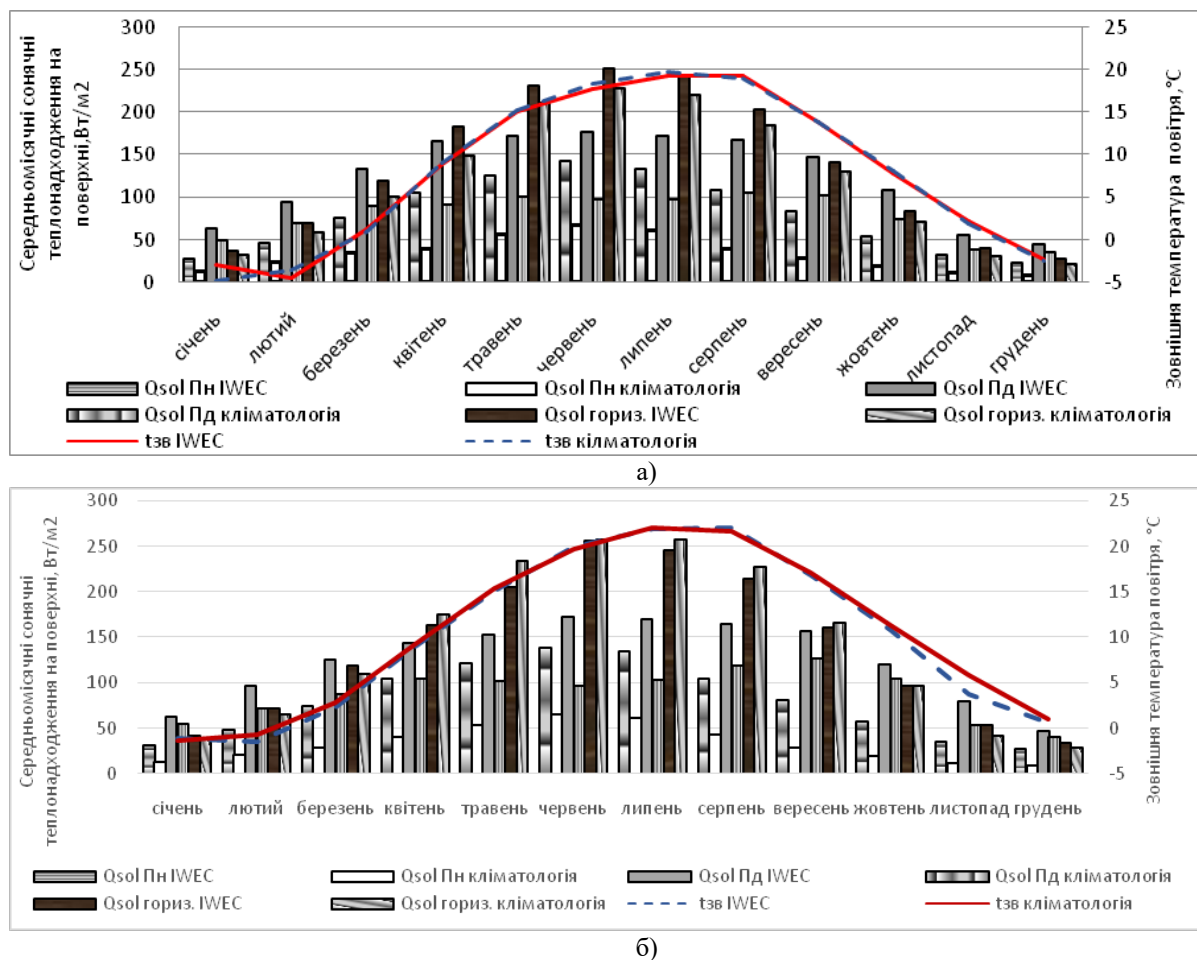


Рисунок 1 – Середньомісячні кліматичні дані з нормативних документів України та Міжнародного погодного файлу для м.Києва (а) та м.Одеси (б)

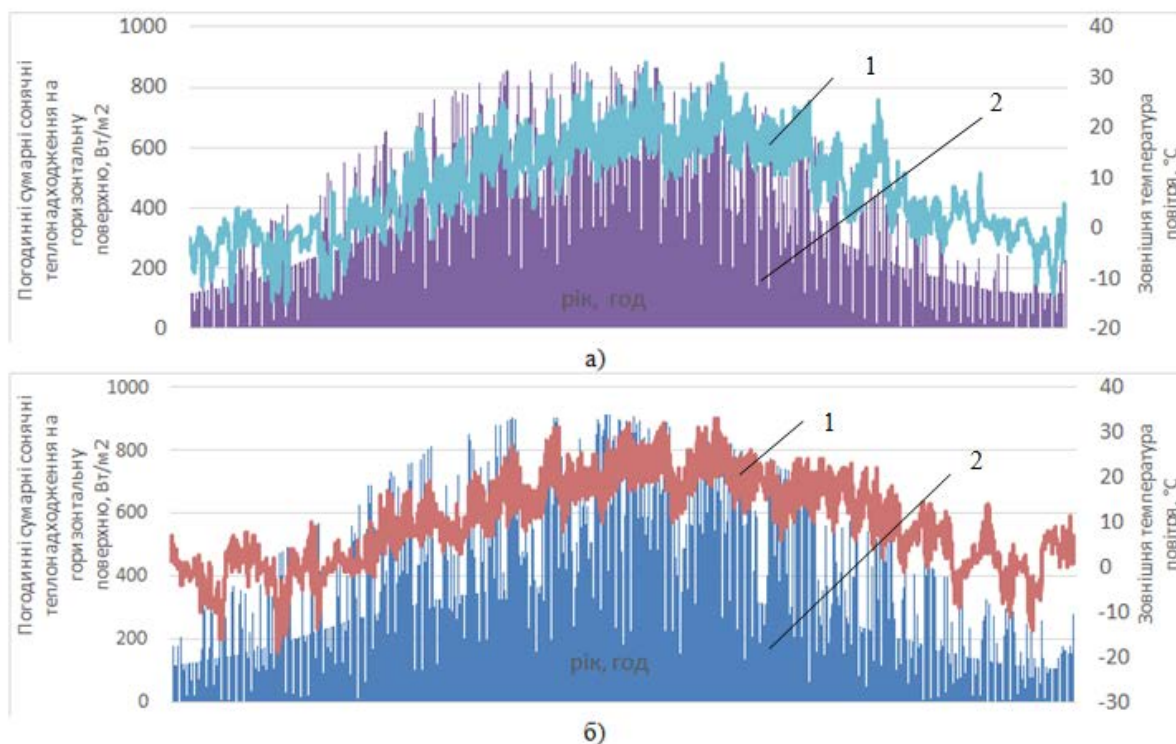
Зовнішня температура повітря за двома кліматологічними базами майже не відрізняється. Сонячні теплонадходження суттєво відрізняються від прийнятих в Україні величин. Відмінність становить близько 40% в зимовий період та 30% в літній для Києва. Для Одеси дана розбіжність становить до 50%. Сонячні теплонадходження на горизонтальну поверхню відрізняються на 5-10%.

Для перехресної перевірки правильності методики перерахунку сонячних теплонадходжень на вертикальні поверхні було використано один найбільш деталізованих та прогресивних програмних продуктів EnergyPlus. В створеній моделі на базі EnergyPlus використано деталізовану методику розрахунку сонячних теплонадходжень "Full interior and exterior with reflection", що враховує відбивання від поверхонь та ґрунту та інші не менш вагомні фактори. Середньомісячні значення, отримані за класичною методикою розрахунку Даффі [11], яка наведена вище, та результати розрахунку в програмному продукті EnergyPlus досить близькі, максимальна розбіжність результатів у зимовий період склала 8%, у літній – до 15%.

Проблеми викликані не лише відмінністю вихідних кліматичних даних, але й неможливістю використання наведених кліматичних даних в Будівельній кліматології України [4] при динамічному

погодинному розрахунку енергопотребы в опаленні. На рис. 2 наведено погодинну змінну сонячних теплонадходжень на горизонтальну поверхню та зовнішню температуру повітря для двох міст України

Врахування зміни кліматичних факторів протягом доби дозволяє уникнути перегріву в періоди максимальної сонячної активності в зимові періоди та забезпечити комфортну температуру в літній період.



1 – зовнішня температура повітря; 2 – сонячні теплонадходження на горизонтальну поверхню

Рисунок 2 – Погодинна зміна сонячних теплонадходжень на горизонтальну поверхню (2) та зовнішньої температури повітря (1) для м.Києва (а) та м.Одеси (б) за кліматичним файлом IWEC

Об'єкт дослідження кімната – будівлі масової забудови 1970-х років. Розміри кімнати 5,5×6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну (5,5×3,2 м) з вікном (5×2 м). Зовнішня стіна має термічний опір 0,8 м²°C/Вт (основний шар – цегляна кладка в одну цеглину). Вікно з подвійним застосуванням у дерев'яних спарених плетіннях. Внутрішні стіни – цегляна кладка в пів-цеглини. Перекриття над опалювальними приміщеннями залізобетонні –20 см. Вентиляція – природна. Кратність повітрообміну 1 год⁻¹. Будівля знаходиться в м. Одеса. Проектна внутрішня температура повітря 18°C. Система опалення – повітряна. Коефіцієнт пропускання сонячних теплонадходжень світлопрозорих конструкцій в зону кімнати становить 0,56. Кімната має південну орієнтацію.

За допомогою динамічної моделі 5R1C, що була створена на базі європейських стандартів EN 13790 та EN 13786 [12, 13], проведено погодинний розрахунок енергопотребы на опалення за середньомісячними даними кліматології, що діє в Україні та за годинними та середньомісячними даними за кліматичним файлом IWEC для м. Одеса (рис.3).

В роботі використано динамічну модель 5R1C для визначення енергопотребы на опалення. При погодинному розрахунку за середньомісячними даними є плавні переходи, пов'язані з тепло-інерційними особливостями непрозорих огорожень. При погодинному розрахунку за середньомісячними даними розглянутих кліматологій розбіжність річної енергопотребы складає 300 кВт·год/рік або 10 %. Якщо порівнювати результати розрахунку річної енергопотребы при погодинному розрахунку за погодинними і середньомісячними даними погодного файлу IWEC, енергопотреба в річному розрізі майже однакова (рис.3).



Рисунок 3 – Погодинна зміна річної енергопотреби на опалення по погодинним та середньомісячним значенням файлу IWEC [5] та середньомісячним значенням будівельної кліматології кліматології [4] для кімнати орієнтованої на Пд

Висновки

У роботі проведено аналіз та співставлення нормативних кліматичних даних, що діють в Україні та міжнародного погодного файлу IWEC при їх використанні для визначення потреби на опалення. Кліматичні файли IWEC створені для двох міст України: Київ (I кліматична зона) та Одеса (II кліматична зона), що є доволі усередненою характеристикою кожної з двох температурних зон. В нормативних кліматологічних даних, що діють в Україні, наведено середньомісячні значення зовнішньої температури повітря та сонячних теплонадходжень на вертикальні та горизонтальну поверхні, що є достатнім при стаціонарному та квазістаціонарному методі розрахунку. При розрахунку енергетичної потреби будівель на опалення та/або охолодження динамічними методами потрібні погодинні кліматичні значення. Міжнародні кліматичні файли погоди для розглянутих міст України майже не відрізняються за середньомісячними значеннями зовнішньої температури від нормативної кліматології України. Сонячні теплонадходження, які наведені в файлі IWEC, не можуть одразу бути використані для порівняння кліматичних баз даних або розрахунку енергопотреби будівель, тому в роботі наведена методика перерахунку сонячних теплонадходжень. Сонячні теплонадходження на вертикальні та горизонтальні поверхні за даними файлу IWEC суттєво відрізняються від діючої в Україні кліматології. Середньомісячна відмінність сонячної активності на вертикальні поверхні становить близько 40%, на горизонтальні – до 10%.

У роботі використано динамічну модель 5R1C для визначення енергопотреби на опалення при використанні різних кліматологій для кімнати, орієнтованої на Пд, розташованої у м.Одеса. При погодинному розрахунку за середньомісячними даними розглянутих кліматологій розбіжність річної енергопотреби становить 300 кВт·год/рік або 10%. Подібні відмінності за рахунок використання кліматичних баз даних потрібно враховувати при порівнянні різних методик розрахунку енергопотреби.

При динамічному моделюванні на базі програмних продуктів, у більшості випадків використовуються деталізовані кліматичні дані з міжнародних баз даних відповідного формату (наприклад IWEC), що обмежує використання діючої в Україні кліматології.

Розвитком подальших досліджень є розробка методики перерахунку середньомісячних кліматичних даних на погодинні, враховуючи особливості розподілу кліматичних значень сонячних теплонадходжень і температури повітря протягом доби.

Дослідження були проведені за підтримки Міністерства освіти і науки України, в рамках проекту "Управління енергоспоживанням об'єктів комунальної енергетики" (номер державної реєстрації 0117U000469).

Список використаної літератури

1. Полуянов В. П. Перспективи розвитку централізованого теплоснабження в Україні в контексте державно-частного партнерства / Полуянов В. П., Кравченко Р. С. // БІЗНЕСІНФОРМ, 2012. – №5. – С. 109–112.
2. ДСТУ_Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. – Уведено вперше; чинний від 2008.07.01. – К. : Мінеріонбуд України, 2008. – 44 с.

3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Текст]. – Уведений вперше; чинний від 2015.01.01. – К. Мінрегіонбуд України, 2016. – 205 с.
4. ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К., 2011. – 127 с.
5. [Електронний ресурс]: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.
6. [Електронний ресурс]: <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/iwec2>
7. [Електронний ресурс]: <https://energyplus.net/>
8. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. Crawley D.B., Lawrie L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O., Strand R.K., Liesen R.J., Fisher D.E., Wittef M.J., Glazer J. Energy and Buildings. 2001. № 33. Pp. 319-331.
9. [Електронний ресурс]: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=tashkent@meta.ua>
10. [Електронний ресурс]: <http://www.meteonorm.com>
11. W. Beckman, S. Klein, J. Duffy. Calculation of systems of solar heat supply. М.: Energoizdat, 1992.
12. EN 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. — CEN. European Committee for Standardization, 2008. 53 p.
13. EN ISO 13786:2007. Thermal performance of building component - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods. — CEN. European Committee for Standardization, 2007. 27 p.

УДК 697.1

В.И. Дешко, д-р техн. наук, проф.

И.Ю. Белоус, асс.

А.А. Гетманчук

Национальный технический университет Украины

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

**БАЗЫ КЛИМАТОГИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗДАНИЙ**

В данной работе проанализированы различные климатические базы данных, используемые при определении энергетической потребности зданий на отоплении. В зависимости от решаемых задач, потребность в отоплении может определяться в годовом (стационарные методы), в месячном (квазистационарные методы) и почасовом (динамические) разрезе, что в свою очередь требует разных пакетов исходных параметров (один из них - это климатические данные). В методиках, широко применяемых в Украине, основными климатическими параметрами, используемыми при расчете энергопотребности, являются внешняя температура и солнечные теплопоступления. Авторами проведен анализ действующих в Украине климатологических данных и международного климатического файла погоды IWEC, определены различия баз данных и на примере комнаты установлено отличие рассчитанного значения энергопотребности с помощью динамической модели 5RIC по разным климатологиям.

Ключевые слова: энергопотребность, базы климатологии, IWEC, внешняя температура воздуха, солнечные теплопоступления.

V. Deshko, Dr. Eng. Sc., Prof.,

I. Bilous, TF

H. Hetmanchuk

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

BASES OF CLIMATIC FOR BUILDINGS ENERGY PERFORMANCE DETERMINATION

In this paper various climatic databases are used which are used in determining the energy requirement of buildings for heating. Depending on the tasks, the need for heating can be determined in the annual (stationary methods), in the monthly (quasi-stationary methods) and hourly (dynamic methods) section, which in turn requires a different package of output parameters (one of them is climatic data). In the techniques widely used in Ukraine, the main climatic parameters used in calculating energy demand are external temperature and solar heat consumption. The authors analyze the existing climatological data in Ukraine and the international climatic weather file of the IWEC, determine the differences between the databases and establish the difference in the calculated energy demand using the 5RIC dynamic model, for example.

Keywords: energy need, bases of climatology, IWEC, outside temperature, solar heat transfer.

References

1. Poluyanov V.P., Kravchenko R.S. (2012) Perspektivi rozvitiya zentralizovanogo teplosnabgeniya v Ukraine v kontekste gosudarstvenno-chastnogo partnerstva [Prospects of the district heating development in Ukraine in the context of state-private partnership]. Biznesinform, 5, 109–112 (rus).

2. DSTU N B A.2.2.5: 2007. Proektuvannya. Nastanova z rozroblennya ta skladannya enerhetychnoho pasporta budynkiv pry novomu budivnytstvi ta rekonstruktsiyi [Designing. Guidelines for the development and assembly of energy passports for buildings under new construction and reconstruction]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008. 44 p. (ukr)
3. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pry opalenni, okholodzhenni, ventylyatsiyi, osvittleni ta haryachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. Method of calculation of energy heating, cooling, ventilation, lighting and hot water]. K.: Minrehion Ukrainy. 2015. 205 p. (ukr)
4. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budvel'na klimatolohiya [Construction climatology]. K.: Minrehion Ukrainy. 2010. 127 p. (ukr)
5. [Electronic resource]: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.
6. [Electronic resource]: <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/iwec2>
7. [Electronic resource]: <https://energyplus.net/>
8. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. Crawley D.B., Lawrie L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O., Strand R.K., Liesen R.J., Fisher D.E., Wittef M.J., Glazer J. *Energy and Buildings*. 2001. № 33. Pp. 319-331.
9. [Electronic resource]: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=tashkent@meta.ua>
10. [Electronic resource]: <http://www.meteonorm.com>
11. W. Beckman, S. Klein, J. Duffy. Calculation of systems of solar heat supply. M.: Energoizdat, 1992.
12. EN 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. — CEN. European Committee for Standardization, 2008. 53 p.
13. EN ISO 13786:2007. Thermal performance of building component - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods. — CEN. European Committee for Standardization, 2007. 27 p.

Надійшла 13.11.2017
Received 13.11.2017

УДК 697.1

М.М. Шовкалюк, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-1898-3493
С.В. Зіменко, магістр, ORCID 0000-0003-4151-0931

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

АНАЛІЗ ТЕПЛОВТРАТ ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖЕННЯ З УРАХУВАННЯМ РІЗНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Метою роботи є дослідження теплових потоків та аналіз теплових втрат з опалювальних приміщень. У статті проаналізовано проблематику питання та взято до розгляду конкретний об'єкт дослідження, розглянуто його конструктивні особливості та конкретні теплопровідні включення за допомогою різних методик розрахунку. Розглянуті методики діючих сучасних стандартів України щодо розрахунку теплозахисних властивостей огороджувальних конструкцій будівлі з врахуванням теплових включень та без них. За результатами дослідження визначено відмінності між методиками, розраховано ключові параметри, визначено відмінності між підходами. Результатом дослідження є висновок щодо значного впливу теплових включень на загальний рівень теплозахисних властивостей огороджувальних конструкцій та важливість правильного вибору методики розрахунку з врахуванням існуючих даних про об'єкт. У висновках визначено, що методика оцінки теплових втрат з врахуванням теплових включень дозволяє більш точно оцінити теплозахисні властивості ділянки дослідження.

Ключові слова: огороджувальні конструкції, тепловий захист, теплопровідні включення.

© М.М. Шовкалюк, С.В. Зіменко, 2017

Вступ

Один з інструментів досягнення енергоефективності у житловому секторі – впровадження заходів на рівні кінцевих споживачів, якими можуть бути як власники приватних будинків, так і ОСББ, ЖБК та інші форми об'єднання. За типами споживачів це можуть бути житлові будівлі, громадські, промислові та ін. Аналіз стану кожного окремого об'єкту можливий лише за умови застосування певних методик оцінювання та аудиту, а також за наявності засобів для інструментального визначення характеристик будівель.

Значну частину житлового фонду (близько 75%) України було зведено до 90-их років, коли вимоги щодо енергоефективності будівель не були чітко сформовані і рівень теплового захисту огорожень був значно нижче, ніж це встановлено сучасними нормами [1]. Також потрібно враховувати відсутність належного догляду як за будинком, так і за інженерними системами, людський фактор (наприклад, втручання в систему опалення, заміна радіаторів). Для модернізації житлового фонду необхідно проаналізувати ситуацію та рівень енергоефективності кожного будинку, розробити програму фінансування та впровадити заходи з енергозбереження. На етапі аналізу спеціаліст визначає стан огорожувальної оболонки будівлі та оцінює рівень її теплового захисту. На сьогодні є наступні шляхи оцінки цього параметру: розрахунковий та інструментальний. Розрахунковий метод викладено у нормативних документах [1-3], умови мікроклімату в будівлях приймаються за [4]. Досить розповсюдженим є випадки, коли під час енергообстежень будівель коефіцієнти теплопередачі конструкцій аудитором визначаються як для однорідного огороження, тобто спрощено без урахування теплопровідних включень, хоча навіть для будівель без складних архітектурних форм вплив таких «теплових містків» є досить суттєвим.

При інструментальному визначенні параметрів теплового захисту оболонки будівлі використовують прилад – термогігрометр із зондом для визначення коефіцієнту теплопередачі. Для визначення локальних термічно-неоднорідних ділянок використовується прилад – тепловізор. Порядок, за яким виконуються натурні вимірювання, регулюються сучасними нормативними документами та стандартами [5,6]. Методика для розрахунків показників теплового захисту за допомогою тепловізійного обстеження чітко не сформована, а визначення показників на основі даних, що були отримані при тепловізійній діагностиці, будуть трудомісткими. Тепловізійне обстеження конструкцій є ефективним інструментом для виявлення температурних аномалій.

Мета та завдання

Метою роботи є порівняння тепловтрат непрозорих огорожень з урахуванням різних методів оцінки теплозахисних властивостей зовнішніх стін, а саме:

- без урахування теплопровідних включень, тобто зовнішні стіни в теплотехнічному розрахунку приймаємо як однорідне непрозоре огороження;
- з урахуванням теплопровідних включень згідно діючих в Україні стандартів [2, 3],
- з урахуванням теплопровідних включень згідно європейського стандарту [7],
- інструментальне визначення характеристик теплового захисту.

Опис об'єкту досліджень

Об'єкт обстеження - окремо розташована житлова багатоквартирна будівля у м. Києві, яка була введена в експлуатацію в 1974 році, територіально належить до I температурної зони згідно [1]. Будівля являє собою 9-поверхову споруду без складних архітектурно-планувальних чи конструктивних рішень.

Таблиця 1 – Характеристика огорожувальних конструкцій

Конструктивний елемент	Опис
Конструкція зовнішніх стін	Стіни виконані з червоної будівельної цегли монолітної кладки товщиною 640 мм, стіни армовані. Частково присутнє утеплення зовнішніх стін.
Внутрішні стіни	Стіни виконані з червоної будівельної цегли монолітної кладки.
Міжповерхові перекриття	Перекриття виконані із залізобетонних панелей з пустотами.
Дах	Дах із напівпрохідним горищем. Покриття із ребристих панелей, покрівля рулонна трьохшарова.

Продовження табл.1

Технічне підпілля	Стіни підвалу зі збірних залізобетонних блоків.
Світлопрозорі конструкції	Скління парадних – суцільне, вітражне. Скління південного фасаду є елементом огорожувальних конструкцій для опалювального об'єму будівлі. Частина світлопрозорих конструкцій замінена на металопластикові склопакети.
Зовнішні двері	Зовнішні двері під'їзду металеві, обладнані автоматичним доводчиком.

Таблиця 2 – Параметри опалювального періоду

Розрахунковий параметр	Значення
Тривалість опалювального періоду, n_o (діб)	176
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, t_{co} , (°C)	-0,1
Кількість градусо-днів опалювального періоду, D	3537

Загальний вигляд зовнішніх огорожень будівлі показано на рис.1. Геометричні розміри стінових конструкцій (без урахування цоколю та горища) наведені в табл. 3.



Рисунок 1 - Загальний вигляд зовнішніх стін будівлі

Таблиця 3 – Геометричні розміри зовнішніх стін

Орієнтація конструкції	Північ	Південь	Схід	Захід
Площа конструкції, m^2	326	374,35	509,5	509,5

Опис методик розрахунку

Теплотехнічний розрахунок без урахування теплопровідних включень (розрахунок 1)

Втрати теплоти, Вт·год, через зовнішні стіни визначаються за формулою:

$$Q_{cm} = \sum_i U_i A_i (t_{вн} - t_{co}) n_o \cdot 24, \quad (1)$$

$t_{вн}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря для житлових будівель для теплотехнічних розрахунків, за додатком В стандарту [1] приймаємо 20°C;

A_i – площа зовнішньої стіни, м²;

$U_i = 1/R_{\Sigma i}$ – коефіцієнт теплопередачі огороження, (Вт/(м²·К)), де $R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі відповідного огороження (утепленої та неутепленої частини зовнішньої стіни), (м²·К)/Вт.

Опір теплопередачі термічно однорідного непрозорого огороження відповідно до стандарту [2] розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_з} \quad (2)$$

$\alpha_в, \alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, (Вт/м²К), приймають за додатком 8 стандарту [2];

δ_i – товщина і-го шару огорожувальної конструкції, (м);

λ_i – коефіцієнт теплопередачі і-ого шару огорожувальної конструкції, (Вт/м·К);

n – кількість шарів огорожувальної конструкції.

Результати розрахунків зведено до табл. 4.

Таблиця 4 – Тепловтрати через огороження без урахування теплопровідних включень

Найменування показника	Познач.	Од. вим.	Зовнішня стіна	
			Утеплена	Неутеплена
Стінова конструкція	—	—	Червона цегла з шаром утеплювача (пінополістирол) завтовшки 50 мм	Червона цегла

Продовження табл.4

Площа конструкції	A_i	м ²	239,2	1599,35
Опір теплопередачі	R_{Σ}	(м ² ·К)/Вт	1,89	0,94
Коефіцієнт теплопередачі	U_i	Вт/(м ² ·К)	0,53	1,06
Втрати теплоти через стіни за опалювальний період	Q_{cm}	кВт·год	10745,32	144456,01
Сумарні втрати через зовнішні стіни (без урахування цоколю)	$Q_{cm\Sigma}$	кВт·год	155201,33	
Нормативне значення опору теплопередачі стін [1]	$R_{q\ min}$	(м ² ·К)/Вт	3,3	

Визначення трансмісійних тепловтрат з урахуванням теплопровідних включень за національним стандартом, розробленим у відповідності до EN 13790 (розрахунок 2)

За стандартом EN 13790 та національною методикою розрахунку [3] теплопередача трансмісією, Вт·год, для кожного місяця опалювального періоду визначається окремо за формулою (3):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,H} - \theta_e) t, \quad (3)$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, для житлових приміщень за стандартом [4] для II категорії (нормальний рівень) приймаємо 20°C;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, що приймається за дод. А стандарту [3] °С;

t – тривалість опалювального періоду (год).

Для будівлі в цілому значення коефіцієнту теплопередачі трансмісією, Вт/К, повинно бути розраховано згідно стандарту ISO 13789, використовуючи формулу:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A, \quad (4)$$

де H_D - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

H_g - стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

H_U - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_A - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К.

В ході дослідження будемо враховувати лише втрати через зовнішні стіни, тому визначатимемо лише H_D для непрозорих огорожень, а усі інші складові формули (4) приймемо як такі, що дорівнюють нулю. Коефіцієнт теплопередачі трансмісією через стіни визначається за формулою:

$$H_D = b_{tr} \left[\sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \right], \quad (5)$$

де A_i – площа i -го елемента оболонки будівлі, (м²);

U_i – коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, (Вт/(м²·К)), що становить $U_i = 1/R_{\Sigma i}$, де $R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі, (м²·К/Вт), що визначено за формулою (2);

ψ_k – лінійний коефіцієнт теплопередачі k -го лінійного теплопровідного включення, Вт/(м·К);

l_k – довжина k -го лінійного теплопровідного включення, м;

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі j -го точкового теплопровідного включення, Вт/К;

b_{tr} – поправочний коефіцієнт, для розрахунку H_D приймається $b_{tr}=1$.

Під час проведення енергетичного обстеження багатоповірхової будівлі, що є об'єктом дослідження, були визначені теплопровідні включення для зовнішніх стін і за стандартом [2] визначено лінійні і точкові коефіцієнти теплопередачі огорожень, результати зведено до таблиці 5.

Таблиця 5 - Теплопровідні включення зовнішніх стін будівлі

Найменування теплопровідного включення	Довжина, l_k , м	Кількість, шт.	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, ψ_k , Вт/(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, χ_j , Вт/К
Віконний відкос в зоні перемички	1,5	35	0,063	—
Віконний відкос в зоні підвіконня	1,5	35	0,035	—
Вузол кутового сполучення зовнішніх стін із цегли	27	4	0,142	—
Вузол примикання зовнішніх стін із цегли до балконного перекриття	2,2	36	0,833	—
Віконний відкос в зоні рядового примикання	1,4	70	0,049	—
Вузол примикання зовнішніх стін із цегли до міжповерхового перекриття	90	8	0,087	—
Вузол влаштування пластикового дюбеля з металевим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару в фасадній системі з опорядженням штукатурками	—	1673	—	0,005

Під час розрахунків окремо визначався коефіцієнт теплопередачі U_i для утепленої та неутепленої частини зовнішньої стіни, далі за формулою (5) визначався коефіцієнт теплопередачі трансмісією через

зовнішні стіни, потім за формулою (3) для кожного місяця опалювального періоду розраховувалося теплопередача трансмісією.

Для визначення втрат теплоти зовнішніх стін за опалювальний період Q_{tr} , (Вт·год)/рік, помісячні результати підсумовувалися. Результати розрахунків зведено до таблиці 6.

Таблиця 6 – Тепловтрати через огороження з урахуванням теплопровідних включень за національним стандартом ДСТУ Б А.2.2-12:2015, розробленим у відповідності до EN 13790

Місяць року		Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Жовт.	Лист.	Груд.
Найменування								
Температура, °С		-4,7	-3,6	1	9	8,1	1,9	-2,5
Кількість днів опалювального періоду*		31	28	31	11	14	30	31
Коефіцієнт теплопередачі трансмісією через зовнішні стіни, H_D , Вт/К	утеплена частина	134,93						
	неутеплена частина	1855,33						
Теплопередача трансмісією, Q_{tr} , кВт-год	утеплена частина	2479,5	2139,8	1907,3	391,8	539,5	1758,4	2258,7
	неутеплена частина	34095,1	29424,1	26227	5387,9	7418,4	24178,7	31058
Сумарні трансмісійні втрати теплоти через зовнішні стіни за опалювальний період $Q_{tr\Sigma}$, кВт-год	утеплена частина	11474,96						
	неутеплена частина	157789,37						
	разом	169264,33						

* Примітка: дати переходу середньої добової температури повітря через 8 °С восени та навесні (дати початку та закінчення опалювального періоду) прийнято за табл.3 ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія», для м.Києва з 17.X по 11.IV.

Розрахунок трансмісійних тепловтрат з урахуванням теплопровідних включень згідно європейського стандарту EN 12831 (розрахунок 3)

Відповідно до європейського стандарту EN 12831 [7] визначення тепловтрат за рахунок теплопередачі з урахуванням теплових мостів може проводитися за спрощеним методом визначення втрат теплоти за рахунок теплопередачі. Він полягає в коригуванні значення коефіцієнта теплопередачі за наступною формулою:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \quad (6)$$

де U_{kc} – скоригований коефіцієнт теплопередачі ділянки будівлі з урахуванням лінійних теплових мостів, (Вт/(м²·К));

U_k – коефіцієнт теплопередачі елемента будівлі, (Вт/(м²·К));

ΔU_{tb} – коригуючий коефіцієнт, що залежить від типу елемента будівлі та береться з додатку до стандарту, (Вт/(м²·К)).

Значення коригуючого коефіцієнту для огорожень досліджуваної будівлі визначено за стандартом [7] і наведено нижче у таблицях 7÷9.

Таблиця 7 - Коригувальний коефіцієнт ΔU_{tb} для вертикальних елементів будинку

Кількість перекриттів, що перетинають теплоізоляцію	Кількість стін, що перетинаються	ΔU_{tb} ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$), при об'ємі простору >100 м ³
0	2	0,05

Таблиця 8 - Коригувальний коефіцієнт ΔU_{tb} для горизонтальних елементів будинку

Елемент будинку			$\Delta U_{tb} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$
Важка підлога (бетон тощо)	Кількість сторін, що контактують із зовнішнім середовищем	4	0,2

Таблиця 9 - Коригувальний коефіцієнт ΔU_{tb} для прорізів

Площа елемента будинку, м ²	$\Delta U_{tb} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$
>20	0,1

Теплопередача трансмісією, Вт-год, для кожного місяця опалювального періоду визначалася окремо за формулою (3), де загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією для зовнішніх огорожень, Вт/К, розраховувався наступним чином:

$$H_{tr,adj} = H_D = A \cdot U_{kc}, \quad (7)$$

де A – площа зовнішніх стін (утепленої та неутепленої частини), м².

Результати розрахунків зведено до таблиці 10.

Таблиця 10 – Тепловтрати через огороження з урахуванням теплопровідних включень за стандартом EN 12831

Місяць року	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Жовт.	Лист.	Груд.
Найменування							
Температура, °С	-4,7	-3,6	1	9	8,1	1,9	-2,5

Продовження табл. 10

Кількість днів опалювального періоду*		31	28	31	11	14	30	31
Скоригований коефіцієнт теплопередачі ділянки будівлі з урахуванням лінійних теплових мостів, U_{kc} , Вт/(м ² ·К)	утеплена частина	0,88						
	неутеплена частина	1,41						
Коефіцієнт теплопередачі трансмісією через зовнішні стіни, H_D , Вт/К	утеплена частина	210,28						
	неутеплена частина	2261,21						
Теплопередача трансмісією, Q_{tr} , кВт-год	утеплена частина	3864,3	3334,9	2972,5	610,7	840,8	2740,4	3520,1

Продовження табл.10

	неутеплена частина	41553,8	35861,0	31964,4	6566,5	9041,2	29468,1	37852,6
Сумарні трансмісійні втрати теплоти через зовнішні стіни за опалювальний період $Q_{tr\Sigma}$, кВт-год	утеплена частина	17883,6						
	неутеплена частина	192307,7						
	разом	210191,3						

Інструментальне визначення характеристик теплового захисту будівель

Дослідження проводилися комплектом testo 635-2 (термогірометр із виносним зондом), що дозволяє при певних значеннях коефіцієнту тепловіддачі на внутрішній та зовнішній поверхнях огороження визначати температури поверхні стіни у трьох точках, внутрішню та зовнішню температури повітря та коефіцієнт теплопередачі. Порядок проведення вимірювань та фіксації даних наводиться у стандарті [6]. Випробування в натурних умовах проводять у періоди року, коли існує температурний напір не менший ніж 15 градусів. Температура повітря в приміщенні підтримувалася за допомогою системи опалення будівлі, вимірювання проводилися на ділянці неутепленої частини огороження, захищеної від теплового та сонячного впливу з фіксацією значення у пам'ять пристрою кожні три години. Для вимірювання використовувалося наступне обладнання: ноутбук, зонд для вимірювання температури поверхні конструкції в трьох точках, радіозонд для проведення вимірювань зовнішніх параметрів. Результати вимірювань наведено на рис. 2.

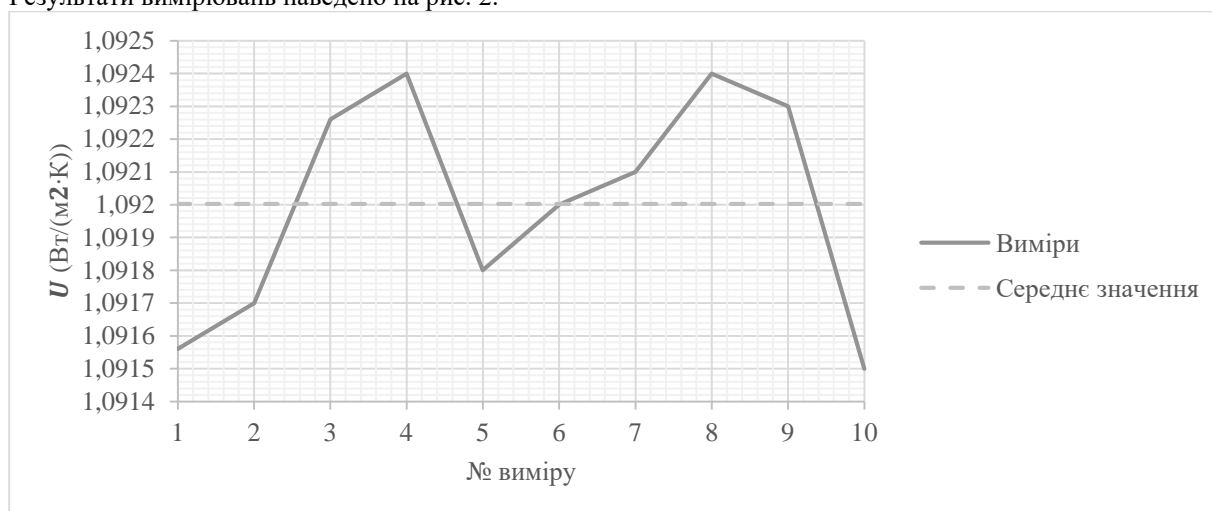


Рисунок 2 - Вимірювання коефіцієнта теплопередачі неутепленої ділянки зовнішніх стін

Узагальнення результатів дослідження

Порівнюємо результати розрахунків тепловтрат та інструментальні виміри (див. табл.11).

Таблиця 11 – Порівняння результатів

Параметр		Розрахунок 1	Розрахунок 2	Розрахунок 3	Інструментальні виміри (фактичне значення)
Коефіцієнт теплопередачі огорожень Вт/(м ² ·К)	утеплена частина	U=0,53	—	$U_{kc} = 0,88$	—
	неутеплена частина	U=1,06	—	$U_{kc} = 1,41$	U=1,092
Коефіцієнт теплопередачі трансмісією через зовнішні стіни, H_D , Вт/К	утеплена частина	—	134,93	210,28	—
	неутеплена частина	—	1855,33	2261,21	2007,7
Втрати теплоти через зовнішні стіни за опалювальний період, кВт·год	утеплена частина	10745,32	$Q_{tr} = 11474,9$	$Q_{tr} = 17883,6$	—
	неутеплена частина	144456,01	$Q_{tr} = 157789,4$	$Q_{tr} = 192307,7$	$Q_{tr} = 168762,16$
Відхилення від фактичного значення втрат теплоти, % (неутеплена частина)		14,4%	6,5%	14,0%	—

Висновки

Проведено дослідження теплових втрат з урахуванням різних методик визначення теплозахисних властивостей зовнішніх непрозорих огорожень. Показано, що урахування теплопровідних включень навіть для споруди без складних конструктивних рішень огорожень призводить до збільшення тепловтрат в розмірі до 14%, внаслідок чого може змінитися клас енергоефективності будівлі, тому поширена практика енергоаудиторів під час визначення енергопотреб будівлі спрощувати подібні розрахунки не є виправданою.

Список використаної літератури

1. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2016. – [Чинні від 2017–05–01] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К.: Укрархбудінформ, 2016. – 33 с. – (Державні будівельні норми України)
2. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель / ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2013, - 55 с.
3. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 203 с.
4. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики / ДСТУ Б EN 15251:2011 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2012, - 71 с.

5. Метод визначення питомих тепловтрат на опалення будинку / ДСТУ Б В.2.2-21:2008 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2009, - 29 с.

6. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій/ ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010, - 84 с.

7. EN 12831:2003 (E) Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. – CEN, 2003. – 76.

M. Shovkalyuk, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0002-1898-3493

S. Zimenko, Msc., **ORCID** 0000-0003-4151-0931

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

ANALYSIS OF HEAT LOSS THROUGH WALLING WITH THE ACCOUNT OF DIFFERENT METHODS OF ESTIMATION OF HEAT-SHIELDING PROPERTIES

The aim is to study the heat flow and analysis of heat loss from the heated space. The problem is analyzed in the article and the specific object of the study is considered, its design features and specific thermally conductive inclusions are considered using various calculation methods. Methods of modern up-to-date standards of Ukraine for calculating the heat-shielding properties of the enclosing structures of a building with allowance for thermal inclusions and without them are considered.. Based on the results of the study, differences were identified between the methods, the main parameters were determined, the differences between the approaches. The result of the study is the conclusion that thermal inclusions exert a significant influence on the overall level of heat-shielding properties of the walling and the importance of the correct choice of the calculation method taking into account existing data on the object. In the conclusions it is established that the method of estimating heat losses with allowance for thermal inclusions allows more accurately to estimate the heat-shielding properties of the investigated section.

Keywords: walling, thermal protection, thermally conductive inclusions

References

1. Construction of buildings and facilities. Thermal insulation of buildings: DBN V.2.6-31:2016. – [Valid from 01.04.2017] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2016. – 33 p. – (State Building Standards of Ukraine), (Ukr).

2. Methods for choosing of insulation material for insulation of buildings: DSTU B V.2.6-189:2013. – [Valid from 01.01.2014] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2014. – 55 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

3. The energy efficiency of buildings. The method of calculating the energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply: DSTU B A.2.2-12:2015. – [Valid from 01.01.2016] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2011. – 203 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

4. Indoor environmental input parameters for design and assessment of Energy performance of buildings addressing indoor air quality, Thermal environment, lighting and acoustics: DSTU B EN15251:2011. – [Valid from 01.01.2013] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2012. – 71 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

5. Buildings and structures. Method for determination of specific heat consumption for building heating: DSTU B V.2.2-21:2008. – [Valid from 01.06.2009] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2009. – 29 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

6. Constructions of buildings and structures. Method for determination of thermal resistance of building envelopes: DSTU B V.2.6-101:2010. – [Valid from 01.10.2010] // Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine. – Kyiv, 2010. – 84 p. – (State Standards of Ukraine), (Ukr).

7. EN 12831:2003 (E) Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. – CEN, 2003. – 76.

Шовкалюк М.М., канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-1898-3493

Зименко С.В., магистр, ORCID 0000-0003-4151-0931

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

АНАЛИЗ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ С УЧЁТОМ РАЗНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ

Целью работы является исследование тепловых потоков и анализ тепловых потерь из отапливаемых помещений. В статье проанализирована проблематика вопроса, и принят к рассмотрению конкретный объект исследования, рассмотрены его конструктивные особенности и конкретные теплопроводные включения с помощью различных методик расчета. Рассмотрены методики действующих современных стандартов Украины по расчету теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, с учетом тепловых включений и без них. По результатам исследования определены различия между методиками, рассчитаны ключевые параметры, определены различия между подходами. Результатом исследования является вывод о значительном влиянии тепловых включений на общий уровень теплозащитных свойств ограждающих конструкций и важность правильного выбора методики расчета с учетом существующих данных об объекте. В выводах определено, что методика оценки тепловых потерь с учетом тепловых включений позволяет более точно оценить теплозащитные свойства участка исследования.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, тепловая защита, теплопроводные включения.

Надійшла 15.12.2017

Received 15.12.2017

УДК 536.24:697.278

А.В. Хименко, канд. техн. наук, науч. сотр. ORCID 0000-0003-2612-969X

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТДАЧИ ТЕПЛОТЫ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА

Данные, полученные в результате проведения экспериментальных исследований динамических характеристик теплоаккумулирующих элементов из магнезита с каналами целевидной формы, а также теплоаккумулирующих элементов из шамота с воздушными каналами круглой формы в режимах заряда и отдачи теплоты электротеплового аккумулятора (ЭТА), были использованы для оценки эффективности аккумулирования и отдачи теплоты теплоаккумулирующими элементами ЭТА. Определены средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности корпуса ЭТА $\alpha_{н_ср}$, а также коэффициент теплоотдачи в каналах теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота при естественной и вынужденной конвекции $\alpha_{к_ср}$ и $\alpha_{к_ест_ср}$ в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА. Показана динамика отдачи теплоты в каналах теплоаккумулирующих элементов $Q_{к_ср}$ и общей отдачи теплоты Q_0 за весь цикл работы ЭТА. Были также получены аналитические выражения для определения избыточной температуры теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита в режиме отдачи теплоты ЭТА путем аппроксимации полученных значений темпа охлаждения методом наименьших квадратов с использованием экспоненциальной функции.

Ключевые слова: электротепловой аккумулятор, теплоаккумулирующий элемент, режимы заряда и отдачи теплоты, темп нагрева и охлаждения, шамот, магнезит, коэффициент теплоотдачи, температурный напор, распределение температур, тепловые характеристики.

© А.В. Хименко, 2017

Введение

Приоритетными задачами для энергетики Украины на сегодняшний день являются снижение уровня энергоемкости производства, повышение энергоэффективности систем по выработке тепловой и электрической энергии, замещение природного газа другими видами энергоресурсов, в том числе – полученными из альтернативных источников энергии, а также повышение эффективности использования тепловой энергии потребителями. В Государственной целевой экономической программе энергоэффективности и развития сферы производства энергоносителей из возобновляемых источников энергии и альтернативных видов топлива рекомендуется внедрение электротеплоаккумуляционного отопления в бюджетной сфере и в административных зданиях, как альтернатива газовому отоплению и один из эффективных вариантов решения проблемы повышения эффективности использования тепловой энергии у потребителей. Одним из перспективных видов электротеплоаккумуляционного отопления являются электротепловые аккумуляторы (ЭТА). Применение ЭТА является экономически целесообразным, так как накопление тепловой энергии (аккумуляция) происходит в ночные часы, когда нагрузка энергосистемы минимальна и действуют дифференцированные тарифы, установленные НКРЭ для всех типов потребителей при наличии многозонных счетчиков учета потребленной электроэнергии. Регулируемая отдача теплоты ЭТА происходит в течение суток в соответствии с потребностями потребителя.

Для широкого внедрения ЭТА в качестве систем электроотопления необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований теплофизических свойств твердых теплоаккумулирующих материалов (ТАМ), используемых в ЭТА, а также теплообменных процессов, протекающих в ЭТА в режимах заряда и отдачи теплоты. Также важной задачей является уменьшение стоимости ЭТА за счет использования более дешевых ТАМ украинского производства, чем магнезит и феолит.

В работах [1-3] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплообменных процессов в теплоаккумулирующих элементах ЭТА из магнезита и шамота. Получено распределение температур в нескольких сечениях по высоте теплоаккумулирующего элемента с воздушными каналами щелевидной и круглой формы при скорости воздушного потока в каналах $w = 3$ м/с в режимах заряда (нагрева) и отдачи теплоты ЭТА [1, 2]. Также было получено изменение температуры нагреваемого воздуха в каналах теплоаккумулирующего элемента по высоте в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА. Показано изменение коэффициентов теплоемкости и теплопроводности в зависимости от температуры различных твердых ТАМ, а также на основе полученных экспериментальных данных определено, как изменяется количество аккумулируемой теплоты теплоаккумулирующими элементами из магнезита и шамота в абсолютных и относительных величинах в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА [3]. Для более полной оценки эффективности работы ЭТА предложенной [1, 4] и стандартной конструкции [5] необходимо на основе полученных экспериментальных данных оценить отдачу теплоты ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из магнезита и шамота в режимах заряда и отдачи теплоты.

Цель и задачи

Основной целью данной работы является оценка эффективности отдачи теплоты теплоаккумулирующими элементами из магнезита и шамота с воздушными каналами щелевидной и круглой формы соответственно в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА. Для достижения поставленной цели необходимо определить: 1) Коэффициент теплоотдачи в воздушном канале теплоаккумулирующего элемента в режимах заряда и отдачи теплоты, а также от поверхности корпуса ЭТА; 2) Тепловые потери с поверхности корпуса ЭТА путем естественной конвекции и излучения; 3) Тем нагрева и охлаждения теплоаккумулирующих элементов ЭТА из магнезита и шамота.

Материал и результаты исследований

Оценка тепловых потерь от поверхности корпуса ЭТА

На основе полученных экспериментальных данных об изменении температуры $T_{с1}$ ([2], рис. 2 в) на поверхности корпуса ЭТА в режимах заряда и отдачи теплоты рассчитан средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{н,ср}$. Изменение среднего коэффициента теплоотдачи $\alpha_{н,ср}$ от поверхности корпуса в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА при использовании теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота приведено на рис. 1.

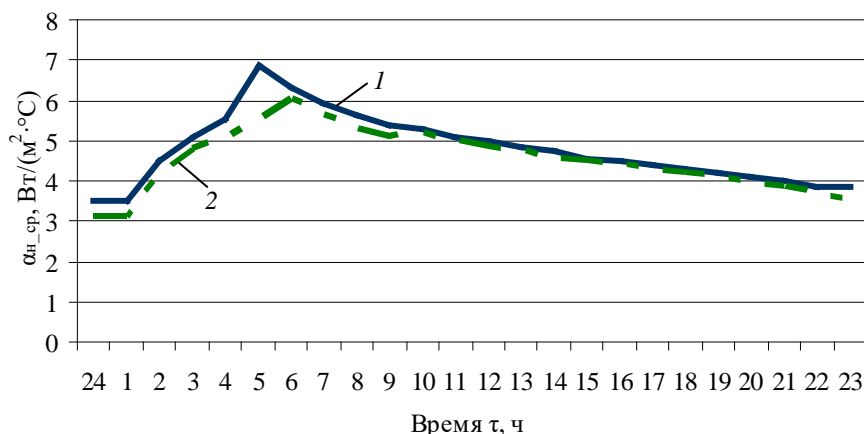


Рисунок 1 – Изменение среднего коэффициента теплоотдачи α_{n_cp} от поверхности корпуса в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА при использовании теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота: 1 – магнезит; 2 – шамот

Можно отметить, что полученные значения температуры T_{c1} на поверхности корпуса ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из магнезита и шамота в результате проведения экспериментальных исследований практически идентичны, поэтому и значения коэффициента теплоотдачи α_{n_cp} (рис. 1) от поверхности корпуса ЭТА для магнезита и шамота также сопоставимы.

При расчете среднего коэффициента теплоотдачи α_{n_cp} от поверхности корпуса ЭТА определялся критерий подобия Gr по формуле (1), далее вычислялся критерия подобия Nu по формуле (2), и находилось соответствующее значение α_{n_cp} .

$$Gr = \frac{\beta h^3 g (T_{c1} - T_{ж})}{\nu^2}, \quad (1)$$

где $\beta = \frac{1}{273 + T_{ж}}$, К⁻¹;

h – высота ЭТА, м;

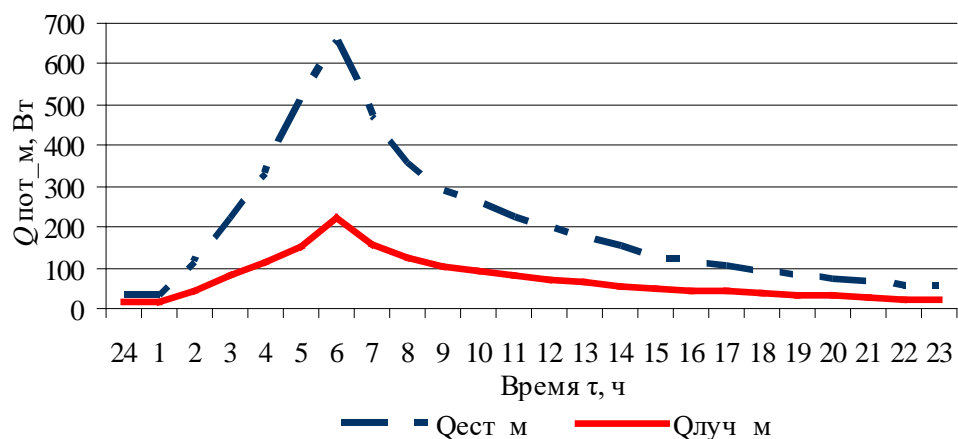
g – ускорение свободного падения, м/с²;

ν – коэффициент кинематической вязкости для жидкости, м²/с;

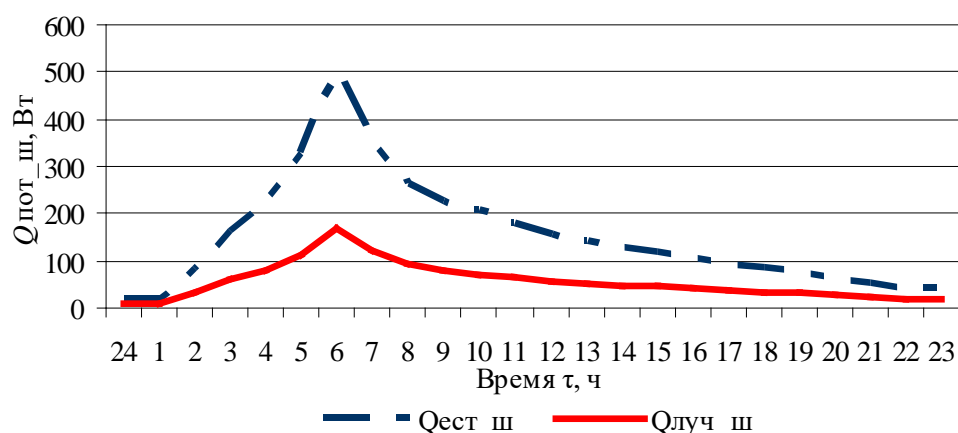
$T_{ж}$ – температура окружающего воздуха, °С.

Определяем изменение тепловых потерь $Q_{пот}$ путем естественной конвекции, с учетом среднего коэффициента теплоотдачи α_{n_cp} , а также разницы температур T_{c1} и $T_{ж}$, и излучения в режимах заряда и отдачи теплоты от поверхности корпуса ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из шамота и магнезита.

Полученные значения тепловых потерь путем естественной конвекции и излучения представлены на рис. 2.



a



б

Рисунок 2 – Динамика тепловых потерь $Q_{пот}$ путем естественной конвекции и излучения в режимах заряда и отдачи теплоты с поверхности корпуса ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из магнезита (а) и шамота (б): индекс ш – шамот, индекс м – магнезит

По рис. 2. видно, что тепловые потери путем естественной конвекции значительно превышают тепловые потери путем лучистого теплообмена, как в случае с магнезитовыми теплоаккумулирующими элементами, так и с шамотными. Площадь поверхности корпуса ЭТА $F_{эта}$ принята в расчетах $1,99 \text{ м}^2$.

Оценка отдачи теплоты ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из магнезита и шамота

На основе полученных данных об изменении температуры стенки канала теплоаккумулирующих элементов $T_{ск1}$ и $T_{ск2}$ ([2], рис. 2 а, з) и температуры нагреваемого воздуха в каналах теплоаккумулирующих элементов $T_{в_ск1}$ и $T_{в_ск2}$ ([2], рис. 2 б, д) в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА рассчитан средний коэффициент теплоотдачи в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита при естественной $\alpha_{к_ест_ср}$ и вынужденной конвекции $\alpha_{к_ср}$ (рис. 3).

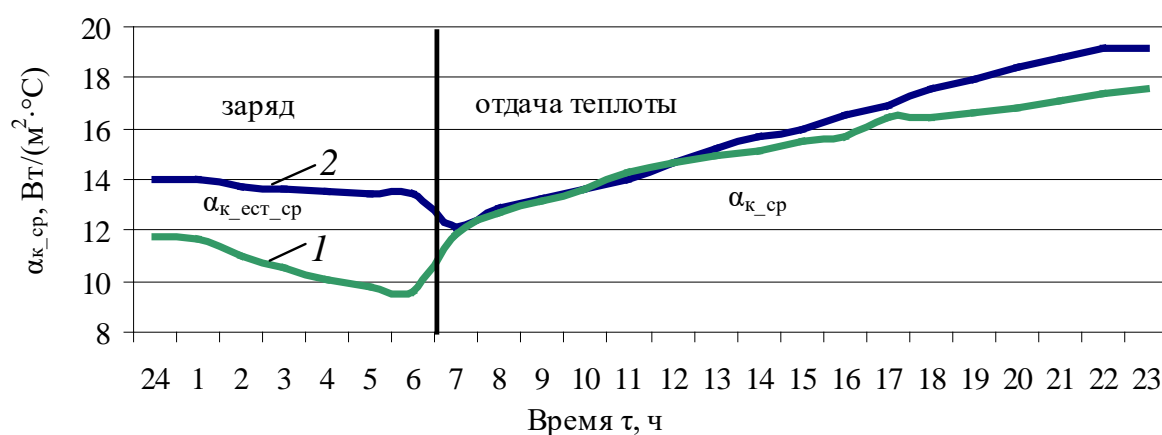


Рисунок 3 – Изменение коэффициента теплоотдачи $\alpha_{к_ест_ср}$ и $\alpha_{к_ср}$ в каналах теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА: 1 – теплоаккумулирующие элементы из магнезита; 2 – теплоаккумулирующие элементы из шамота

Для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции в воздушных каналах $\alpha_{к_ест_ср}$ использовалось критериальное уравнение для вертикальных поверхностей (труба, пластина) при ламинарном течении жидкости (газов) $10^3 < Gr_{дж} \cdot Pr_{ж} < 10^9$ [6] ввиду отсутствия устойчивых решений для данных условий теплообмена:

$$\overline{Nu} = 0,695 Gr_{дж}^{0,25} . \quad (2)$$

Для расчета среднего коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции с учетом влияния температурного напора в воздушном канале теплоаккумулирующего элемента использовалось уравнение [7, 8]

$$\overline{Nu} = 0,023 Pr^{0,4} Re^{0,8} \left(\frac{T_{ск}}{T_{в_ск}} \right)^{-0,55} . \quad (3)$$

При расчете среднего коэффициента теплоотдачи в щелевидных каналах (0,19×0,02 м) магнетитовых теплоаккумулирующих элементов в уравнении (3) используется в качестве определяющего размера эквивалентный диаметр канала ($d_{экр} = 0,036$ м). При расчете среднего коэффициента теплоотдачи в каналах теплоаккумулирующих элементов из шамота диаметр канала принимался 0,044 м.

Отмечаются большие значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{к_ест_ср}$ и $\alpha_{к_ср_ср}$ в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из шамота практически в течение всего периода заряда и отдачи теплоты ЭТА, чем значения коэффициента теплоотдачи в каналах магнетитовых элементов.

Полученные значения $\alpha_{к_ест_ср}$ и $\alpha_{к_ср}$ соответствуют приведенному в [9] диапазону значений коэффициента теплоотдачи при естественной и вынужденной конвекции в трубах и каналах.

Определена средняя отдача теплоты в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита $Q_{к_ср}$, а также общая отдача теплоты Q_0 ЭТА с учетом тепловых потерь излучением и естественной конвекцией от поверхности корпуса ЭТА в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА (рис. 4). При расчете отдачи теплоты в каналах теплоаккумулирующих элементов $Q_{к_ср}$ использовались средние значения температур $T_{ск2_н}$ и $T_{ск2_в}$ ([2], рис. 2 а, з), средние значения температур $T_{в_ск2_н}$ и $T_{в_ск2_в}$ ([2], рис. 2 б, д), а также значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{к_ест_ср}$, $\alpha_{к_ср}$ (рис. 3) и $\alpha_{н_ср}$ (рис. 1). Длина воздушных каналов теплоаккумулирующих элементов из магнезита принята 0,5 м, а для шамотных теплоаккумулирующих элементов – 0,3 м.

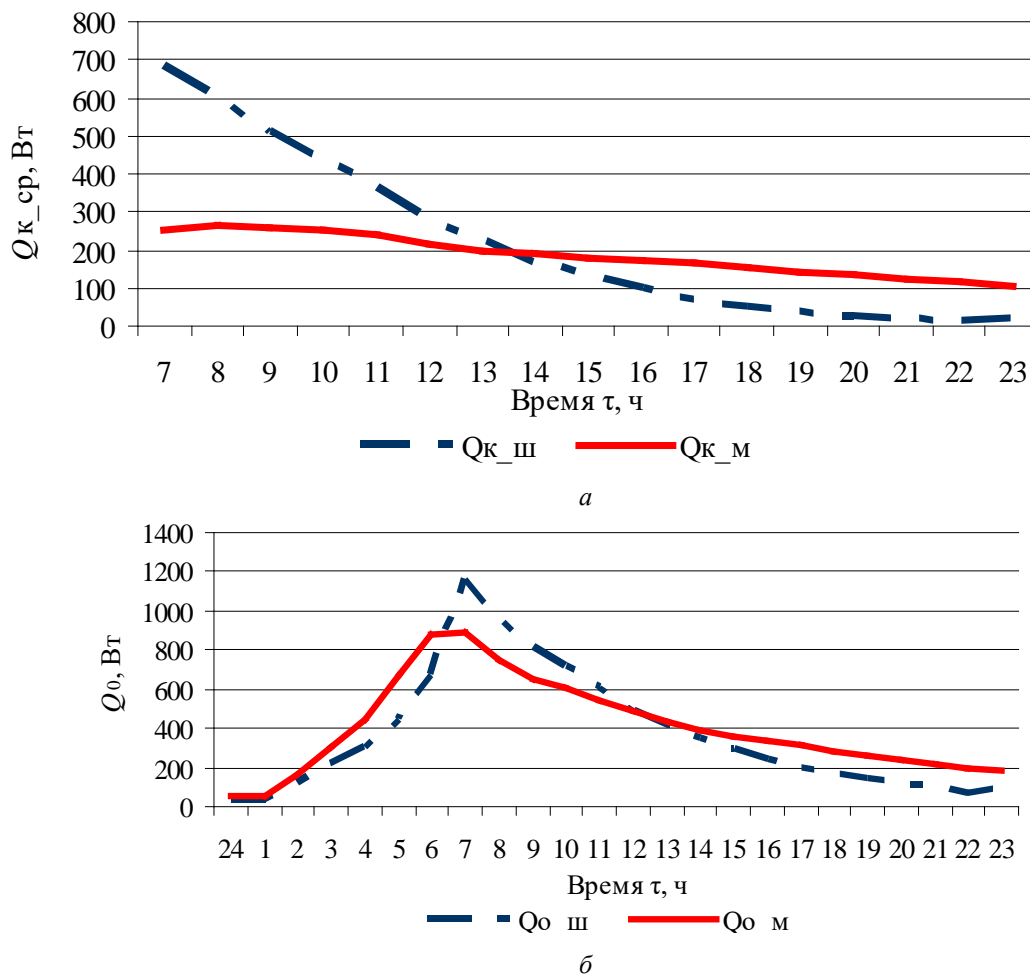


Рисунок 4 – Изменение средней теплоотдачи Q_{k_cp} (a) в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из магнетита и шамота и общей отдачи теплоты Q_0 (б) с учетом тепловых потерь в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА: индекс ш – шамот, индекс м – магнетит

Теплоаккумулирующие элементы из шамота с каналами круглого сечения обеспечивают бóльшую отдачу теплоты в каналах $Q_{k_ш}$ (на 15 %) по сравнению с магнетитовыми теплоаккумулирующими элементами, у которых наблюдается равномерная, но достаточно низкая отдача теплоты в каналах $Q_{k_м}$ (см. рис. 4 a). Такая же динамика наблюдается и с общей отдачей теплоты Q_0 , которая складывается из $Q_{пот}$ (рис. 2) и Q_{k_cp} (рис. 4 a). Это объясняется большим температурным напором между стенкой воздушного канала и нагреваемым воздухом в канале теплоаккумулирующих элементах из шамота, что и определяет большее значение отдачи теплоты в канале по сравнению с магнетитовыми элементами.

Определим среднелогарифмический температурный напор между стенкой воздушного канала и нагреваемым воздухом в абсолютных и относительных единицах (см. рис. 5).

Среднелогарифмический температурный напор в безразмерной форме определяется отношением текущего значения среднелогарифмического температурного напора в определенный момент времени t к максимально возможному его значению $\Delta T_{лог\ t} / \Delta T_{лог\ max}$ [7]:

$$\Delta T_{лог} = \frac{\Delta T' - \Delta T''}{\ln \frac{\Delta T'}{\Delta T''}}, \quad (4)$$

где $\Delta T'$ и $\Delta T''$ – температурные напоры между стенкой канала и нагреваемым воздухом в канале теплоаккумулирующего элемента в нижнем и верхнем сечениях воздушного канала.

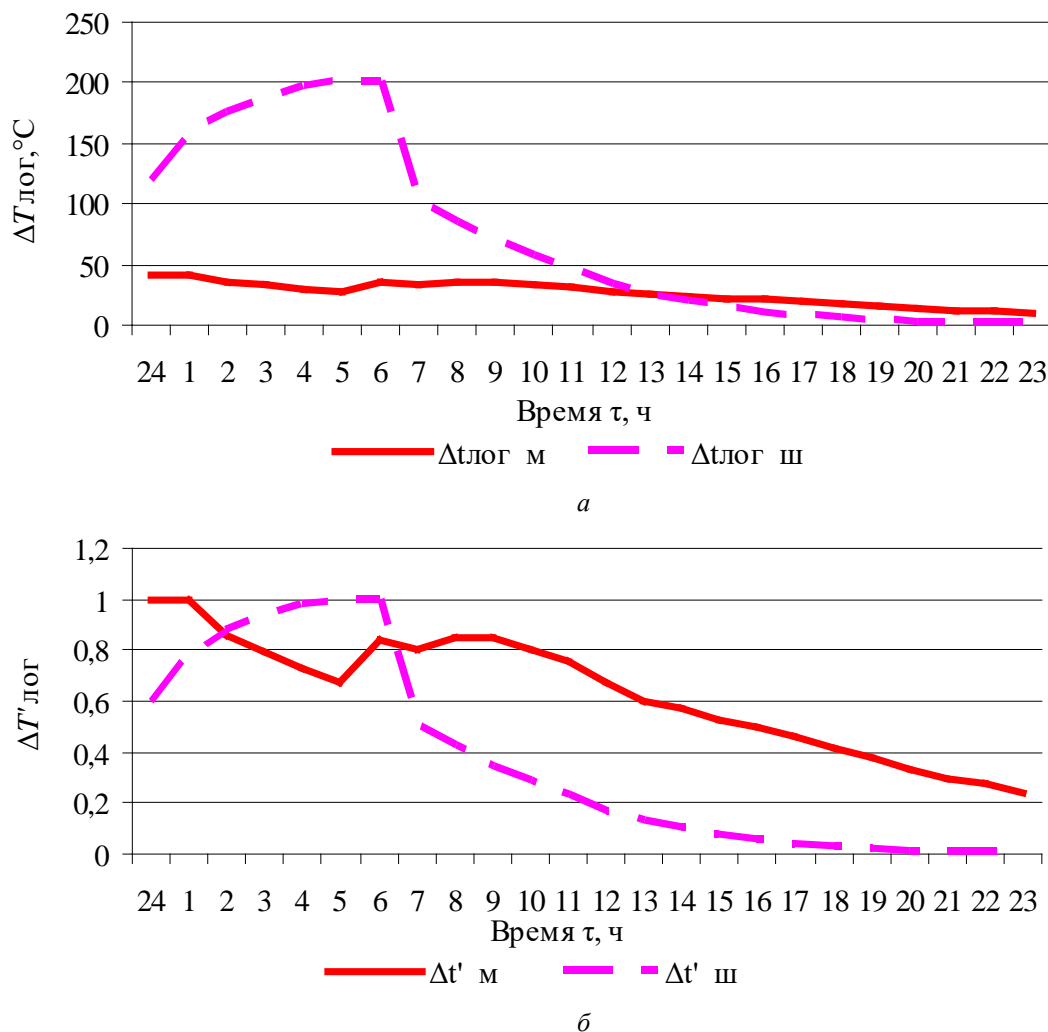


Рисунок 5 – Изменение среднелогарифмического температурного напора в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота в абсолютных (а) и относительных величинах (б) в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА

Можно отметить, что среднелогарифмический температурный напор в воздушных каналах теплоаккумулирующих элементов из шамота больше на 50-150 $^\circ\text{C}$ в течение 7 часов режима заряда ЭТА и первых 3-х часов режима отдачи теплоты ЭТА (рис. 5) по сравнению с температурным напором в щелевидных каналах теплоаккумулирующих элементов из магнезита, что отражается на более высоком значении отдачи теплоты в канале $Q_{\text{к.ш.}}$.

Количество аккумулируемой теплоты $Q_{\text{ак}}$ рассчитывалось на основе средних значений температур по высоте воздушного канала теплоаккумулирующего элемента $T_{\text{ск2.н}}$ и $T_{\text{ск2.в}}$ и представлено в [3]. Масса теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота принималась 62,5 и 58 кг соответственно. Среднее значение коэффициента теплоемкости c_p принимались согласно [10] и в диапазоне температур 50-650 $^\circ\text{C}$ для магнезита составляет 1,14 кДж/(кг $\cdot^\circ\text{C}$), а для шамота – 0,94 кДж/(кг $\cdot^\circ\text{C}$). Максимальное значение $Q_{\text{ак}}$ в конце режима заряда ЭТА с теплоаккумулирующими элементами из магнезита составляет 11300 Вт, а с теплоаккумулирующими элементами из шамота соответственно 9300 Вт. Более низкие значения коэффициентов теплоемкости, теплопроводности и плотности шамота определяют меньшее значение $Q_{\text{ак}}$ в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА по сравнению с магнезитом [10].

Определение темпа нагрева и охлаждения. Оценка эффективности аккумуляции теплоты теплоаккумулирующими элементами ЭТА

Для анализа динамики и эффективности отдачи теплоты ЭТА определим средний темп охлаждения теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота по следующей зависимости (первая теорема Кондратьева), используя значения $\alpha_{к_ср}$ и $\alpha_{к_ест_ср}$

$$m = \psi \frac{\alpha_{к_ср} F_k}{c_{p1} \rho_1 V_{ТАМ}}, \quad (5)$$

где F_k – площадь поверхности воздушного канала, м²;

c_{p1} – теплоемкость ТАМ, Дж/(кг·°С);

ρ_1 – плотность теплоаккумулирующего материала, кг/м³;

$V_{ТАМ}$ – объем теплоаккумулирующих элементов, м³;

ψ – коэффициент неравномерности распределения температуры в теплоаккумулирующем элементе (принят 0,7).

Рассчитанный средний темп охлаждения теплоаккумулирующих элементов на основе полученных экспериментальных данных $m_M = 9,28 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ и $m_{III} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ подтверждают динамику изменения температуры теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота в режиме отдачи теплоты ЭТА ([2], рис. 2 а, з). Темп нагрева теплоаккумулирующих элементов из магнезита меняется в течение режима заряда ЭТА от $3,39 \cdot 10^{-4}$ до $1,94 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, а для теплоаккумулирующих элементов из шамота – от $7,22 \cdot 10^{-4}$ до $1,39 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Темп нагрева теплоаккумулирующих элементов определяется как отношение разности натуральных логарифмов избыточных температур ϑ_c к разности двух моментов времени τ [6]

$$m = \frac{\ln \vartheta_2 - \ln \vartheta_1}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (6)$$

где $\ln \vartheta_1$ и $\ln \vartheta_2$ – натуральные логарифмы избыточной температуры ϑ теплоаккумулирующих элементов для двух моментов времени τ_1 и τ_2 .

Также получены аналитические выражения для определения избыточной температуры теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита в режиме отдачи теплоты ЭТА путем аппроксимации полученных значений темпа охлаждения методом наименьших квадратов с использованием экспоненциальной функции (см. рис. 6).

$$\vartheta_M = 54,401e^{-0,0823\tau}, \quad (7)$$

$$\vartheta_{III} = 178,59e^{-0,2957\tau}. \quad (8)$$

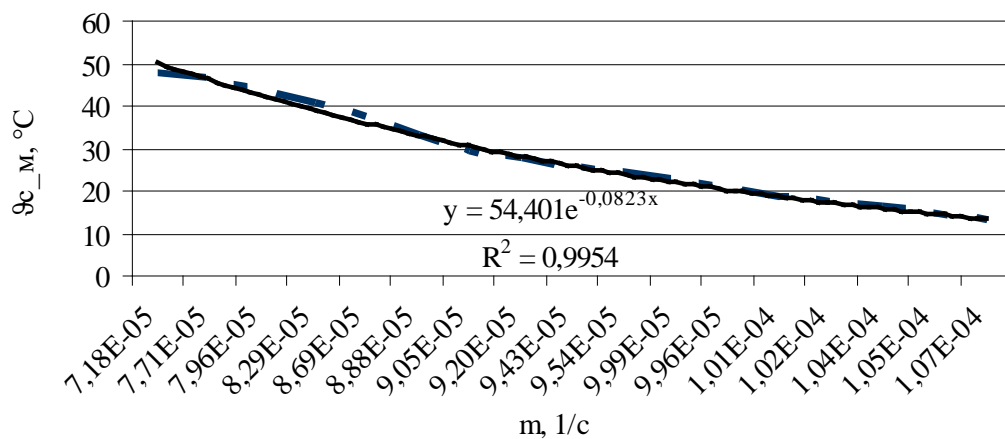
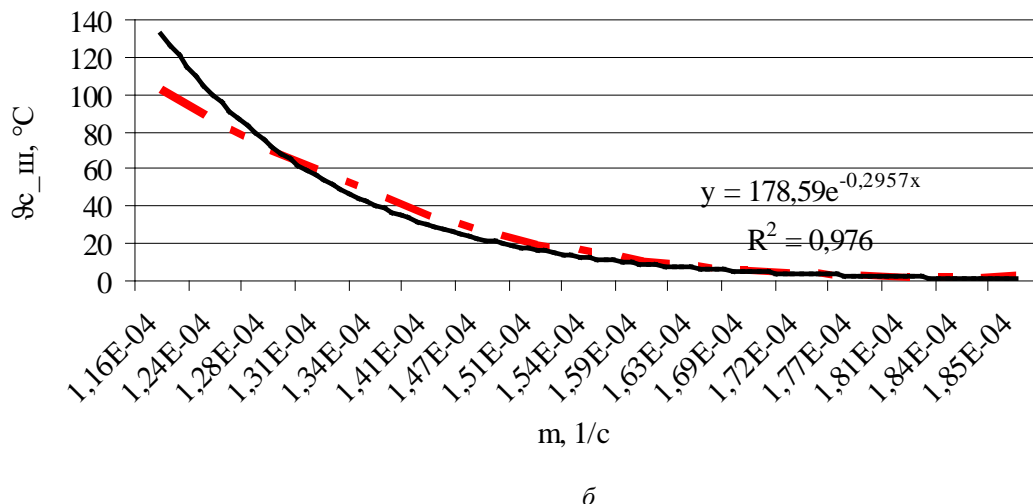


Рисунок 6 – Изменение избыточной температуры ϑ_c в зависимости от темпа охлаждения теплоаккумулирующих элементов из магнезита (а)



Продолжение рис. 6. Изменение избыточной температуры θ_c в зависимости от темпа охлаждения теплоаккумулирующих элементов из шамота (δ) в режиме отдачи теплоты ЭТА:
индекс м – магнезит, индекс ш – шамот

Определена безразмерная избыточная температура θ'_c теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА по формуле [11]

$$\theta'_c = \frac{T_{\text{ск2}} - T_{\text{в_ск2}}}{T_{\text{в_ск2}} - T_{\text{ск2},0}} \quad (9)$$

Результаты расчета θ'_c представлены на рис. 7.

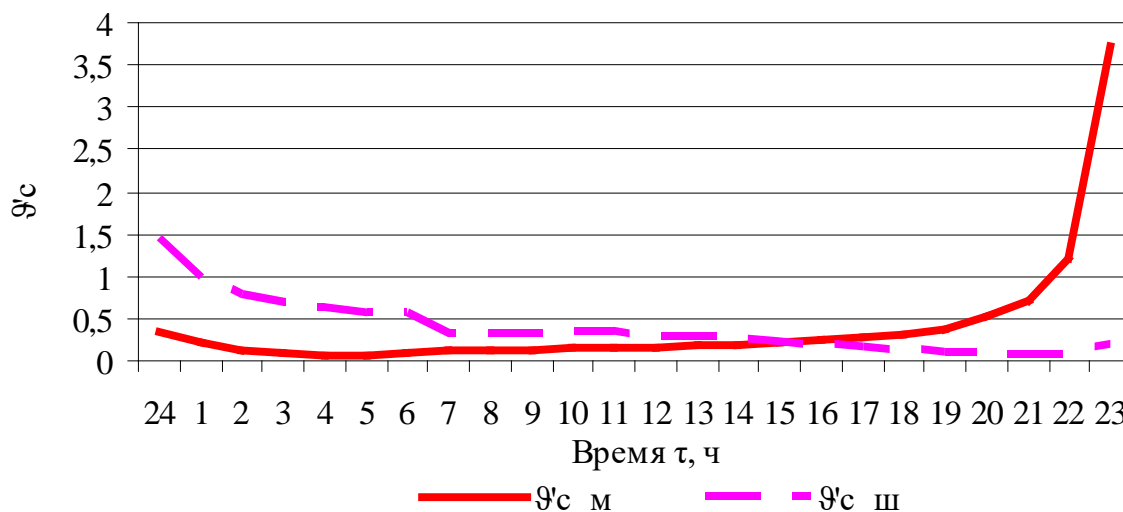


Рисунок 7 – Изменение безразмерной избыточной температуры θ'_c в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА для теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита

Можно отметить, что наибольшие значения безразмерной избыточной температуры θ'_c наблюдаются в режиме заряда ЭТА с шамотными теплоаккумулирующими элементами и в последние 4 часа режима отдачи теплоты ЭТА с магнезитовыми теплоаккумулирующими элементами. Это объясняется наибольшим температурным напором между стенкой воздушного канала и нагреваемым воздухом в канале в указанные периоды работы ЭТА (см. [2], рис. а, б, з, д).

Эффективность отдачи теплоты теплоаккумулирующими элементами ЭТА из магнезита и шамота можно определить из отношения

$$k_{\text{эф}} = \frac{Q_0}{Q_{\text{ак}}}, \quad (10)$$

где $Q_{\text{ак}}$ – максимальное количество аккумулируемой теплоты теплоаккумулирующими элементами в конце периода заряда ЭТА (см. рис. 4 а);

Q_0 – максимальное количество общей отдаваемой теплоты ЭТА (см. [3], рис. 7).

Эффективность отдачи теплоты стандартными теплоаккумулирующими элементами из магнезита со щелевидными каналами, рассчитанная по формуле (10), составляет 0,85, а для шамотных элементов с круглыми каналами составляет 0,94.

Выводы

На основе анализа и обобщения полученных экспериментальных данных определены средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности корпуса ЭТА $\alpha_{\text{н. ср.}}$, а также средний коэффициент теплоотдачи в каналах теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота при естественной и вынужденной конвекции $\alpha_{\text{к. ср.}}$ и $\alpha_{\text{к. ест. ср.}}$. Получены значения средней отдачи теплоты в каналах теплоаккумулирующих элементов $Q_{\text{к. ср.}}$ и общей отдачи теплоты Q_0 ЭТА, а также аналитические выражения для определения избыточной температуры теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита с учетом их темпа охлаждения в режиме отдачи теплоты ЭТА. Показана большая эффективность теплоаккумулирующих элементов из шамота с каналами круглой формы в режиме отдачи теплоты ЭТА по сравнению с более дорогими теплоаккумулирующими элементами из магнезита с каналами щелевидной формы.

Полученные тепловые характеристики ЭТА с магнезитовыми и шамотными теплоаккумулирующими элементами необходимы для выявления факторов, влияющих на характер и динамику нагрева и охлаждения теплоаккумулирующих элементов, а также для выдачи рекомендаций по выбору эффективных ТАМ и методике теплотехнического расчета ЭТА.

Список использованной литературы

1. Хименко А.В. Расчетное и экспериментальное исследование тепловых процессов в твердом теплоаккумулирующем материале с высокими теплоаккумулирующими свойствами / А.В. Хименко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2016. – №10 (1182). – С. 44-49. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi:10.20998/2078-774X.2016.10.06.
2. Хименко А.В. Исследование динамических характеристик электротепловых аккумуляторов / А.В. Хименко // Відновлювана енергетика. – 2016. – №2 (45). – С. 22-26. – ISSN 1819-8058.
3. Хіменко О.В. Оцінка ефективності акумулювання теплоти твердими теплоаккумулюючими елементами електротеплового акумулятора / О. В. Хіменко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – Л.: НУ "Львівська політехніка", 2016. – №844. – С. 210-215. – ISSN 0321-0499.
4. Тарасова В.А. Выбор рациональных геометрических параметров элемента электрического теплового аккумулятора / В.А. Тарасова, А.В. Хименко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – №13 (987). – С. 110-115. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2078-774X.
5. Мацевитый Ю.М. Оценка энергетической эффективности систем электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий / Ю.М. Мацевитый, Н.Г. Ганжа, А.В. Хименко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – №10. – С. 9-16. – ISSN 2218-1849.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
7. Исаченко В.П. Теплопередача: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
8. Кутателадзе С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 400 с.
9. Теплотехника: учеб. для вузов / Н.Н. Ларинов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.
10. Промышленные печи: справ. руководство для расчетов и проектирования / Е.И. Казанцев. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
11. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

A. Khimenko, ORCID 0000-0003-2612-969X

Renewable Energy Institute of the NAS of Ukraine

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE HEAT TREATMENT BY HEAT-ACCUMULATING ELEMENTS OF THE ELECTRIC HEAT ACCUMULATOR

On the basis of experimental and numerical studies of heat transfer processes in solid heat storage elements made of magnesite with the slit-like channels, and also the heat storage elements of chamotte with the air channels of circular cross-section in the charge mode and the heat output mode of electric thermal storage (ETS), the efficiency of storage and heat output of ETS was estimated. The average coefficients of heat transfer from the outer surface of the ETS housing and heat transfer coefficients in the channels of heat storage elements from magnesite and chamotte for natural and forced convection were determined. The values of the average heat output in the channels of heat storage elements Q_{ch_med} and the full heat output Q_0 ETS are obtained. The average log temperature temperature difference ΔT_{log} was determined between the air channel wall and the heated air in the channel in absolute and relative units. The calculated average values of the rate of cooling of the heat storage elements on the basis of the experimental data obtained are $m_m = 9,28 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ and $m_{ch} = 1,54 \cdot 10^{-4} s^{-1}$ confirm the dynamics of the temperature change of heat storage elements from magnesite and chamotte in the output mode of ETS in the process of experimental studies. Analytic expressions were also obtained for determining the excess temperature of heat storage elements from chamotte and magnesite in the heat output mode of ETS by approximating the obtained values of the cooling rate by the least squares method using the exponential function. The dimensionless excess temperatures ϑ_{ch}' of heat storage elements from magnesite and chamotte in the modes of charge and output of ETS are determined, and also the efficiency of ETS with standard heat storage elements from magnesite with slit-like channels $k_{ef} = 0,85$ and with chamotte elements and round channels $k_{ef} = 0,94$. The construction of ETS with chamotte heat storage elements and round air channels allows to increase by 15 % the heat output in the channels of heat storage elements.

Key words: electric thermal storage, heat storage element, the charge and the heat output mode, rate of heating and cooling, chamotte, magnesite, heat transfer coefficient, temperature difference, the temperature distribution, thermal characteristics

References

1. Khimenko A.V. Computational and experimental research of thermal processes in solid heat storage materials with high thermal storage properties / A.V. Khimenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – №10 (1182). – P.44-49. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2078-774X.
2. Khimenko A.V. Study of dynamic characteristics of electric thermal storages / A.V. Khimenko // Renewable energy. – 2016. – №2 (45). – P. 22-26. – ISSN 1819-8058.
3. Khimenko A.V. Evaluation of the efficiency heat storage of solid heat storage elements of electric thermal storage / A.V. Khimenko // Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Theory and practice of construction. – Lviv : NU "Lviv Polytechnic", 2016. – №844. – P.210-215. – ISSN 0321-0499.
4. Tarasova V.A. The choice of rational geometric parameters of the element of the electric thermal storage / V.A. Tarasova, A.V. Khimenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2013. – №13 (987). – P.110-115. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2078-774X.
5. Matsevity Yu.M. Evaluation of energy efficiency of systems electric thermal storage heating of civil building / Yu.M. Matsevity, N.G. Ganja, A.V. Khimenko // Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2011. – №10. – C. 9-16. – ISSN 2218-1849.
6. Mikheev M.A. Fundamentals of heat transfer / M.A. Mikheev, I.M. Mikheeva. – Moscow: Energia, 1977. – 344 p.
7. Isachenko V.P. Heat Transfer. Textbook for universities / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – 3rd ed., rev. and suppl. – Moscow: Energia, 1975. – 488 p.
8. Kutateladze S.S. Handbook of heat transfer / S.S. Kutateladze, V.M. Borishansky. – Moscow: Gosenergoizdat, 1958. – 400 p.
9. Heat engineering: Textbook for universities / N.N. Larikov. – 3rd ed., rev. and suppl. – Moscow: Stroiizdat, 1985. – 432 p.
10. Industrial Furnaces: Reference guide for calculations and designing / E.I. Kazantsev. – 2nd ed., suppl. and rev. – Moscow: Metallurgy, 1975. – 368 p.
11. Kutateladze S.S. Fundamentals of the theory of heat transfer / S.S. Kutateladze. – 5th ed., rev. and suppl. – Moscow: Atomizdat, 1979. – 416 p.

А В. Хіменко, канд. техн. наук, наук. співроб, ORCID 0000-0003-2612-969X
Інститут відновлюваної енергетики НАН України

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДДАЧІ ТЕПЛОТИ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЕЛЕКТРОТЕПЛООВОГО АКУМУЛЯТОРА

Дані, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень динамічних характеристик теплоакумуючих елементів з магнезиту з каналами щілиноподібної форми, а також теплоакумуючих елементів з шамоту з повітряними каналами круглої форми в режимах заряду і віддачі теплоти електротеплового акумулятора (ЕТА), були використані для оцінки ефективності акумулювання та віддачі теплоти теплоакумуючими елементами ЕТА. Визначено середній коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні корпусу ЕТА $\alpha_{н\text{ ср}}$, а також коефіцієнт тепловіддачі в каналах теплоакумуючих елементів з магнезиту і шамоту при природній і вимушеній конвекції $\alpha_{к\text{ ср}}$ та $\alpha_{к\text{ пр ср}}$ в режимах заряду і віддачі теплоти ЕТА. Показана динаміка віддачі теплоти в каналах теплоакумуючих елементів $Q_{к\text{ ср}}$ і загальної віддачі теплоти Q_0 за весь цикл роботи ЕТА. Були також отримані аналітичні вирази для визначення надлишкової температури теплоакумуючих елементів з шамоту і магнезиту в режимі віддачі теплоти ЕТА шляхом апроксимації отриманих значень темпу охолодження методом найменших квадратів з використанням експоненціальної функції.

Ключові слова: електротепловий акумулятор, теплоакумуючий елемент, режими заряду і віддачі теплоти, темп нагріву і охолодження, шамот, магнезит, коефіцієнт тепловіддачі, температурний напір, розподіл температур, теплові характеристики.

Надійшла 01.12.2017

Received 01.12.2017