

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

Варшавський університет наук про життя Республіки Польща

Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України

**Міжнародна
науково-практична конференція**

**ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ,
присвячена 105-річчю від дня народження
професора Драганова Бориса Харлампійовича**

19-20 листопада 2025 р.

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

м. Київ

NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE

Education and Research Institute of Energetics, Automatics and Energy saving

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Warsaw University of Life Sciences

Institute of Renewable Energy of National Academy of Sciences of Ukraine

**International Scientific
and practical conference**

**PROBLEMS
OF MODERN
HEAT ENERGY,
dedicated to the 105 th anniversary
of Professor Boris Draganov's birthday**

November 19-20, 2025

ABSTRACTS

Kiev

ЗМІСТ / CONTENT

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА І ТЕПЛОФІЗИКА	
Юрій Снежкін. Енергоефективні сушильні установки для апк розроблені в ІТТФ НАН України	11
Жанна Петрова, Наталія Дмитренко, Катерина Самойленко Теплота випаровування води із плодового тіла гриба печериці звичайної (<i>agaricus campestris</i> l.) При різних температурах	14
Жанна Петрова, Юлія Новікова. Дослідження кінетики процесу сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів з рослинної сировини на конвективному сушильному стенді	16
Вадим Пазюк, Сергій Бірюков. Підвищення енергоефективності сушіння в сушильній установці із тепловим насосом	18
Олена Шеліманова, Дмитро Білецький. Особливості процесу тепло-та масопереносу в матеріалах при пародепресійному сушінні	20
Наталія Фіалко, Андрій Кліщ, Юлій Шеренковський, Наталія Меранова. Моделювання робочих процесів в мікрофакельних пальниках з трирядною паливоподачею	21
Тетяна Супрун. Методи оцінки процесів переносу в теплоенергетичному обладнанні на основі локального підходу	23
Trokhaniak V.I., Synyavskiy O.Y., Tkachuk V.A. Investigation of air cooling processes in poultry houses using a tunnel-side ventilation system	25
Віктор Троханяк, Валерій Горобець. Оптимізація окремих конструкцій компактного пучка труб малого діаметру	28
Валерій Горобець, Юрій Оксимець. Чисельне моделювання процесів гідродинаміки і теплопереносу для інтенсифікатора теплообміну нової геометрії	32
Наталія Радченко, Богдан Целень, Любов Гоженко, Анна Недбайло. Використання гідродинамічної кавітації для інтенсифікації очищення стоків молочної галузі	36
Любов Гоженко, Олександр Ободович, Георгій Іваницький, Богдан Целень. Ефективність кавітаційного впливу на процеси теплообміну в пульсаційному екстракторі	37
Євгеній Антипов, Владислав Ткаченко. Оцінювання повітропроникності огорожувальних конструкцій будівлі в натурних умовах методом випробувального тиску та тепловізійного контролю	39
Євгеній Антипов. Розробка рекуперативного теплообмінника з функцією накопичення теплоти з використанням акумулюючих матеріалів органічного походження для систем вентиляції споруд цивільного захисту	42

Орест Возняк, Ярослав Чемеринський. Повітророзподіл лінійним щілинним дифузором в неізотермічних умовах	45
Орест Возняк, Валентин Бохан . Покращення повітророзподілу в приміщенні із використанням закручених повітряних струменів	47
ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ	
Наталія Фіалко, Олександр Сігал. Проблеми пікових навантажень в енергетиці України	49
Ivanka Pandelieva-Dimova, Nina Nikolova, Victor Kaplun, Svitlana Makarevych, Olena Shelimanova, Ievgen Antypov Results from research of local experience on the specific conditions and requirements for home renovation in Bulgaria and Ukraine	51
Наталія Фіалко, Раїса Навродська, Світлана Шевчук. Забезпечення надійності експлуатації та підвищення ефективності опалювальних котлів з рециркуляцією димових газів	53
Борис Басок, Дмитро Давиденко. Застосування світлопрозорих конструкцій в системах повітрообміну приміщень	55
Андрій Данішевський. Термодинамічні механізми теплопередачі у вакуумних ізоляційних панелях та їх вплив на енергоефективність будівель	57
Євгеній Антипов. Особливості сертифікації енергетичної ефективності громадських будівель з вбудованими приміщеннями цивільного захисту	59
Олена Шеліманова, Анатолій Колієнко. Визначення теплового навантаження будівель	62
Олена Шевченко, Надія Буяк, Дмитро Бірюков. Дослідження умов мікроклімату в шелтерах для тимчасового розміщення ВПО	64
Ірина Суходуб, Інна Білоус, Олександр Голубенко, Ганна Гетманчук. Дослідження інженерних систем та джерел енергозабезпечення швидкокомтованих будівель	66
Ірина Суходуб, Інна Білоус, Анатолій Сапунов, Ганна Гетманчук. Дослідження тепло-вологісних характеристик огорожень швидкокомтованих будівель та їх вплив на енергопотребу	68
Євгеній Антипов. Вплив способів регулювання системи опалення та кратності повітрообміну на економію теплової енергії громадською будівлею з вбудованими приміщеннями укриття цивільного захисту	70
Євгеній Антипов. Обґрунтування важливості облаштування систем вентиляції з рекуператорами тепла у захисних спорудах цивільного захисту	73
Вадим Литвин. Посєднання енергетичних та обчислювальних систем для задач енергозабезпечення об'єктів та балансування енергетичних мереж	76
Валерій Горобець, Юрій Горобець. Підвищення ефективності електро-і теплоенергетичного обладнання когенераційних установок малої і середньої потужності	77

Володимир Павленко, Євген Нікітін. Забезпечення надійності мікро-КГУ на базі двигуна Стірлінга шляхом інтеграції з накопичувачами енергії	80
Леонід Червінський, Олександр Макода. Дослідна установка для вирощування рослин в електричному полі високої напруженості та під різним оптичним випромінюванням	82
Котов Б.І., Калініченко Р.А. Питання вдосконалення енергозберігаючої теплотехнології і техніки післязбиральної обробки та переробки рослинної продукції	84
В'ячеслав Погрібний, Станіслав Борода, Андрій Ситий. Енергетичний моніторинг та оптимізація роботи теплоенергетичних установок нового покоління	86
В'ячеслав Погрібний, Олег Івахненко, Яна Кириченко. Розробка автоматизованих систем управління для гібридних енергетичних систем	88
ВІДНОВЛЮВАНІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	
Олександр Ободович. Проблеми конверсії лігноцелюлозної сировини при виробництві біопалива	90
Юрій Снежкін, Тетяна Корінчевська, Вячеслав Михайлик. Термічне розкладання палива на основі твердих побутових відходів	92
Юрій Снежкін, Нталія Дабіжа, Наталія Малащук. Рекуперативний полімерний теплообмінник «повітря-повітря» для теплонасосної сушарки	94
Чалаєв Д.М., Грабова Т.Л., Степанова О.Є., Данько І.О., Ковальов В.І. Розробка та аналіз роботи енергоефективних кожухотрубних теплообмінників у високомінералізованих середовищах	96
Чалаєв Д.М., Грабова Т.Л., Степанова О.Є., Посунько Д.В., Базеев Р.Є. Дослідження побутового водонагрівач з тепловим насосом	98
Тетяна Железна. Аналіз відновлюваних палив для морського транспорту та перспектив використання біонафти проміжного піролізу біомаси	100
Тетяна Супрун. Аналіз технології біометанування для виробництва синтетичного відновлюваного метану в Україні	102
Юрій Франчук, Євгеній Антипов, Вікторія Коновалюк. Вплив водню на експлуатаційні характеристики систем газопостачання	104
Шаповал С.П., Пришляк Ю.В., Мисак С.Й.. Теплова ефективність інкорпоративного геліоколектора	106
Борис Грудинін. Особливості динамічного зростання частки сонячної енергії в структурі виробництва електроенергії Нідерландів, як країни-лідера сонячної енергетики ЄС	108
Валерій Горобець; Олег Колісник. Дослідження впливу концентратора вітрового потоку на підвищення енергетичної ефективності вертикального вітрогенератора	110

Світлана Яцела, Григорій Єфімов, Назар Копиленко. Енергія біомаси як ресурс для сталого розвитку теплоенергетики	112
Світлана Яцела, Максим Смірнов, Артем Тищенко. Інтеграція відновлюваних джерел енергії у теплоенергетику: перспективи для енергетичного сектору	114

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА І ТЕПЛОФІЗИКА

УДК 664.8

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СУШИЛЬНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ АПК

РОЗРОБЛЕНІ В ІТТФ НАН УКРАЇНИ

Юрій Снежкін

Інститут технічної теплофізик НАН України

Одним з найбільш ефективних напрямів енергоресурсозбереження в АПК є теплозабезпечення сільськогосподарського виробництва і вдосконалення теплоенергетичного обладнання. У першу чергу слід звернути увагу на технічний рівень теплотехнічного обладнання (сушарок, теплогенераторів, котлів, акумуляторів тепла і т.д.) та обладнання на альтернативних джерелах енергії.

В Інституті на основі багаторічних аналітичних та експериментальних досліджень розроблені основи теплофізичних процесів тепловологопереносу при зневодненні різних матеріалів. Створені нові методи управління кінетичними характеристиками системи матеріал – парогазове середовище.

В результаті розроблено понад 140 нових конструкцій сушильних установок, з них 60 установок для АПК, створено 20 експериментальних стендів і установок, створено 10 типів обладнання, яке використовують при роботі теплоенергетичних комплексів (теплогенератори, газогенератор, електрокалорифер, циклони та інше), яке захищено авторськими свідоцтвами і патентами загальна кількість яких понад 300. Вся конструкторська документація на це обладнання зберігається в архіві Інституту.

Створені в Інституті сушарки (розпилювальні, тунельні, стрічкові) свого часу успішно пройшли випробування різного скликання приймальними комісіями і були передані для серійного виробництва на машинобудівні заводи. Сушарки широко впроваджені в різних республіках

колишнього СРСР і закордоном. Загалом було впроваджено в різних галузях промисловості понад 1000 різних конструкції сушильних установок.

Технічно способи виконання процесів сушіння дуже різні і їх доцільно розглядати в ув'язці з конструкціями сушильних установок.

Одним з сучасних способів конвективного сушіння матеріалів у рідкому стані є сушіння розпилюванням. В Інституті вперше встановлено що внутрішні процеси переносу теплоти і вологи які протікають в окремій частині дисперсної системи, мають визначальний вплив на тривалість зневоднення і кінцеві фізико-хімічні характеристики матеріалу що зневоднюється. Загалом для АПК розроблено 18 різних типів енергоефективних розпилювальних сушарок, які широко впроваджені.

Широко розповсюдженим способом сушіння твердих матеріалів є їх зневоднення в тунельних сушарках. В Інституті розроблено високотемпературний високовологий метод зневоднення, що дозволив в кілька разів пришвидшити зневоднення ряду керамічних, хімічних, рослинних, тваринних та інших матеріалів. Загалом для АПК розроблено 9 різних типів тунельних сушарок, які впроваджені.

Камерні сушарки є апаратами періодичної дії які, в основному, працюють за атмосферного тиску. Розроблено для АПК 3 типи камерних сушарок, які впроваджені.

В стрічкових сушарках зневоднення матеріалів здійснюється безперервно за атмосферного тиску. В Інституті розроблено 11 різних типів таких сушарок, які використовуються для зневоднення різних матеріалів в АПК.

Створено також 3 типи вакуумсушарок, 4 роторно-дискових, 2 барабані, 1 шнекова і 1 карусельна сушарка, які впроваджені в АПК.

Перспективним шляхом підвищення енергетичної ефективності сушильного обладнання є оснащення конвективних сушарок енергоефективними системами підготовки сушильного агенту з

використанням альтернативних джерел енергії. Розроблені 13 сушарок більшість з яких впроваджено, це установки з використанням теплових насосів (як компресійних так і абсорбційних), геотермальної енергії, сонячної енергії і теплового акумулятора на органічних сполуках, які знайшли застосування в АПК.

Допоміжне обладнання складає значну частину сушильної установки. Так в конвеєрних сушарках з окремо розташованими калориферами, об'єм сушильної камери складає 20 – 40% від об'єму допоміжного обладнання і тільки 15 – 30 % від об'єму всієї установки в цілому.

В Інституті створені кілька ефективних теплогенераторів, які можуть працювати на різних видах палива (рідке, газоподібне або тверде); газогенератор, працюючий на агропромислових відходах; кавітаційний комплекс для виготовлення паливних емульсій, які використовують в теплогенераторах; швидкісний бомбовий калорифер згоряння для визначення теплоти згоряння твердих і рідких палив. Створений електрокалорифер на товстоплівкових нагрівальних елементах. Відцентрований фільтр (циклон) призначений для сухого очищення теплоносія від мілких частинок з коефіцієнтом уловлювання 99%. А також розроблена озонуюча установка для обеззаражування внутрішніх поверхонь сушильних камер.

Розроблені в Інституті сушарки знайшли широке використання в АПК. Найбільше використовуються в АПК розпилюючі, стрічкові, тунельні, роторно-дискові, камерні і барабанні сушарки, а зараз також сушарки на альтернативних джерелах енергії.

Всі впроваджені сушарки показали надійність при експлуатації і високі техніко-економічні показники.

**ТЕПЛОТА ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ ІЗ ПЛОДОВОГО ТІЛА ГРИБА
ПЕЧЕРИЦІ ЗВИЧАЙНОЇ (AGARICUS CAMPESTRIS L.) ПРИ
РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Жанна Петрова, Наталія Дмитренко, Катерина Самойленко

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Метою даної роботи є визначення теплоти випаровування вологи з тканин плодового тіла гриба печериці звичайної за допомогою синхронної калориметрії і термогравіметрії.

Вихід України на світовий торговий ринок як країни-імпортеру сільськогосподарської продукції обумовлює наросування потужностей українською харчовою промисловістю. Підвищення конкурентоспроможності української продукції потребує як підвищення її якості, так і розширення її асортименту. В зв'язку з чим, доволі перспективною бачиться розробка технологій вітчизняного промислового виробництва сушених грибів та грибних порошоків – легкодоступного в Україні джерела протеїнів нетваринного походження. Розробка технології сушіння грибів потребує, в свою чергу, глибокого вивчення механізму та енергетики процесу їх зневоднення, який має певні особливості та відмінності порівняно з зневодненням рослинної сировини чи продукції тваринництва. Витрати теплоти на випаровування вологи з гриба печериці звичайної в процесі конвективно-кондуктивного сушіння було визначено за допомогою диференціального мікрокалориметра випаровування ДМКИ-01, що поєднує в собі можливості калориметрії та термогравіметрії, який було розроблено в Інституті технічної теплофізики НАН України саме для такого роду досліджень [1]. Для експерименту використали тонкий (товщиною ~ 1 мм) зріз тканин плодового тіла гриба печериця звичайна діаметром до 40 мм. Сушіння проводили при температурах 40...80°C, швидкості повітря 0,8 см/с та його вологовмісті 10 г/кг. Реєстрація теплового потоку і зміни маси зразка в процесі сушіння здійснювалась

безперервно до моменту досягнення зразком рівноважної вологості. Масу сухих речовин визначали шляхом досушування зразків до постійної маси при температурі 105°C [2]. Отримані під час сушіння значення питомих витрат теплоти на випаровування були представлені у вигляді залежності від поточного значення відносної вологості зразків (рис.1).

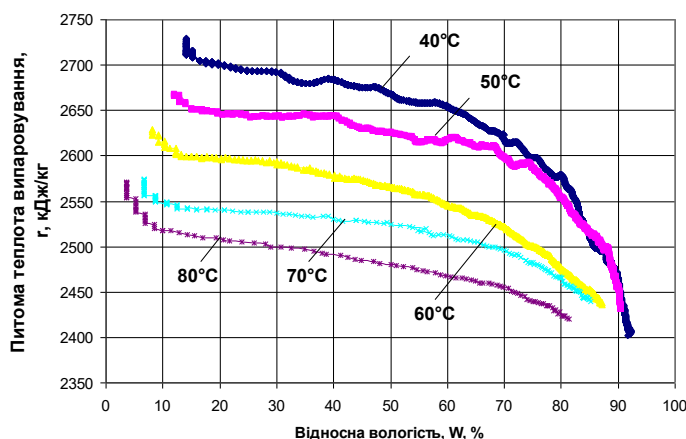


Рис. 1. Залежність питомих затрат теплоти на випаровування води з тканин шляпки плодового тіла гриба печериці звичайної від їх відносної вологості під час сушіння при різних температурах

70 та 80°C відповідно, згідно довідникових даних). Момент самого початку випаровування не вдається зафіксувати через накладання процесу прогріву зразків до температури сушіння на процес випаровування з них вологи. Проте, майже відразу після прогрівання зразків спостерігається зростання витрат теплоти на випаровування води з тканин гриба печериці звичайної, їх загальний приріст у порівнянні з табличним значенням для випаровування чистої води досягає 11 % до моменту досягнення тканинами гігроскопічної вологості. Сушіння за межею гігроскопічної вологості тканин гриба призводить до більш значного та більш різкого збільшення питомих витрат теплоти на випаровування вологи. Отримані результати дозволяють стверджувати, що при зневодненні тканин гриба печериці звичайної істотне зростання енерговитрат на зневоднення відбувається вже на початкових етапах сушіння; досягає 11 %

Як бачимо з рисунку, експериментально визначена величина питомих витрат теплоти на випаровування тільки на самому початку сушіння більш-менш наближується до табличного значення теплоти випаровування води з вільної поверхні (2406, 2382, 2358, 2333 та 2308 кДж/кг при 40, 50, 60,

перевищення над табличним значенням для випаровування води з вільної поверхні до моменту досягнення тканинами гігроскопічної вологості та різко збільшується при спробах сушіння за межу їх гігроскопічної вологості.

Перелік використаних джерел

1. Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А. (2006). Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування вологи і органічних рідин з матеріалів. Патент України № 84075 МПК G01N 25/26, G01N25/28. Заявка № а200613266 від 15.12.2006.
2. ДСТУ 7804:2015 «Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання сухих речовин або вологи».

УДК 664.8

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КОЛОЇДНИХ КАПЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА КОНВЕКТИВНОМУ СУШИЛЬНОМУ СТЕНДІ

Жанна Петрова, Юлія Новікова

Інститут технічної теплофізики НАН України.

Метою даної роботи є дослідження процесу сушіння гарбузово-хурмяної суміші на конвективному сушильному стенді.

Були виконані дослідження гарбузово-хурмяної суміші за режимами сушіння 65, 100, 100/65, °C та комбінованим 3800Вт/м² +65 °C, швидкість теплоносія 3,0 м/с [1].

На рис. 1 представлені зміна вологовмісту та температурні криві сушіння гарбузово-хурмяної суміші. Як видно з рисунку 1 найбільша тривалість сушіння у режиму 65 °C та становить 131 хв. Найменша тривалість при 100 °C та становить 73 хв, але при цьому матеріал має потемніння та пригорілий присмак.

Для ступеневого режиму 100/65 °C та комбінований 3800Вт/м² +65°C на початку процесу матеріал доводили до температури 58 °C, після чого

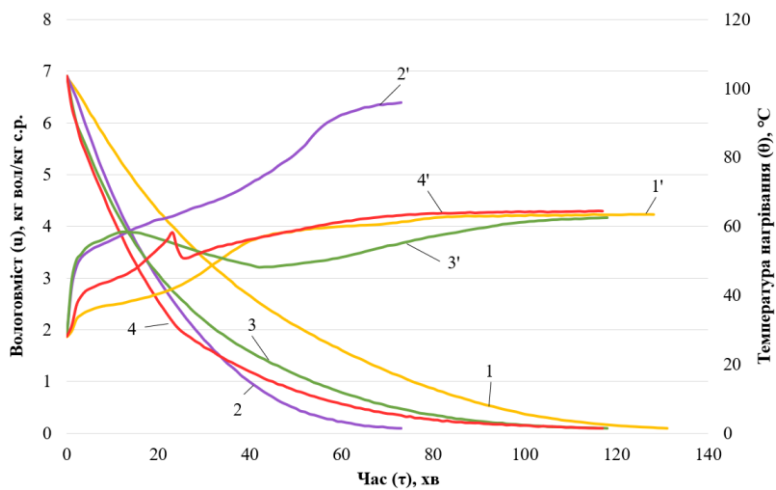


Рис. 1. Зміна вологовмісту (1, 2, 3, 4) та температури всередині шару (1', 2', 3', 4') суміші на основі гарбуза та хурми в шарі за різних температур теплоносія ($\delta \approx 5$ мм, $V=3$ м/с): 1 – 65 °C; 2 – 100 °C; 3 – 100/65 °C; 4 – 3800Вт/м² +65 °C [1]

зменшували температуру та вмикали інфрачервоні лампи для подальшого сушіння за температури 65°C. Ці режими мають нижчу тривалість порівняно з 65 °C та становлять 118хв для 100/65 °C та 117 хв для 3800Вт/м²+65°C.

На початку дослідження за комбінованим режимом 3800Вт/м² +65 °C працювали інфрачервоні лампи на потужності 3800Вт/м² та теплоносії 65 °C при після досягнення температури матеріалу 58 °C вимикали інфрачервоні лампи та температура матеріалу починала знижуватися до 50,7 °C, далі вона підіймається до 64,36 °C. За ступеневим режимом 100/65 °C матеріал сушили при температурі теплоносія 100 °C до температури матеріалу 58 °C. Потім температуру теплоносія зменшували до 65 °C, при цьому температура матеріалу збільшилась до 58,44 °C, після чого температура матеріалу поступово зменшувалася до 48,16 °C, та подальшому збільшувалася до 62,6 °C [1].

Для зменшення енерговитрат та збереження функціональних елементів доцільно використовувати комбіновані та ступеневі режими.

Перелік використаних джерел

1. Петрова, Ж., & Граков, Д. (2025). Тепломасообмінні процеси під час одержання комбінованих каротиновмісних продуктів. Теплофізика та Теплоенергетика, 47(1), 30-40. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2025.3>

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ В СУШИЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ ІЗ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Вадим Пазюк, Сергій Бірюков

Інститут технічної теплофізики НАН України

На сучасному етапі розвиток відновлювальних джерел енергії є перехід від ринку енергетичних ресурсів до ринку енергетичних технологій. Енергетичні технології на базі теплових насосів (ТН) використовують теплову енергію довкілля (води, ґрунту, повітря) і переводить енергію низькопотенціальних джерел у придатну для використання енергію.

Мета роботи: використання теплових насосів у виробництві теплової енергії яка направляється на процес сушіння із зниженням вартості енергії.

В Інституті технічної теплофізики НАН України для сушіння насіннєвого зерна була виготовлена сушильна установка із тепловим насосом, що перетворює теплоту навколишнього повітря на низькотемпературну теплоту теплоносія з температурою 50 - 55°C (рис. 1).

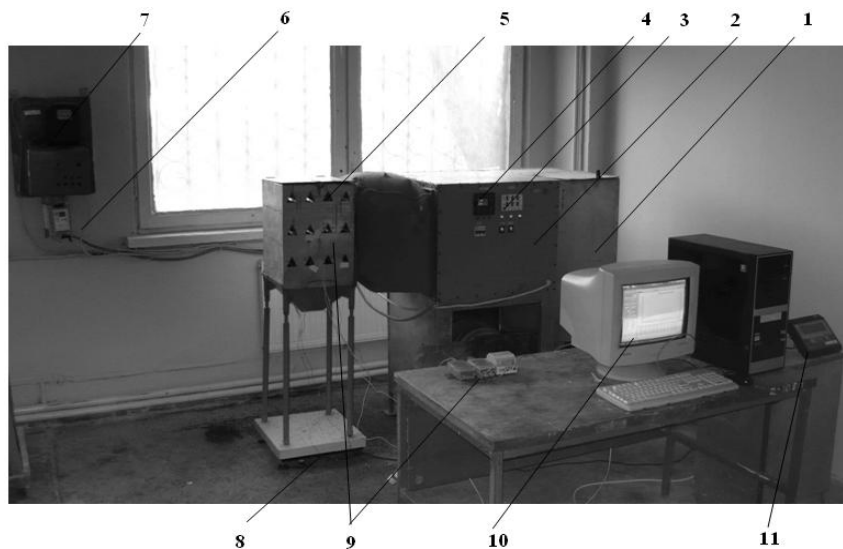


Рис. 1. Сушильна установка із ТН для сушіння насіннєвих культур:

- 1 – теплонасосний агрегат; 2 – щит керування; 3 – реле часу;
4 – термореле; 5 – сушильна шахта; 6 – регулятор швидкості; 7 – лічильник електроенергії; 8 – терези; 9 – аналоговий цифровий перетворювач i-7018, конвертор-інтерфейс i-7520 та хромель-копелеві термоелектричні перетворювачі;
10 – комп'ютер; 11 – цифрове табло терезів.**

Питомі витрати теплоти при сушінні насіння ріпаку залежать від часу сушіння, так на 3 хвилині при інтенсивному видаленні вологи становить 3372 кДж/кг вип. вологи. При продовженні процесу сушіння питомі витрати теплоти збільшуються і в кінці процесу на 54 хвилині становить 4480 кДж/кг вип. вологи або 467кДж/кг сухого продукту, що нижчі за середні витрати теплоти в подібних сушарках на 30 – 40%. (рис. 2).

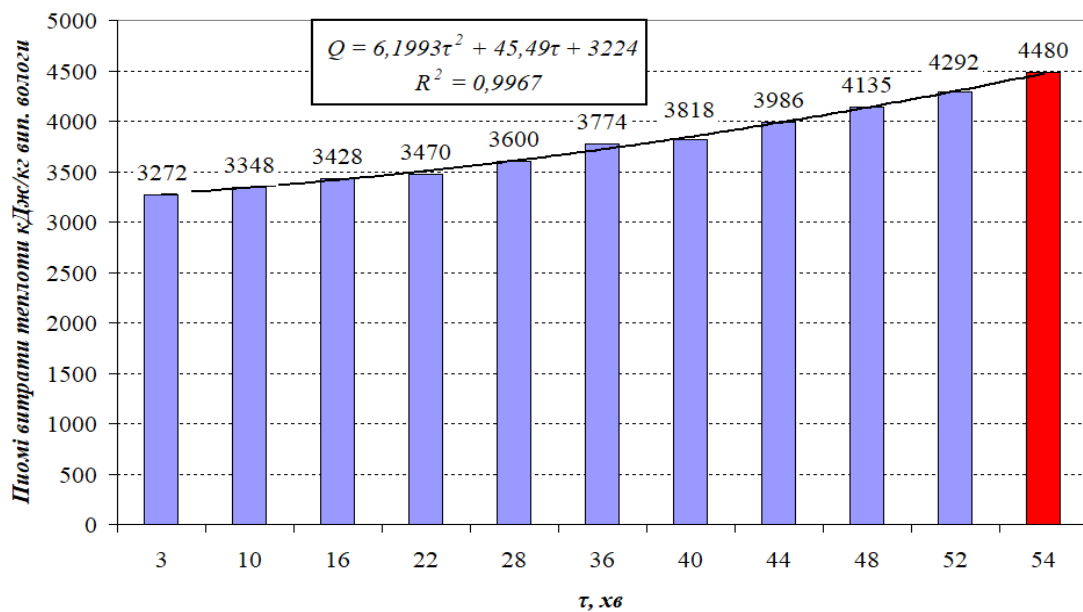


Рис. 2. Питомі витрати теплоти в сушильній установці із ТН:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $V = 1,2$ м/с, $Wn = 19,2\%$, $\delta = 20$ мм, $d = 6$ г/ кг с. п., $\mu_m = 3,2$

Оцінка якості сушарки оцінюється за її енергетичним коефіцієнтом корисної дії η (к.к.д.), який визначається співвідношенням корисної енергії $Q_{кор}$ до всієї витраченої на процес $Q_{випр}$:

$$\eta = \frac{Q_{кор}}{Q_{випр}} = \frac{r}{Q_{випр}} = 53,2\% \quad (1)$$

де: r – питома теплота випаровування вологи, кДж/кг.

$Q_{калор}$ – витрачена енергія в калорифері, кДж/кг вип. вологи.

Таким, чином, енергоефективність установки визначається питомими витратами, які складають 4480 кДж/кг вип. вологи, к.к.д сушильної установки із тепловим насосом складає 53,2%.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ТЕПЛО- ТА МАСОПЕРЕНОСУ В МАТЕРІАЛАХ ПРИ ПАРОДЕПРЕСІЙНОМУ СУШІННІ

Олена Шеліманова, Дмитро Білецький

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Інтенсивність процесів сушіння дисперсних матеріалів найчастіше лімітується саме швидкістю внутрішнього масопереносу, Науковцями ІТТФ НАН України розроблений пародепресійний метод сушіння, який дозволяє інтенсифікувати внутрішній вологоперенос і, таким чином, сприяє прискоренню процесу сушіння [1].

Суть методу полягає в тому, що матеріал, що сушиться, поміщається в паропроникну пористу оболонку. Оболонка створює опір перенесенню вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище, і інтенсивність випаровування знижується, а температура матеріалу підвищується, що й призводить до прискорення внутрішнього волого переносу (за певних поєднань режимних параметрів).

В даному дослідженні аналізувався вплив паропроникної оболонки на інтенсифікацію внутрішнього масопереносу при сушінні віскозного волокна. В експериментах були використані такі оболонки: одинарні трикотажні, трикотажні з підвищеною щільністю, сукняні та паперові. Найбільші значення швидкості сушіння досягаються при застосуванні одинарної трикотажної оболонки, найнижчі – при зневодненні волокна в сукняній оболонці.

Отримані експериментальні дані будуть використані для розробки ефективних методів управління процесами сушіння твердих дисперсних тіл.

Перелік використаних джерел

1. Шеліманов В.О., Шеліманова О.В. Особливості сушіння матеріалів у продувному шарі: [Монографія]. – К.: КОМПРИНТ, 2017. – 116 с.

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В МІКРОФАКЕЛЬНИХ
ПАЛЬНИКАХ З ТРИРЯДНОЮ ПАЛИВОПОДАЧЕЮ**

*Наталія Фіалко, Андрій Кліщ, Юлій Шеренковський,
Наталія Меранова*

Інститут технічної теплофізики НАН України

Мета роботи полягає у встановленні закономірностей робочих процесів перспективної модифікації мікрофакельних пальникових пристроїв з трирядною паливоподачею, орієнтованих на застосування при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря. Дослідженню підлягали дві типові ситуації щодо експлуатації пальників даного типу. Перша з них відповідає умовам змінної теплопродуктивності енергетичного устаткування, друга – постійному в часі значенню цієї теплопродуктивності.

Стала світова тенденція у дослідженні процесів спалювання палива полягає у широкому використанні засобів математичного і комп'ютерного моделювання. З огляду на це в межах даної роботи дослідження робочих процесів нової модифікації мікрофакельних пальників виконувалось на основі комп'ютерного моделювання.

За результатами розрахункових досліджень встановлено закономірності ізотермічної течії і сумішоутворення палива і окиснювача в пропонуваніх пальникових пристроях за умов змінної і постійної в часі теплопродуктивності обладнання. Виявлено ефекти впливу на характеристики цих процесів таких чинників, як номер ряду газоподавальних отворів, величина загального коефіцієнта надлишку повітря тощо. Одержано дані комп'ютерного моделювання структури неізотермічної течії в досліджуваних пальникових пристроях та встановлено залежність характеристик потоку від геометричних

параметрів системи паливоподачі. На рисунку 1 для прикладу наведено картину полів швидкості за умов подачі палива у різні секції.

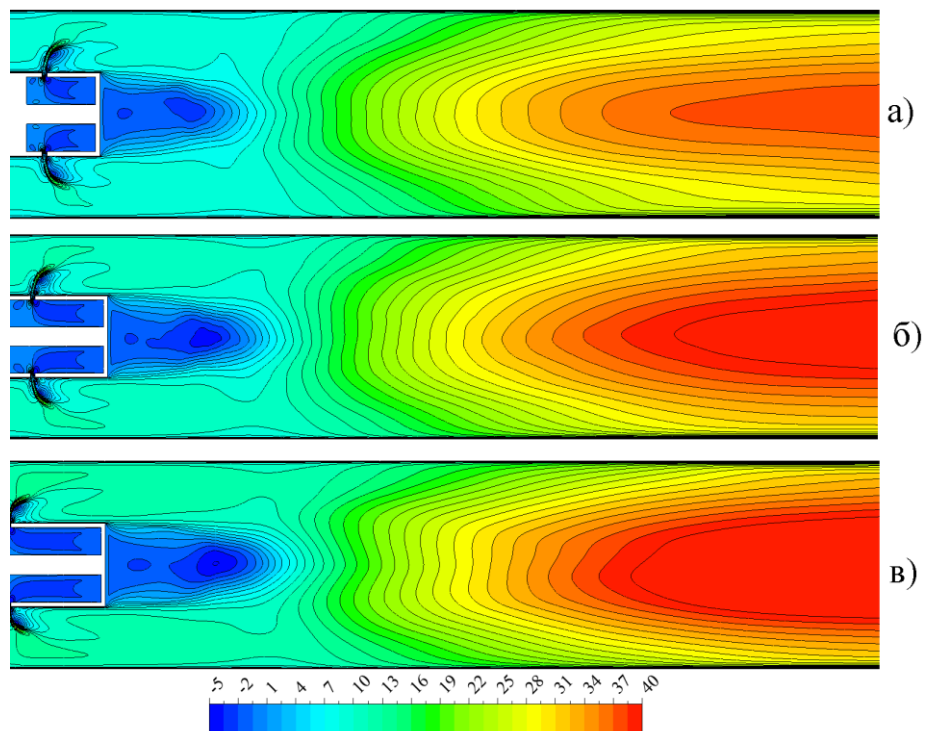


Рис. 1. Поле швидкості U_x у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у першу (а), другу (б) та третю (в) секцію за умов постійної теплопродуктивності устаткування.

На основі виконаних досліджень проведено зіставлення особливостей аеродинаміки пропонованих пальників за ізотермічних і неізотермічних умов. Показано наявність суттєвих відмінностей картини течії у порівнюваних ситуаціях.

Для досліджуваних пальникових пристроїв встановлено закономірності формування теплового стану зони горіння та вигорання газоподібного палива.

На основні виконаного комплексу досліджень розроблено загальні положення щодо організації робочих процесів у пальниках з трирядною струменевою подачею паливного газу та визначено відповідні результуючі ефекти.

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ В
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОБЛАДНАННІ НА ОСНОВІ
ЛОКАЛЬНОГО ПІДХОДУ**

Тетяна Супрун

Інститут технічної теплофізики НАН України.

Прогресуюча тенденція підвищення ефективності та експлуатаційної надійності теплоенергетичного обладнання потребує постійного вдосконалення методів контролю та управління робочими процесами. Це досягається на основі проникнення у складний механізм розвитку примежових шарів (ПШ) на обтічних поверхнях та цілеспрямованого впливу на їхню внутрішню структуру для управління процесами переносу у проточній частині теплоенергетичного обладнання різного призначення.

Метою даної роботи є аналіз методів оцінювання процесів переносу в теплоенергетичному обладнанні на основі локального контролю теплофізичних параметрів у характерних зонах робочого середовища.

Метод дослідження – фізичне моделювання турбулізуючих ефектів різної природи і процесів переносу теплоти та імпульсу з використанням термоанемометричного та електрокалориметричного методів вимірювань.

Дослідження проводилися в спеціально виготовлених експериментальних зразках установок, які повністю відтворюють умови роботи натурної установки за геометричними параметрами.

В роботі розглянуте дослідження застосування локального підходу на прикладах оцінювання впливу підвищеної турбулентності, локальних замкнених відривів, потоку з періодичною швидкісною нестационарністю на процеси переносу у проточній частині теплоенергетичного обладнання різного призначення.

Як показує огляд літератури, в останнє десятиріччя має місце непропорційне зростання чисельного моделювання порівняно з фізичним

експериментом. Крім того, більшість як експериментальних, так і розрахункових робіт відносяться до випадку переносу імпульсу. Проблеми, що пов'язані з впливом турбулентності, швидкісної періодичної нестационарності і відриву на тепловіддачу, залишаються також до кінця невизначеними. Тому особливу актуальність набувають експериментальні дослідження тепловіддачі і гідродинаміки складних течій, які сприяють розвитку уявлень щодо важливих особливостей процесів переносу таких течій, дозволяють оцінити реальний хід процесів і суттєво сприяти поліпшенню чисельного моделювання.

Локальний підхід означає визначення по локальній швидкості локальних коефіцієнтів тепловіддачі і тертя, а також полів швидкості, температури та їх пульсацій у різних перерізах по довжині робочої поверхні. Застосування локального підходу дозволило розробити методи прогнозування типу течії у примежовому шарі та визначення координат області байпасного ламінарно-турбулентного переходу та в разі впливу швидкісної нестационарності потоку - слідового ламінарно-турбулентного переходу.

Узагальнення експериментальних даних по інтенсифікації теплообміну підтвердило ефективність використаного підходу щодо першорядної ролі турбулентної в'язкості для оцінки переносних властивостей складних течій [1]. На основі отриманих даних із застосуванням локального підходу можна розрахувати кінетичну енергію флуктуацій, їх дисипацію та характерний масштаб, а також оцінити турбулентну в'язкість турбулізованого потоку. Ці дані необхідні при розрахунках процесів переносу течій на базі моделей турбулентності, наприклад, в турбомашинах.

Перелік використаних джерел

1. Suprun T.T. Generalization of the local approach application to the assessment of transfer processes in heat power equipment. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2025, Vol. 22, No. 2(52), 70–78 <https://doi.org/10.31489/2025N2/70-78>

**INVESTIGATION OF AIR COOLING PROCESSES IN POULTRY HOUSES
USING A TUNNEL-SIDE VENTILATION SYSTEM**

Trokhaniak V.I., Synyavskiy O.Y.,

Tkachuk V.A.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

A tunnel cooling system is proposed for poultry facilities during the hot season when the outside air temperature reaches +40 °C. The poultry house has dimensions of 120×21 meters and a height of 5.3 meters, the total volume of the poultry house is 5,234.4 m³. On the side walls, where evaporative cooling cassettes are typically located near the front end wall, heat exchange units are installed instead. The number of units is 3 pcs, each with dimensions of 5.3 × 1.0 m and a total capacity of 35.52 m³·s⁻¹ (42.8 kg·s⁻¹) for half of the poultry house. The heat exchangers for this system were developed in the study by Trokhaniak et al. (2023a). They ensure an outlet air temperature of +20 °C when the inlet air temperature is +40 °C. The warm outside air is cooled using water from underground wells.

Additionally, considering the authors' previous studies (Trokhaniak et al., 2023b), exhaust fans are installed: 4 pcs on the side wall and 1 on the rear end wall, with a total capacity of 35.52 m³·s⁻¹ (42.8 kg·s⁻¹). This airflow volume is sufficient to remove excess heat from the poultry house.

Fig. 1 shows the velocity field (Fig. 1a) and temperature field (Fig. 1b) at a height of 0.7 m from the floor level. These results are the most interesting and important, as the birds are kept on the floor. According to the technical norms for poultry housing, the air velocity near the birds should not exceed 2 m·s⁻¹. Airflow from the heat exchangers enters the poultry house. It is slightly above 2 m·s⁻¹, but this affects only 0.25% of the birds near the heat exchangers. An obvious and simultaneously interesting turbulent flow created by the first exhaust fan is also observed. Between the third heat exchanger and the first

exhaust fan, a stagnant zone is observed (Fig. 1a). Due to this zone, an increase in temperature levels near the wall is noticeable (Fig. 1b). The model assumes that the birds are not placed within 0.5 m of the wall. Therefore, the birds will not experience discomfort. The average air velocity at a height of 0.7 m from the floor (Fig. 1a) is $0.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the pressure is 0.430 Pa .

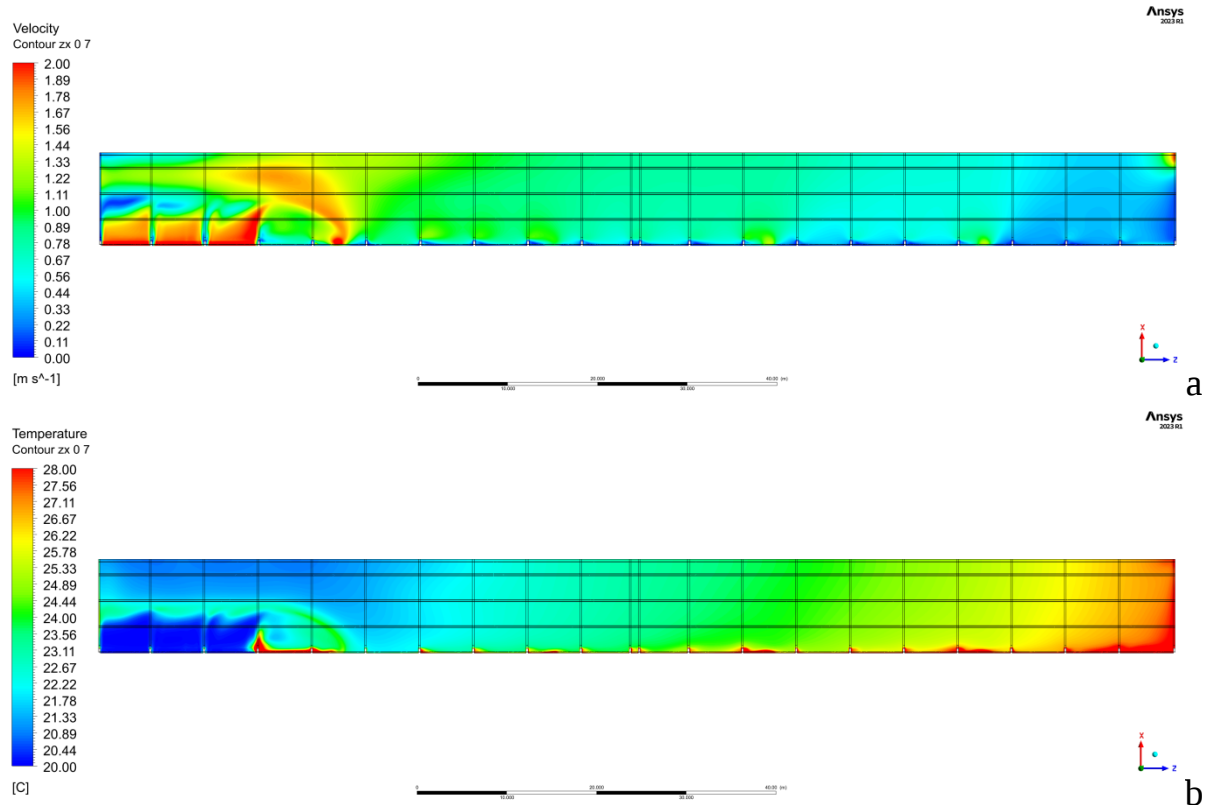


Fig. 1. The air velocity field, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (a), and temperature field, $^{\circ}\text{C}$ (b), in the poultry house along the zx axis at a height of 0.7 m from the floor level

The air temperature near the birds during the hot period of the year should not exceed $+28^{\circ}\text{C}$. Considering the results of the numerical simulation (Fig. 1b), the air temperature exceeding $+28^{\circ}\text{C}$ occupies no more than 2% of the area. This indicates the sufficient effectiveness of the poultry house cooling system. On the rear side of the poultry house, where the exhaust fan is located, slightly higher air temperatures are observed, approaching $+28^{\circ}\text{C}$. This is due to

the stagnant zone from the fourth exhaust fan on the side wall to the rear side of the poultry house. The average temperature across the entire area of the poultry house at a height of 0.7 m from the floor level is +23.64 °C.

To avoid the decrease in air velocities near the ceiling where the temperature rises, and similar heat and mass transfer processes, the authors recommend relocating the exhaust fan to the rear wall of the poultry house, with its center positioned 4.45 m from the side wall. This will prevent stagnant airflow and thermal zones in the poultry house.

Air velocity fields were obtained at various sections of the poultry house. The effectiveness of the placement of heat exchange units and exhaust fans was demonstrated. The fresh air flow, exiting the heat exchangers with a speed of $2.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and a pressure of 3.08 Pa, passes a quarter of the width of the poultry house and, due to heating, rises sharply. The temperature in these sections averages from +20°C to +27.9°C, not exceeding the standard of +28°C during the hot season. Analyzing the results of numerical modeling at a height of 0.7 m from the floor level, it was concluded that no more than 2% of the birds would experience discomfort with the proposed cooling system. The average velocity is $0.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and the air temperature is +23.64°C.

References

1. Trokhaniak V., Ivanovs S., Nasieka Yu., Chernysh O., Aboltins A., Ihnatiev Y., Synyavskiy O. (2023). Usage of CFD for research on lateral ventilation system in poultry house. *Engineering for Rural Development*, 22, 582-587. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF120>
2. Trokhaniak V., Gorobets V., Shelimanova O., Balitsky A. (2023). Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses. *Machinery & Energetics*, 14(1), 68-78. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68>

ОПТИМІЗАЦІЯ ОКРЕМИХ КОНСТРУКЦІЙ КОМПАКТНОГО ПУЧКА ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

Віктор Троханяк, Валерій Горобець

Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Пучки гладких циліндричних труб з шаховим і коридорним розташуванням широко використовуються в різних теплообмінних апаратах та пристроях енергетичних установок. Поверхні такого типу, які використовуються у відомих конструкціях кожухотрубних теплообмінників, мають велику масу і габарити. У дослідженні запропоновано нову конструкцію кожухотрубного теплообмінника з використанням компактних пучків труб малого діаметра (Рис.1), що суттєво покращило його масогабаритні показники.

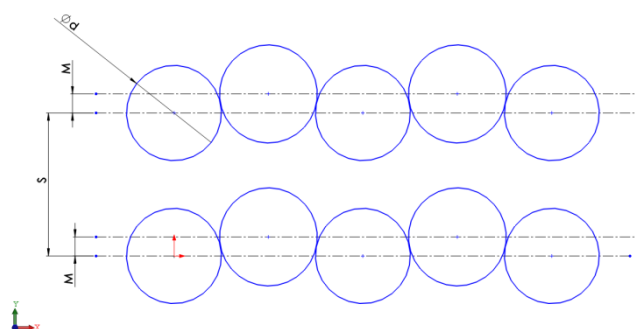


Рис. 1. Геометричне розташування пучка труб.

Вдосконалення нових конструкцій робочих поверхонь, що супроводжується збільшенням коефіцієнта тепловіддачі - це ефективна технологія для підвищення продуктивності кожухотрубних теплообмінників. Для досягнення цієї цілі потрібна систематична методологія розв'язку задач оптимізації для досягнення ефективного та оптимального проектного рішення. У цій статті представлено узагальнену модель диз'юнктивного програмування для оптимізації кожухотрубних теплообмінників. Результати досліджень показують, що розроблений

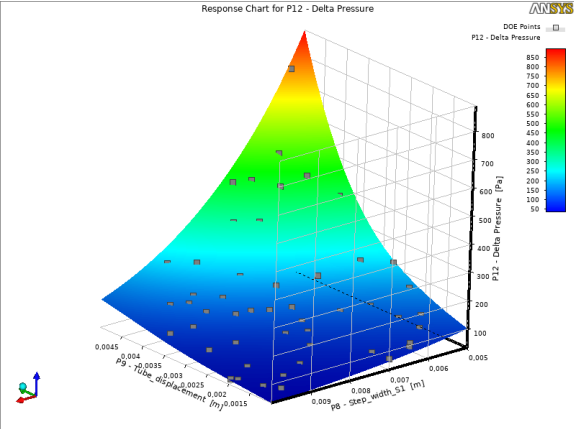
метод забезпечує краще проектне рішення порівняно зі звичайними процедурами проектування [1, 2].

Проведено оптимізацію розташування труб в трубному пучку з використанням програмного пакету ANSYS FLUENT. Планування типу кількості CFD моделей проводилося по методу «Латинського дизайну вибірки Гіперкуба» з використанням програмного забезпечення ANSYS DesignXplorer. В якості змінних параметрів було вибрано зміщення труб (діаметр труб 8 мм, зміщення від 1 до 5 мм) і відстань між сусідніми рядами труб (від 5 до 10 мм).

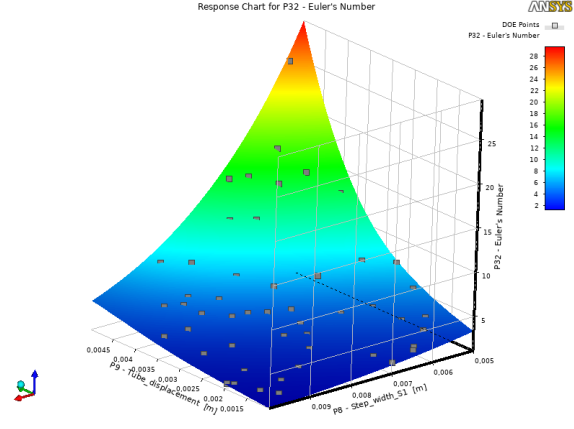
Порівнюючи усі знайдені найефективніші точки можна зробити наступні висновки. Незначне зростання коефіцієнта тепловіддачі на 30,36 % призводить до підвищення перепаду тиску в каналі на 163,89 %. При цьому значення теплогідравлічної ефективності знижується на 62,22 %. Тобто вибрана геометрія в точці 4 робить трубний пучок енергетично неефективним. Аналіз результатів розрахунку в точці 1 вказує на ще більше зростання тиску в каналі. Як наслідок це призводить до падіння теплогідравлічної ефективності на 65,87%. У точці 3 спостерігається незначне зростання коефіцієнта тепловіддачі на 2,65 %, при зростанні втрат тиску на 10,1 %, що в результаті призводить до падіння теплогідравлічної ефективності на 9,19 %.

На рис. 1 представлено поверхні відгуку для п'яти основних параметрів, які можуть бути використані при проектуванні та інженерному розрахунку кожухотрубних теплообмінних апаратів з пучками труб.

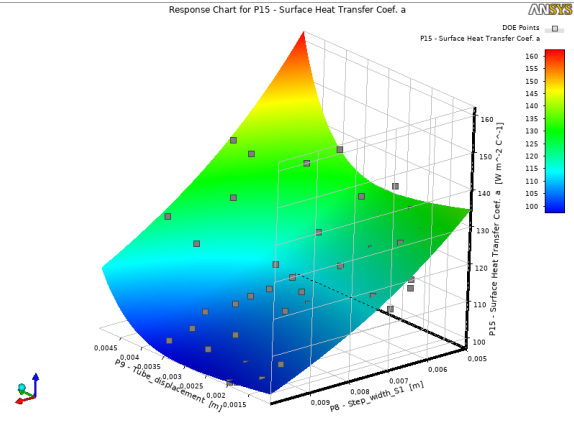
Таким чином, проведений аналіз дав можливість зробити висновок, що найбільш ефективною геометрією трубного пучка являється геометрія наведена в точці з відстанню між трубками (S) 0,009937333 м та зміщення трубок (M) – 0,001001986 м. При цьому величина коефіцієнта тепловіддачі становить 100,019304 Вт/м² К, перепад тиску 34,5701419 Па, а теплогідравлічна ефективність 312,101156.



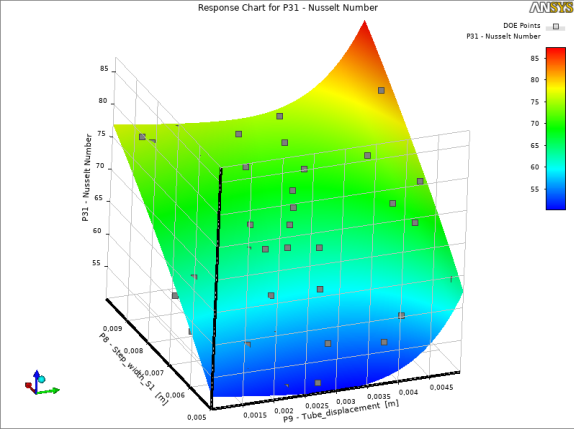
a



6



B



T

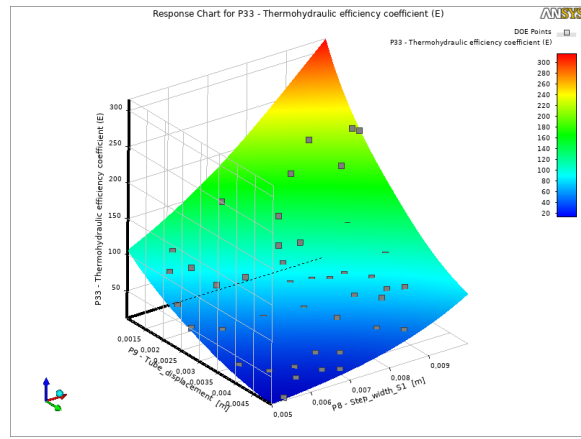


Рис. 1. Поверхні відгуку проведеної оптимізації пучка труб:

а – перепад тиску в каналі, Па; б – число Ейлера; в – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² К; г – число Нуссельта; д – теплогідравлічна ефективність.

Для визначення закономірностей впливу геометрії пучка, що характеризують вплив відстані між трубами (S) та їх зміщення (M) на основні параметри пучка після проведеного CFD моделювання і обробки чисельних результатів були отримані рівняння регресії, які описують поверхні відгуку (рис. 1).

Нижче представлені результати цієї обробки:

- для перепаду тиску в каналі, Па

$$\Delta P = 216,3928 - 65214,1312 \cdot S + 1,4837 \cdot 10^5 \cdot M + 6,8819 \cdot 10^6 \cdot S^2 - 2,9827 \cdot 10^7 \cdot SM + 2,6366 \cdot 10^7 \cdot M^2 \quad (1)$$

- для числа Ейлера

$$Eu = 7,1588 - 2162,3237 \cdot S + 4914,7584 \cdot M + 2,2838 \cdot 10^5 \cdot S^2 - 9,897 \cdot 10^5 \cdot SM + 8,7488 \cdot 10^5 \cdot M^2 \quad (2)$$

- для коефіцієнта тепловіддачі, Вт/м² К

$$\alpha = 200,2877 - 16277,9668 \cdot S - 4676,8115 \cdot M + 7,74 \cdot 10^5 \cdot S^2 - 8,4712 \cdot 10^5 \cdot SM + 2,3931 \cdot 10^6 \cdot M^2 \quad (3)$$

- для числа Нуссельта

$$Nu = 21,7328 + 7490,9636 \cdot S - 4325,0253 \cdot M - 1,2506 \cdot 10^5 \cdot S^2 - 2,7803 \cdot 10^5 \cdot SM + 1,3436 \cdot 10^6 \cdot M^2 \quad (4)$$

- для теплогідравлічної ефективності

$$E = 59,2934 + 7065,2395 \cdot S - 21202,963 \cdot M + 2,4866 \cdot 10^6 \cdot S^2 - 6,9954 \cdot 10^6 \cdot SM + 5,7409 \cdot 10^6 \cdot M^2 \quad (5)$$

Також проаналізована чутливість проведеної оптимізації, яка характеризує вплив зміщення (M) та відстані (S) між трубами на основні

вихідні параметри. Значний негативний вплив на перепад тиску та числа Ейлера має зміщення труб, величина якого досягає 62 %. Вплив відстані між трубами на вищевказані параметри незначний і не перевищує 8 %. В свою чергу на підвищення коефіцієнта тепловіддачі і числа Нуссельта значний вплив має відстань між трубами. При зміщенні сусідніх труб на 41 % вказані вище параметри зростають на 55%. Максимальне збільшення величини відстані і зміщення між трубами призводить відповідно до зростання теплогідравлічної ефективності на 68 % і її падіння на 39 %.

Отримані результати можуть бути використані при розробці нових конструкцій кожухотрубних теплообмінників, у яких в якості робочої поверхні вибрані компактні пучки труб малого діаметра.

Перелік використаних джерел

1. Yang Z., Ma Y., Zhang N., Smith R. Design optimization of shell and tube heat exchangers sizing with heat transfer enhancement // Computers & Chemical Engineering. 2020. Вип. 137. 106821. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106821>.
2. Milani Shirvan K., Mamourian M., Abolfazli Esfahani J. Experimental investigation on thermal performance and economic analysis of cosine wave tube structure in a shell and tube heat exchanger // Energy Conversion and Management. 2018. Вип. 175. С. 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.103>.

УДК 536.24

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛОПЕРЕНОСУ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАТОРА ТЕПЛООБМІНУ НОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ

Валерій Горобець^{1,2}, Юрій Оксимець¹

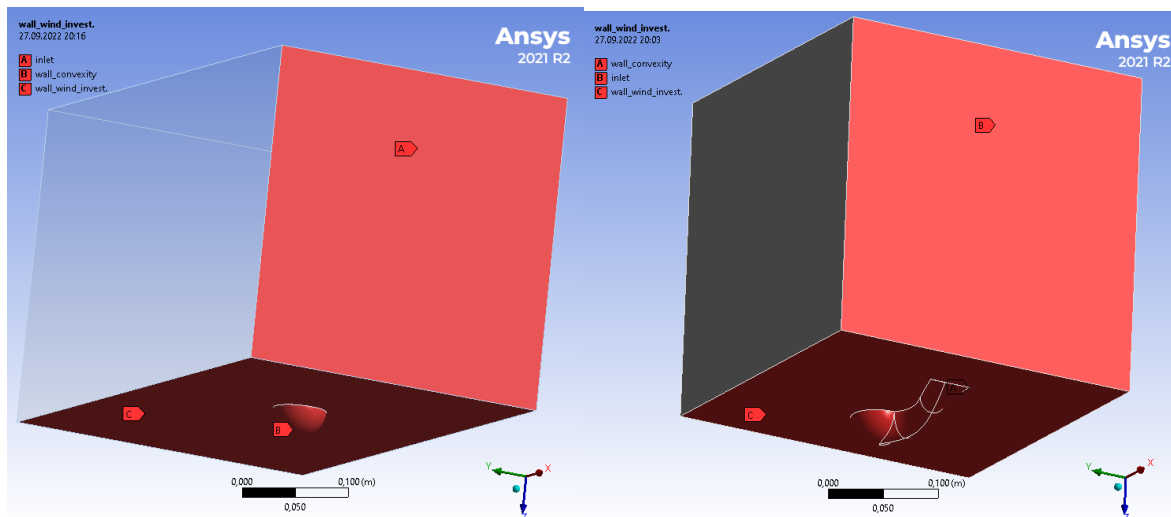
¹Інститут технічної теплофізики НАН України

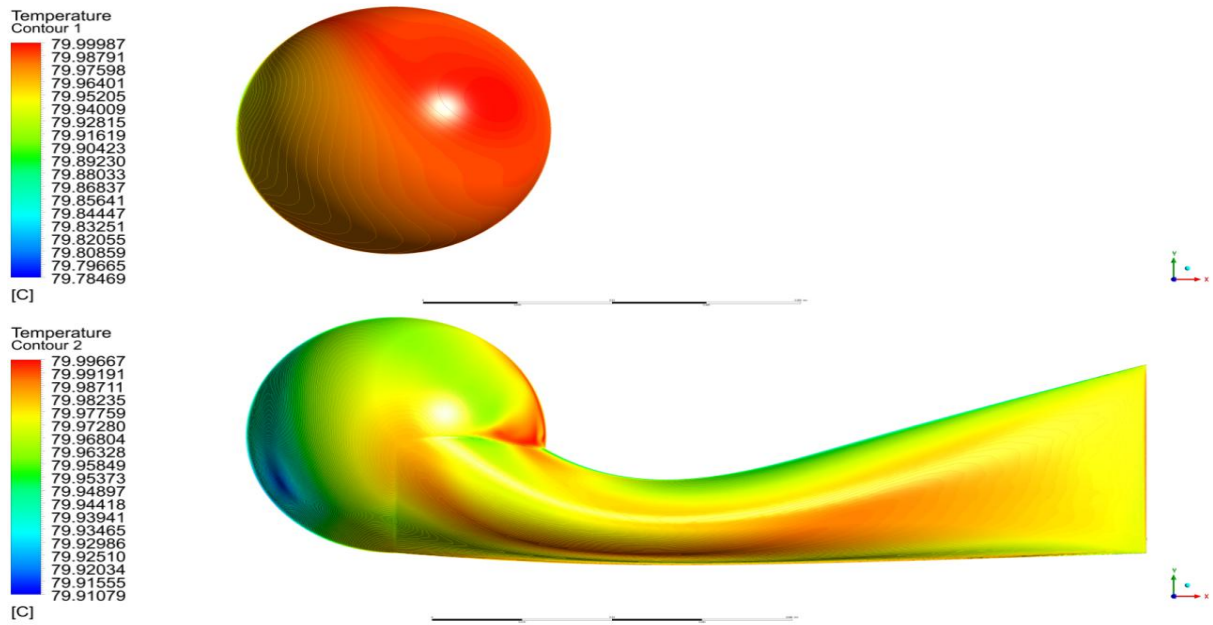
²Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ефективним методом інтенсифікації процесів переносу при розробці теплообмінного обладнання різного призначення є використання турбулізаторів потоку (інтенсифікаторів теплообміну), які дають можливість збільшити коефіцієнт теплообміну і зменшити розміри

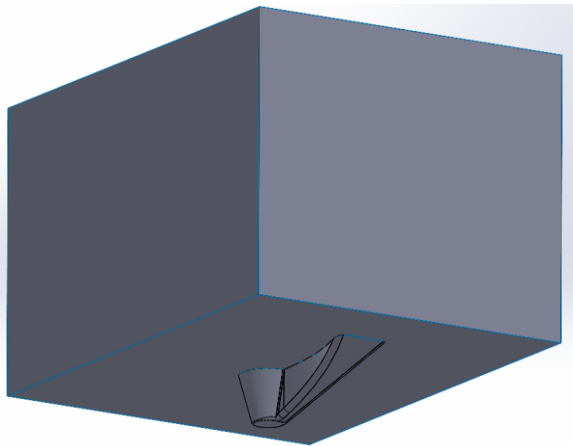
теплообмінної поверхні в 1,5-3 рази [1] порівняно з гладкими поверхнями. В якості таких турбулізаторів використовується кільцева і спіральна накатка на поверхні труб, оребрення поверхні при невеликій висоті ребер, виступи і впадини різної конфігурації, спіральні вставки у внутрішніх каналах трубних пучків, лункові поверхні та інші типи турбулізаторів. Важливим напрямком покращення ефективності теплообмінних поверхонь являється розробка нових типів інтенсифікаторів теплообміну.

В роботі запропоновано нову конфігурацію лунок для лункових поверхонь. Проведено чисельне моделювання процесів гідродинаміки і теплопереносу при обтіканні одиночної лунки нової конфігурації використовуючи пакет прикладних програм ANSYS FLUENT. При розробці математичної моделі використані рівняння Нав'є-Стокса і k-ε модель турбулентності. [2] Побудована модель та сітка (950 тис. елементів) та проведено чисельний розрахунок гідродинамічної течії і теплопереносу при обтіканні лунки нової конфігурації. В результаті розрахунків отримані поля швидкостей, температур, локальних значень тиску, теплового потоку, тощо. Деякі результати розрахунків приведені на рис.1.

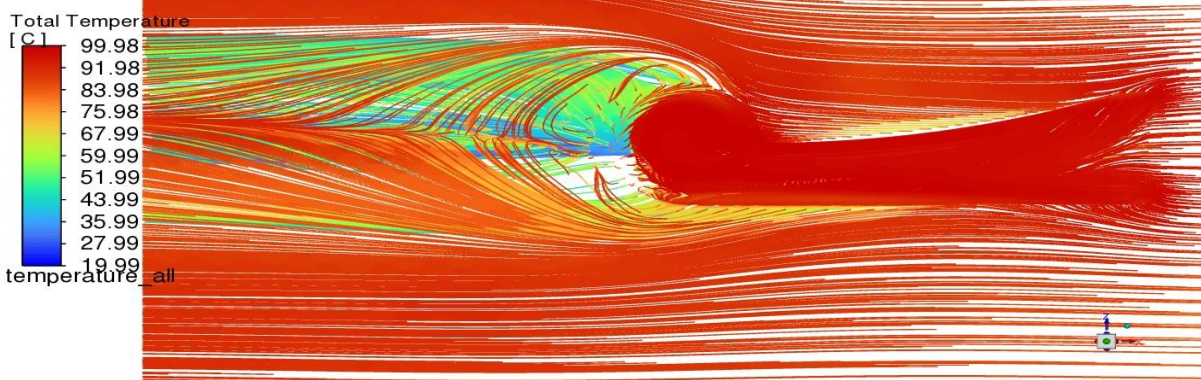
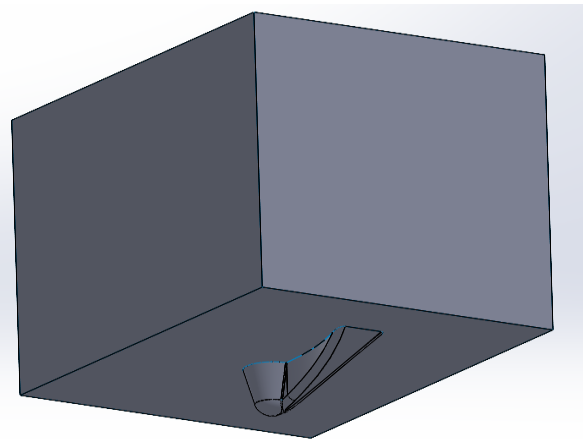


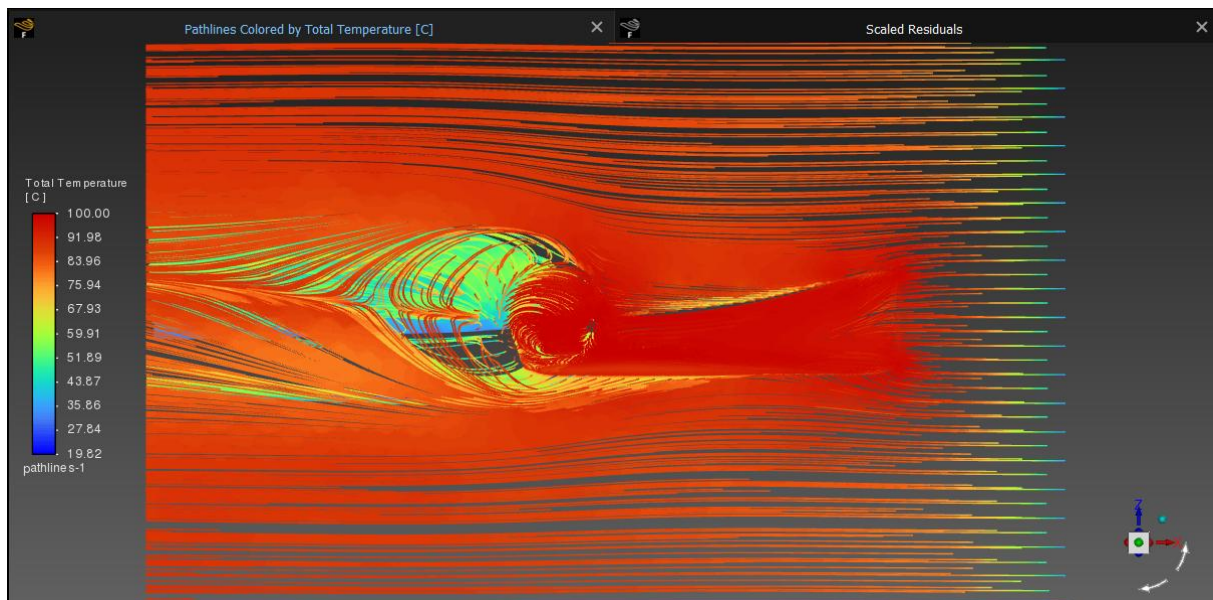


a)



b)





в)

г)

Рис. 1. Комп'ютерні моделі та графічні результати математичного моделювання луночних інтенсифікаторів різної геометрії: а) стандартна лунка; б) сферична лунка нової геометрії; в) трапеціє-подібна лунка нової конфігурації; г) трапеолоїдна лунка нової конфігурації.

Проведено аналіз отриманих результатів та їх порівняння з характеристиками лунок круглої конфігурації, дослідження яких проводилось в роботах [3,4]. Показано, в лунках нової конфігурації утворюються вихрові структури, які інтенсифікують процеси теплообміну та в 1,5 рази збільшують тепловіддачу в порівнянні круглими лунками.

Таким чином, є перспективним подальше чисельне дослідження процесів гідродинаміки і теплопереносу з метою вибору оптимальної геометрії нових лунок та проведення експериментальних досліджень для верифікації отриманих результатів.

Перелік використаних джерел

1. Ghani JA, Derani MNB, Mahmood WMF. Dimples and heat transfer efficiency. Material Sci & Eng Int J. 2018;1(2):2-5. DOI: 10.15406/mseij.2018.02.00051
2. Оксонець Ю.О. Розробка та дослідження нових інтенсифікаторів теплообміну для теплообмінників рекуперативного типу : дипломна робота ... магістра : 144 Теплоенергетика. Київ, 2024. 65 с.
3. Shaik Sardar Ali, S. M. Jameel Basha, B. Durga Prasad; Experimental analysis of heat transfer enhancement in different dimpled geometries under natural and forced convection. AIP Conf. Proc. 20 December 2019; 2200 (1): 020001. <https://doi.org/10.1063/1.5141171>
4. Ying, P.; He, Y.; Tang, H.; Ren, Y. Numerical and Experimental Investigation of Flow and Heat Transfer in Heat Exchanger Channels with Different Dimples Geometries. Machines 2021, 9, 72. <https://doi.org/10.3390/machines9040072>

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

Наталія Радченко, Богдан Целень, Любов Гоженко, Анна Недбайло

Інститут технічної теплофізики НАН України

Актуальність досліджень обумовлена труднощами утилізації стічних вод кислої сироватки, спричиненими нестабільністю їх складу, підвищеною кислотністю та інтенсивним мікробіологічним забрудненням, яке зумовлює високе біологічне споживання кисню. Додатковий вплив створює високий показник хімічного споживання кисню, який вказує на велике органічне навантаження, що ускладнює процеси очищення та створює екологічні ризики. Авторами розглянуто сучасні і традиційні методи очищення, за даними більшості публікацій, найефективніше застосовувати їх у комбінації. Проаналізувавши переваги та недоліки кожного підходу запропоновано гідродинамічну кавітацію як додатковий інтенсифікуючий засіб у процесах нейтралізації висококонцентрованих стоків. Для його реалізації запропоновано конструкцію апарата роторно-пульсаційного типу. Доцільність його використання оцінювали за динамікою мікробіологічного показника, ХСК і БСК. Також контролювали зміну температури і концентрації розчиненого кисню під час обробки.

Результати експериментальних досліджень показали, що показник МАФАНМ зазнав суттєвого зниження з початкового рівня $1 \cdot 10^5$ до 10 КУО в 1г при 3600 об/хв та до $1 \cdot 10^2$ КУО в 1г при 1800 об/хв протягом 10-хвилинного циклу обробки. Водночас повна інактивація коліформних мікроорганізмів була досягнута вже на 2-й хвилині обробки. Визначення показника БСК показало найбільш інтенсивне зниження протягом 20 хвилинної обробки при 3600 об/хв на 43 % і при 1800 об/хв на 26 % та стабілізацію показників наступні 10 хвилин обробки. Разом з цим показник ХСК знизився на 35 % при 3600 об/хв. та на 22 % при 1800 об/хв. Характер

зміни показників БСК та ХСК залишався незмінним незалежно від застосованих режимів обробки.

Також було встановлено лінійне збільшення температури протягом 30 хвилин з 20°C до 54°C при 3600 об/хв та до 38°C при 1800 об/хв. Паралельно з цим зафіксовано збільшення концентрації розчиненого кисню з 0,5 мг/л до 3,0 мг/л при 1800 об/хв. і до 4,4 мг/л при 3600 об/хв.

Одержані результати свідчать про можливість використання пропонованого обладнання в якості допоміжного з метою підвищення ефективності нейтралізації концентрованих стоків молочної промисловості. Оптимальною слід вважати обробку в роторно-пульсаційному апараті в режимі рециркуляції протягом 20 хвилин при 3600 об/хв.

ЕФЕКТИВНІСТЬ КАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ПРОЦЕСИ ТЕПЛООБМІНУ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ЕКСТРАКТОРІ

Любов Гоженко.¹, Олександр Ободович.¹, Георгій Іваницький.²,

Богдан Целень.¹

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Мета роботи – визначити способи інтенсифікації кавітаційних ефектів на процес екстракції у пульсаційному екстракторі.

Теоретично обґрунтовано на базі математичної моделі, що у пульсаційному екстракторі ініціюється широкий комплекс кавітаційних механізмів. Це дозволяє обробляти сировину з широким спектром структурно-механічних і реологічних характеристик при порівняно невеликих енерговитратах. Особливість процесу екстракції полягає у дослідженні основних динамічних ефектів у пульсаційному екстракторі залежно від зміни тиску в рідині з часом, залежностей зміни з часом

розміру бульбашок кавітаційного кластера та імпульсів тиску при кавітаційному захопуванні бульбашок кластера у цих зонах.

Встановлено, що для посилення ефективності кавітаційної дії потрібно запобігти накопиченню повітря всередині робочої камери апарата. Конструктивно кавітаційний вплив додатково забезпечує встановлене в переріз труби сопло Вентурі, що сприяє періодичній зміні швидкості та напрямку течії через сопло.

Результати проведених експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей екстрактів при періодичній екстракції показали кінетику процесу вилучення цільових компонентів з рослинної сировини. Виконано чисельні розрахунки для подальших досліджень безперервної екстракції, що дозволяє визначати оптимальні режими обробки залежно від виду сировини. Встановлено, що підвищення інтенсивності тепломасообміну в пульсаційному екстракторі обумовлене нестационарним гідродинамічним станом.

Проаналізовано умови ініціювання кавітаційних ефектів у рідинному тракті апарата. Значення зміни тиску з часом у рідині протягом 5 циклів обробки однакові як для аналітичних розрахунків, так і експериментальних.

Проведено за допомогою моделі аналіз, що дозволяє вибирати раціональну геометрію установки і оптимальні режими роботи в залежності від характеристики оброблюємого середовища за критеріями максимальної продуктивності та мінімізації енерговитрат.

Досягнуто виконання критеріїв ефективності кавітаційного впливу, що супроводжується високочастотним чергуванням затухаючих імпульсів стиснення і розрідження в рідині. Визначено, що пікові значення локального тиску в момент захопування кавітаційного кластера знаходяться у діапазоні 0,3 – 0,6 МПа.

Висновки. Обґрунтовано доцільність застосування кавітаційного механізму в пульсаційному екстракторі, що інтенсифікує процес екстракції

шляхом скорочення тривалості процесу вилучення. На прикладі рослинної сировини пласкої форми тривалість обробки скорочується вдвічі. Застосування кавітаційного впливу має особливе значення для одержання термолабільних цільових біологічно-активних речовин.

УДК 620.9.004.18

**ОЦІНЮВАННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ В НАТУРНИХ УМОВАХ МЕТОДОМ
ВИПРОБУВАЛЬНОГО ТИСКУ ТА ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ**

Євгеній Антипов¹, Владислав Ткаченко²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,

²Інститут технічної теплофізики НАН України

Встановлення складових нераціональних фактичних енерговитрат теплоізоляційної оболонки та інженерних систем будівлі, визначення та оцінювання показників енергетичної ефективності, визначення потенціалу енергозбереження, розроблення комплексу технічних рішень з підвищення класу енергоефективності будівлі та надання висновків щодо забезпечення енергозбереження у будівлі неможливе без проведення енергетичного аудиту [1]. З огляду на зазначене, найбільшу зацікавленість викликає розрахунково-вимірjuвальний метод оскільки він використовується для будівель, що експлуатуються, і для будівель [2-5], що здаються в експлуатацію, для визначення і проведення детального аналізу фактичних енергетичних та теплотехнічних показників будівель, розроблення обґрунтованих результатами інструментальних теплових вимірювань енергозберігаючих заходів. Стандарт [5] встановлює якісний метод виявлення теплових відмов в огороджувальних конструкціях будинків шляхом тепловізійного обстеження. Якісний результат можна отримати, якщо під час зйомки, коли вітер спрямований саме на досліджувану частину фасаду або якщо в будинку створено надлишковий тиск або

розрідження у порівнянні з тиском навколишнього середовища. Це може бути реалізовано за допомогою спеціального обладнання для визначення повітропроникності будівель, яке носить назву Blower Door (аеродвері). Цей пристрій містить кріплення вентилятора або повітродувки до дверей або вікон, яке регулюється, щоб відповідати звичайним дверним або віконним прорізам. Вентилятор або повітродувка повинні мати двигун із регулюванням швидкості, щоб забезпечити діапазон необхідних витрат повітря [6].

З огляду на раніше прийнятий до уваги розрахунково-вимірювальний метод, який використовується для будівель, що експлуатуються, і для будівель, що здаються в експлуатацію, для визначення і проведення детального аналізу фактичних енергетичних та теплотехнічних показників будівель, які впливають на енергоспоживання при опаленні, охолодженні, гарячому водопостачанні та освітленні будівлі та ефективність використання енергії [2, 7-9] оцінюються на підставі даних, що отримані під час енергетичного аудиту, які є основою для складання енергетичного балансу будівлі під час проведення обстежень та визначення базового рівня енергоспоживання, що враховує нормативні вимоги до внутрішнього мікроклімату в будівлі, а також для розроблення енергозберігаючих заходів.

Для розуміння різниці між обстеженням з гарантованим перепадом тиску та без нього проаналізовано термограми, які були отримані при натурних випробуваннях шляхом тестування оболонки житлових, громадських та виробничих будівель на повітропроникність методом випробувального тиску [6].

Обґрунтовано необхідність проведення тепловізійного обстеження будівель, наведено типи дефектів, які можна виявити при такому аудиті, та умови, за яких проведене обстеження дозволить виявити всі дефекти. Встановлено, що неоднаковість теплових властивостей елементів зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі призводить до зміни

температури на її поверхні. За характером розподілу температури поверхні можна виявляти теплові відмови внаслідок, наприклад, дефектів ізоляції, вмісту вологи та/або інфільтрації повітря в елементах зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку.

Проведені натурні дослідження будівель різного призначення, які вказують на необхідність врахування різниці тиску назовні і всередині будівлі. Встановлено, що на температуру поверхні також впливає потік повітря в будівлі та/або крізь її огорожувальні конструкції. Аналіз термограм показав, що очевидною є різниця у якості виявлення дефектів без та при додатковому створенні різниці тиску, яку можна забезпечити лише спеціалізованим обладнанням для визначення повітропроникності будівель «Blower Door».

Перелік використаних джерел

1. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель (Стандарт розроблений з урахуванням вимог ДСТУ 4065, ДСТУ EN 16247-2).
2. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні.
3. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель.
4. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.
5. ДСТУ Б EN 13187:2011 Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод (EN 13187:1998, IDT).
6. ДСТУ EN ISO 9972:2022 (EN ISO 9972:2015, IDT; ISO 9972:2015, IDT) «Теплотехнічні характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробувального тиску», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN ISO 9972:2015 (версія en) «Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method (ISO 9972:2015)».
7. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2007, IDT).
8. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT).

ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:

**РОЗРОБКА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМІННИКА З
ФУНКЦІЄЮ НАКОПИЧЕННЯ ТЕПЛОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ
АКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ
ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Євгеній Антипов

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.

Загальні принципи оцінки параметрів мікроклімату приміщень захисних споруд цивільного захисту полягають у визначенні комплексу оцінювальних показників, що характеризують питомі затрати енергії на опалення і вентиляцію чи кондиціювання приміщень [1]. У роботах [2-8] приділено увагу вибору та розрахунку технічних засобів, зокрема для здійснення повітрообміну приміщень за допомогою механічних систем вентиляції з електричним приводом та рекуперацією теплоти. З метою економії енергоносіїв для забезпечення одночасного провітрювання і опалення приміщень за допомогою системи вентиляції розроблялись різні пристрої – рекуператори повітря з багатовитковими замкненими пульсаційними тепловими трубками [2]. У роботах [3, 4] здійснено аналіз енергетичної ефективності вентиляційної установки на основі оцінки процесів тепломасообміну рекуператора «повітря-повітря» в опалювальний період. Авторами роботи [5] проведено чисельне дослідження теплообміну та аеродинаміки в перехресному теплообміннику відкритого типу. Однак, вимога п. 11.2.1.7 [1] передбачає, що вентиляція сховищ та споруд подвійного призначення здійснюється з використанням систем вентиляції з механічним спонуканням та/або із застосуванням електроручних вентиляторів. В обов'язковому порядку має передбачатися очищення припливного повітря від твердих часток та пилу шляхом встановлення фільтрів грубого очищення повітря. Останньому відповідає система вентиляції, яка може бути реалізована на базі припливно-витяжної

установки з рекуперацією тепла ВЕНТС ВУТ/ВУЕ ПБЕ ЄС [9]. Для запобігання мимовільному перетіканню повітря при вимкненому обладнанні може використовуватися клапан з електроприводом на припливній системі та зворотний клапан – на витяжний. Однак, всі ці пристрої не володіють функцією накопичення теплоти та не мають достатнього ступеня автоматизації роботою установки для забезпечення допустимих умов мікроклімату приміщень захисних споруд, які визначені таблицею 11.2 ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1]. Разом з тим, такі пристрої та система [9] у цілому не враховують вплив зовнішніх (температура, запиленість та забрудненість припливного повітря, швидкість і напрям вітру) та внутрішніх (температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та вміст вуглекислого газу) параметрів, що не дозволяє здійснювати «якісне» коригування режимів роботи системи вентиляції залежно від впливу того чи іншого фактору в автоматичному режимі.

Показано, що застосування лише рекуперативного обладнання дозволяє скоротити енергетичні затрати на процес опалення будівлі на 7-10 %, у той час як запропонована нами система на базі теплообмінника-утилізатора з функцією акумуляції теплоти нової конструкції та коригуванням її роботи в автоматичному та автономному режимах залежно від впливу того чи іншого фактору дозволяє заощаджувати до 12-15 % теплової енергії, при умові організації роботи системи в «реверсному» режимі – до 15-20 %, досягти скорочення споживаних ресурсів на відміну від відомих систем. Крім того, запропонована конструкція теплообмінника-утилізатора з функцією акумуляції теплоти та системою коригування його роботи в автоматичному режимі буде корисною для впровадження під час проектування захисних споруд в країнах, територія яких охоплена бойовими діями або тих, які перебувають у зоні постійних геофізичних впливів. Разом з тим, використання нових конструкцій теплообмінників-утилізаторів з функцією акумуляції теплоти

на основі акумулюючих матеріалів органічного походження є досі ніким не запропонованим новим технічним рішенням як в Україні, так і в Європі.

Перелік використаних джерел

9. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 10.08.2023 року № 702. Набрання чинності з 2023-11-01
10. Юрко В. В. Удосконалення рекуперативного повітрянагрівача (теплоутилізатора) для розширення області застосування за умови запиленого гріючого теплоносія [Електронний ресурс] : дис. д-ра філософії : спец. 144 : галузь знань 14 / Володимир Володимирович Юрко; наук. керівник Ганжа А. М. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2021. – 197 с. – Бібліогр.: с. 181-192.
11. Piir A E, et al. (2018). Thermal calculation of plate recuperators for ventilation systems Proceedings of BGTU. Series 1: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2, pp. 236-243.
12. Samarin O. D. (2021). Study of the dependence of the temperature efficiency of plate recuperators on the size of the ventilating unit. SOK Journal, 2, pp. 71-73.
13. Ващишак І. Р., Ващишак С. П. Рекуператор на пульсаційних теплових трубках з мікропроцесорним управлінням. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 5. С. 107–110.
14. Valchev, S. and Mihaylov, I. (2020). Analysis of energy efficiency of air handling unit with integrated air to air heat exchanger in heating mode. E3S Web of Conferences, 207, 01002
15. Дешко В.І. Особливості процесів тепломасообміну рекуператора «повітря-повітря» з паропроникною стінкою в опалювальний період / В.І. Дешко, І.О. Суходуб // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2012. – №1. – С. 19–26.
16. Vdovichev A. A. (2022). Numerical study of heat transfer and aerodynamics in an open-type crossflow heat exchanger. Bulletin of the Eurasian Science, 14, 2 (Electronic Materials) <https://esj.today/PDF/21ECVN222.pdf>.
17. Укриття потребують систем вентиляції. [Електронний ресурс]. Режим доступу - <https://ukrblog.vents.ua/articles/ukryttya-potrebuyut-system-ventylyatsiji.htm>.

ПОВІТРОРОЗПОДІЛ ЛІНІЙНИМ ЩІЛИННИМ ДИФУЗОРОМ В НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ

Орест Возняк, Ярослав Чемеринський

Національний університет «Львівська політехніка»

Метою даної роботи є аналіз ефективності застосування лінійних щілинних дифузорів у вентиляційних системах, що працюють в неізотермічних умовах та дослідження аеродинамічних характеристик струмин, що утворюються такими дифузорами.

У щілинних лінійних дифузорів наявні декілька плоских щілин і при їх роботі виникає ефект взаємодії декількох паралельних плоских струменів на виході з пристрою, що призводить до турбулізації всього повітряного потоку та спадання температури в струмині (Chemerynyskyi & Voznyak, 2025).

В неізотермічних плоских в результаті відхилення кожної плоскої мікрострумини що утворюється кожною щілиною лінійного щілинним дифузором відбувається швидке змішування потоків, що показано на Рис.1. Це призводить до більш різкого спадання швидкості загальної струмини.

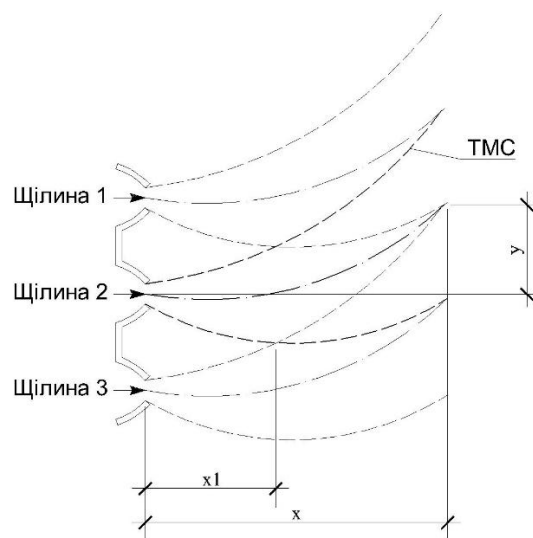


Рис.1. Теплові границі мікрострумин лінійного жалюзійного щілинного дифузора

Дослідження проводились для різної кількості щілин лінійного жалюзійного дифузора так і різної довжини щілин. Висота щілин всіх була сталою. Експериментальна установка складається з вентилятора, регулюючого дроселя для встановлення необхідної витрати, повітроохолоджувача та нагрівача повітря, системи повітропроводів, що забезпечує подачу повітря та лінійного жалюзійного дифузора, а також приладів для вимірювання швидкості та температури повітря.

Після обробки експериментальних даних було отримано залежність спаду відносної температури струмини в залежності від відносної поточної координати (рис. 2).

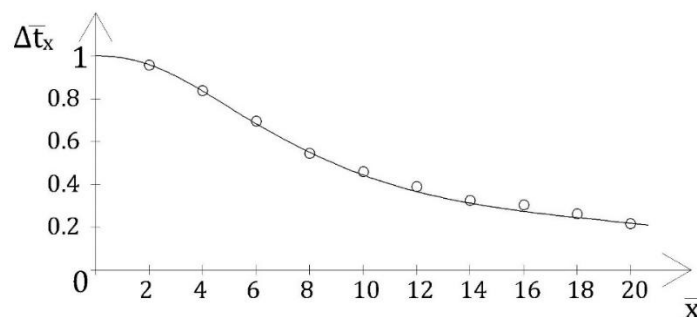


Рис. 2. Залежність відносної температури від поздовжньої координати $\Delta \bar{t}_x = f(\bar{x})$ для жалюзійного лінійного щілинного дифузору
(° - експериментальні дані)

Згідно отриманих результатів, можна зробити висновок про те, що підігрітий чи охолоджений повітряний потік, що виходить з жалюзійного лінійного дифузора швидше за повітророзподільні решітки турбулізується. В результаті цього затухання швидкості та температури в струмені відбувається швидше та активніше. Величина коефіцієнта затухання температури для лінійного жалюзійного щілинного дифузора рівна $n = 1.5 - 2.0$, що є значно меншим в порівнянні з таким коефіцієнтом для звичайної повітророздаючої решітки, для якої $n = 3.2$.

Перелік використаних джерел

Y. Chemerynskyi, O. Voznyak. (2025) Some characteristics of air distribution at application of linear crevice diffuser. Energy Engineering and Control Systems, Vol. 11, No. 1, pp. 21 – 26. <https://doi.org/10.23939/jeecs2025.01.021>

ПОКРАЩЕННЯ ПОВІТРОРОЗПОДІЛУ В ПРИМІЩЕННІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАКРУЧЕНИХ ПОВІТРЯНИХ СТРУМЕНІВ

Орест Возняк, Валентин Бохан

Національний університет «Львівська політехніка».

Метою даної роботи є встановлення закономірностей зміни швидкісних і температурних характеристик закручених струменів для визначення оптимальних умов їх застосування у вентиляційних системах із метою підвищення енергоефективності та комфорту в закритих приміщеннях.

Дослідження поєднувало експериментальні вимірювання та аналітичне моделювання. Експерименти проводилися в лабораторному каналі, де формувався закручений струмінь за допомогою спеціального сопла діаметром 40 мм, під'єданого до компресора зі стабілізованою витратою повітря. Вимірювання осьової швидкості здійснювали за допомогою гарячодротяного анемометра (СТА-типу) при температурі $T=293\pm 1$ К.

Для опису структури потоку використано емпіричні співвідношення між осьовою швидкістю v_x , коефіцієнтом закручення, коефіцієнтом розсіювання енергії та температурним градієнтом. Особливу увагу приділено залежності зменшення швидкості від безрозмірної осі координати $x = r / \sqrt{A_0}$.

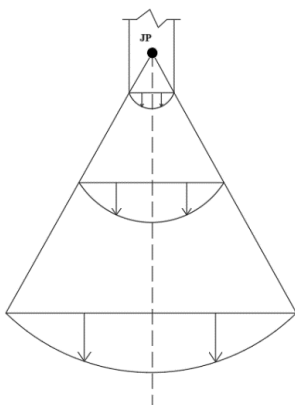


Рис. 1. Схема розвитку вільного струменя.

Точка струменя (JP) — це вершина, через яку проходять зовнішні межі повітряного потоку.

Отримані дані нормалізовано відносно максимальної осьової швидкості, після чого

побудовано залежність v_x / v_{x_0} від координати $x / \sqrt{F_0}$, яку апроксимовано експоненційною функцією.

Результати дослідження підтвердили, що введення закручення на виході сопла значно впливає на структуру повітряного потоку. У зоні основного розвитку струменя спостерігається швидке вирівнювання профілю швидкості та температури, що свідчить про інтенсивне змішування припливного повітря з навколишнім середовищем. Осьова швидкість затухає швидше на 10-20 % у порівнянні з традиційним прямим струменем, що пояснюється наявністю додаткової тангенціальної компоненти швидкості. Внаслідок цього зменшується концентрація холодних або теплих повітряних зон, що позитивно позначається на комфорті користувачів.

Закручений струмінь забезпечує рівномірніший розподіл температури у приміщенні, мінімізує локальні протяги, створює стабільну вихрову структуру та ефективно перемішує повітря навіть у великих приміщеннях або біля стін. Встановлено також, що отримані експериментальні точки добре узгоджуються з теоретичною кривою, побудованою за аналітичними залежностями (рис. 2), що підтверджує достовірність запропонованої моделі.

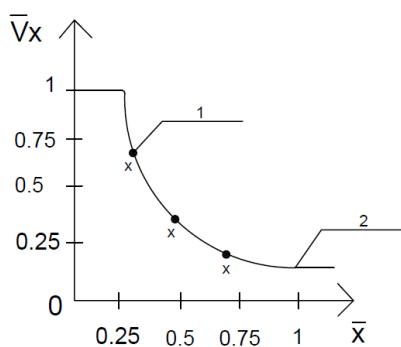


Рис. 2. Залежність відносної осьової швидкості від безрозмірної координати x :

1 – експериментальні точки; 2 – теоретична крива.

На основі проведених експериментів і аналітичного аналізу доведено, що використання закручених повітряних струменів є ефективним способом підвищення енергоефективності вентиляційних систем. Вихровий рух струменя сприяє інтенсивному перемішуванню повітря, рівномірному розподілу температури та швидкості в робочій зоні приміщення, що забезпечує стабільний тепловий комфорт.

ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 629

ПРОБЛЕМИ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

Наталія Фіалко, Олександр Сігал

Інститут технічної теплофізики НАН України

Метою роботи є розгляд низки питань щодо аналізу проблеми управління піковими навантаженнями. В контексті даної проблеми розглядаються особливості еволюції формування пікових навантажень в енергосистемі України. Відмічається, що до повномасштабного вторгнення росії в Україну мала місце суттєва диспропорція між середньодобовим та піковим споживанням в ОЕС України. Так, максимальне навантаження в ОЕС у 2021 році було зафіксовано на рівні близько 24 тис. МВт, а середнє по року навантаження становило 14–16 тис. МВт. Щодо добових піків, то більш чітко вираженими були ранкові піки, зумовлені, зокрема, початком виробничих циклів. Аналізується специфіка формування пікових навантажень після повномасштабного вторгнення РФ в Україну. Вказується, що при цьому значно зменшилося промислове споживання через знищення чи окупацію ряду промислових підприємств на Сході та Півдні України. На формування пікових навантажень вплинула також внутрішня та зовнішня міграція населення, яка помітно змінила географію споживання. Поряд з цим воєнні дії зумовили залежність формування пікових навантажень від непередбачуваних факторів.

Особлива увага приділяється аналізу впливу відновлюваних джерел енергії на формування пікових навантажень. Відмічається, що зростання встановленої потужності ВДЕ призводить до таких трансформацій в структурі генерації:

- Зміна традиційної добової кривої навантаження, що проявляється у збільшенні генерації вдень і зменшенні ввечері.
- Формування поряд з класичними піками так званих «штучних» або «псевдопіків».

- Випадкові та непрогнозовані коливання генерації через сезонну і погодну нестабільність.
- Асиметрія генерації з огляду на територіальну концентрацію ВДЕ (здебільшого в південних регіонах України).

Розглядаються результуючі ефекти, спричинені змінами в структурі генерації, що пов'язані з використанням ВДЕ. Зокрема, вказується на зростання амплітуди добових коливань, часті зміни напрямку перетоків у магістральних мережах, локальні перевантаження мереж тощо.

Наводяться результати аналізу особливостей таких напрямів покриття пікових навантажень, як застосування пікових генеруючих потужностей (peaking units); використання систем зберігання енергії (ESS – Energy Storage Systems); інтеграція в енергосистему відновлюваних джерел у поєднанні з накопичувачами енергії або віртуальними електростанціями (VPP – Virtual Power Plants); застосування інтелектуальних мереж (Smart Grids) та управління попитом DSM (Demand Side Management). Представлено дані щодо переваг і обмежень кожного з цих напрямів.

Розглядаються основні порівняльні аспекти таких типів пікових потужностей: ДВЗ, ГТУ, акумулювальні батареї ESS, гідроакумулювальні станції ГАЕС та малі гідроелектростанції міні-ГЕС. Зіставляються характеристики цих потужностей щодо технічної гнучкості та часу реакції, тривалості роботи та надійності, системної інтеграції та масштабованості, вартісних параметрів. Виконано аналіз перспектив розвитку технологій покриття пікових навантажень в енергосистемі України. Зазначається, що забезпечення покриття цих навантажень потребує поєднання традиційних та інноваційних технологій.

За результатами виконаного аналізу зроблено висновок про те, що провідну роль у короткостроковій перспективі відіграватимуть гнучкі ТЕС, гідроакумулювальні потужності, ДВЗ та ГТУ. З часом інноваційні технології стануть основою створення майбутнього гнучкого та адаптивного ресурсу.

**RESULTS FROM RESEARCH OF LOCAL EXPERIENCE
ON THE SPECIFIC CONDITIONS AND REQUIREMENTS FOR
HOME RENOVATION IN BULGARIA AND UKRAINE**

Ivanka Pandelieva-Dimova¹, Nina Nikolova²,

Victor Kaplun³, Svitlana Makarevych³, Olena Shelimanova³, Ievgen Antypov³

¹Sofia Energy Centre (SEC), Bulgaria

²The Chamber of Installation Specialists in Bulgaria (CISB)

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (NULES)

One of the main directions of the European Green Deal [1] is to support actions to renovate and improve the energy efficiency of residential buildings, which account for approximately 75% of all EU building assets.

An important means of accelerating the pace of energy renovation of residential buildings is the introduction of a one-stop shop (OSS). The LIFE23-CET-BUSHROSSs project “Building Up Skills for Home Renovation One-Stop-Shops” aims to provide specialized knowledge to those responsible for home renovation OSS and to provide a basis for the establishment and successful management of such structures.

This study focuses on collecting information on national conditions and requirements for a single online office for home renovation in the Project's participating countries, including Bulgaria and Ukraine.

Until recently, the main role in the establishment and operation of One Stop Energy Centers in Bulgaria was played by municipalities. In their efforts to provide homeowners with comprehensive advice on sustainable energy renovation, they worked closely with regional/local energy agencies and consulting centers. However, the National Recovery and Resilience Plan of the Republic of Bulgaria [2] envisages the establishment of One Stop Shops (OSS) for home renovation services. For this purpose, a pilot test will be conducted in

6 territorial units that will provide one-stop services, and within 24 months, the activities will be expanded to all 28 districts of the country.

A real example of the implementation of the “single window” principle in Ukraine when renovating the housing stock is the state program - “eReconstruction”, which is implemented by the Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine [3].

This is a compensation program for damaged and destroyed housing. The program was launched in 2023 and is currently operating, allowing victims to receive monetary compensation for current and capital repairs and in the form of a housing certificate, thanks to which it is possible to purchase new housing instead of a completely destroyed one. It is also possible to submit applications for compensation for reconstruction on their own land plot.

Today, more than 70 thousand families have received compensation for damaged housing and almost 5 thousand applicants have received housing certificates for the purchase of new housing thanks to the eReconstruction program. Thus, the compensation mechanism has become one of the effective tools for supporting internally displaced persons who can finally restore or purchase their own home.

Reference

1. <https://www.europeaninterest.eu/article/parliament-supports-european-green-deal/>
2. https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility/country-pages/bulgarias-recovery-and-resilience-plan_en
3. <https://mindev.gov.ua/proiekt/yevidnovlennia>

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ З
РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ДИМОВИХ ГАЗІВ**

Наталія Фіалко, Раїса Навродська, Світлана Шевчук

Інститут технічної теплофізики НАН України

Метою даної роботи є аналіз ефективності застосування комбінованих систем глибокої утилізації скидної теплоти для екологоефективних опалювальних котлів з рециркуляцією димових газів.

Удосконалення енерготехнологій в таких напрямках, як заощадження палива та підвищення екологічності є дуже важливим для розвитку енергетичної галузі України. В комунальній теплоенергетиці ці удосконалення реалізуються шляхом утилізації теплоти продуктів згоряння та зниженням емісії оксидів азоту завдяки рециркуляції частини димових газів в дуттьове повітря. Застосування рециркуляції для котельних установок невеликої теплопродуктивності, які не оснащені повітронагрівачами, пов'язано з небезпекою конденсаутворення в повітряних каналах і їхнім обмерзанням в певних режимах експлуатації за від'ємних температур довкілля. До того ж рециркуляція газів призводить до зниження ефективності використання палива в котлі. Для запобігання цим негативним явищам в роботі запропоновано використання нових комбінованих систем теплоутилізації.

Виконано розрахункові дослідження щодо визначення основних характеристик тепловологісного стану повітряних каналів опалювальних котельних установок теплопродуктивністю 2 МВт за умов рециркуляції димових газів у дуттьове повітря. Встановлено закономірності зміни температури та точки роси суміші підмішуваних газів і повітря без застосування комбінованих систем теплоутилізації та за їх наявності в

різних режимах котла, за різних часток і варіантів відбору газів для додавання у дуттьове повітря. Визначено мінімальні рівні попереднього підігрівання повітря у повітронагрівачі комбінованої теплоутилізаційної системи, які забезпечують відсутність конденсатотворення у повітряних каналах котельної установки за умов рециркуляції димових газів. Ці рівні при відборі газів рециркуляції після котла становлять 14...33 °С, а при відборі охолоджених газів після теплоутилізації відповідають значенню 16...25 °С. Визначено також значення приросту ККД котла за умов застосування пропонованої теплоутилізаційної системи та без неї. Показано, що: рециркуляція призводить до зменшення ККД котла на 1,3...3,1 % в залежності від його відносного навантаження та частки рециркулювання димових газів від 10 до 20 %; використання систем теплоутилізації з нагріванням зворотної тепломережної води та дуттьового повітря за розглянутих умов компенсує втрати теплоти на рециркуляцію і антикорозійний захист газовідвідного тракту та забезпечує результуючий приріст ККД котельної установки в межах 1,0...3,8 %.

Використання пропонованої комбінованої теплоутилізаційної системи з водонагрівачем та повітронагрівачем забезпечуватиме для котельних установок з рециркуляцією димових газів у дуттьове повітря заощадження палива та надійну експлуатацію цих установок.

Перелік використаних джерел

Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., & Serhiienko, R. V. (2023). Problems of operating heating boilers of increased environmental efficiency. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*, (6), 54-60. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/054>

ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ В СИСТЕМАХ ПОВІТРООБМІНУ ПРИМІЩЕНЬ

Борис Басок, Дмитро Давиденко

Інститут технічної теплофізики НАН України.

Одним із методів підвищення енергетичної ефективності світлопрозорих конструкцій будівлі полягає у застосуванні вікон в системі вентиляції приміщення. Повітря може видалятися з приміщення через спеціально сконструйовані однокамерні або двокамерні вікна, які мають щілини для надходження і видалення вентиляційного повітря. При цьому частина теплової енергії, що видаляється з приміщення разом з повітрям, надходить за рахунок обігріву віконного скла знову у приміщення. Вентильовані вікна можуть також застосовуватися для подачі з довкілля свіжого повітря в приміщення. При цьому це повітря частково нагрівається у вікні за рахунок теплоти, що видаляється через вікно в довкілля. В зимовий період року для забезпечення нормативної температури в приміщенні вентиляційне повітря може також підігріватися у вікні за рахунок пропускання електричного струму через низькоемісійне покриття, що нанесено на його поверхню для зменшення радіаційного теплового потоку. Частина теплоти, що виділяється за рахунок електричного обігріву скла, потрапляє через внутрішнє скло в приміщення. Інша частина підігріває вентиляційне повітря, що проходить через вікно, а третя частина видаляється через зовнішнє скло в довкілля. Ефективними слід вважати такі вентильовані вікна, у яких та частина теплоти, що видаляється в довкілля, буде мінімальною.

Метою даних досліджень є визначення умов, за яких вентильоване вікно з електричним обігрівом буде енергетично ефективним. Як варіанти цих умов розглядаються різні значення потужності електричного обігріву ($Q=186$ Вт; 278 Вт і 372 Вт) і різні значення швидкості повітря, з якою воно

подається у вентилязоване вікно ($U=0,02\text{ м/с}$; $0,03\text{ м/с}$ і $0,04\text{ м/с}$). Дослідження виконуються методом чисельного моделювання. Методом скінчених різниць розв'язується система рівнянь динаміки рідини і енергії для повітряного потоку і рівняння теплопровідності для віконного скла. На поверхнях скла задаються умови четвертого роду, які враховують радіаційний теплообмін на цих поверхнях. Рівняння теплопровідності для покриття містить доданок, що визначає дію джерел тепловиділення. З розв'язання даної системи рівнянь отримуються поля швидкості течії повітря і температури в системі, що розглядаються.

Розглядається двокамерне вікно, що містить 3 скла товщиною 4 мм. Відстань між зовнішнім і середнім склом - 10 мм, між середнім і внутрішнім склом - також 10 мм. Загальна товщина склопакета 0,032 м. Висота склопакета $H=1,0$ м; ширина $L=0,75$ м. Обігривається внутрішня поверхня внутрішнього скла, на якій знаходиться низькоемісійне покриття. З аналізу цих результатів визначаються умови, за яких будуть максимальними теплота, що надходить в приміщення, теплота, що нагріває вентиляційне повітря, і теплота, що видаляється в довкілля через зовнішнє скло. Виявляється, що відношення теплового потоку, що видаляється в довкілля, до потужності електрообігріву буде зменшуватися при збільшенні цієї потужності і буде зменшуватися при збільшенні швидкості подачі повітря у вікно. Відношення теплового потоку, що потрапляє в приміщення через внутрішнє скло, до потужності електрообігріву буде збільшуватися при збільшенні цієї потужності і зменшуватися при збільшенні швидкості подачі повітря. Відношення теплоти, що витрачається на підігрів вентиляційного повітря, до потужності електрообігріву буде зменшуватися при збільшенні цієї потужності і збільшуватися при збільшенні швидкості подачі повітря. При цьому температура повітря, що надходить в приміщення після підігріву у вентилязованому вікні, буде збільшуватися при збільшенні потужності електрообігріву і буде зменшуватися при збільшенні швидкості повітря.

УДК 536.2;

**ТЕРМОДИНАМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ У
ВАКУУМНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ПАНЕЛЯХ ТА ЇХ ВПЛИВ НА
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ**

Андрій Данішевський

Інститут технічної теплофізики НАН України,

Метою дослідження є аналіз і систематизація термодинамічних механізмів теплопередачі у вакуумних ізоляційних панелях (VIP), оцінка внеску твердофазної провідності, газопереносу в умовах залишкового тиску, радіаційного теплообміну та крайових теплових містків у формування ефективної теплопровідності λ_{eff} , а також визначення потенціалу VIP у підвищенні енергоефективності огорожувальних конструкцій.

За даними *UNEP / Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025*, будівельний сектор залишається одним із ключових споживачів енергії у світі, забезпечуючи близько 34 % глобального кінцевого енергоспоживання та 37 % пов'язаних із ним викидів CO₂. У житловому секторі України теплові витрати перевищують середньоєвропейські показники у 2,0–2,5 рази, а втрати через огорожувальні конструкції становлять до 45–55 %, що підкреслює важливість застосування високоефективних теплоізоляційних технологій при реконструкції будівель. Одним із найбільш перспективних матеріалів є вакуумні ізоляційні панелі, здатні забезпечити теплопровідність 0,004 - 0,008 Вт/(м·К) та термічний опір 5 - 10 м²·К / Вт при товщині всього 20–25 мм.

На основі аналітичних моделей та чисельного FEM - моделювання встановлено, що ефективна теплопровідність VIP формується за рахунок сукупної дії твердофазного переносу тепла в пористому ядрі, газопереносу

при залишковому тиску, радіаційного теплообміну та периметрального теплового мосту. Найсуттєвішим механізмом є газовий перенос, чутливий до рівня вакууму: у режимі Кнудсена (нижче 10 мбар) молекулярна взаємодія послаблюється, що забезпечує унікально низькі значення λ_{gas} та формує головний внесок у мінімізацію λ_{eff} . Встановлено, що підвищення тиску у діапазоні від 1 до 100 мбар може збільшувати λ_{eff} у 2–4 рази, що підтверджує критичне значення стабільності вакууму протягом експлуатації. Радіаційний компонент істотно зменшується завдяки введенню опакіфікаторів та наноструктурованих матеріалів, тоді як крайові теплові містки, сформовані бар'єрною оболонкою, здатні підвищувати λ_{eff} на 15–30 %, роблячи їх одним із визначальних факторів практичної ефективності панелі.

У ході дослідження встановлено, що вакуумні ізоляційні панелі є одним із найбільш ефективних теплоізоляційних матеріалів сучасності, придатних для застосування в умовах обмеженої товщини огорожувальних конструкцій та реконструкції будівель. Сумарна ефективна теплопровідність формується складною динамікою фізичних механізмів, серед яких домінуючий вплив має газоперенос у режимі низького тиску. Чисельне моделювання підтвердило важливість контролю крайових теплових містків та оптимізації бар'єрної оболонки, оскільки саме ці фактори значною мірою визначають довговічність і стабільність теплотехнічних характеристик VIP. Використання таких панелей здатне суттєво зменшити тепловтрати будівель та зробити вагомий внесок у досягнення цілей енергоефективності

**ОСОБЛИВОСТІ СЕРТИФІКАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ З ВБУДОВАНИМИ
ПРИМІЩЕННЯМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Євгеній Антипов

Національний університет біоресурсів і природокористування України

На кінець грудня 2021 року в Україні налічувалося трохи більше ніж 21 тис. захисних споруд, частина з яких виявилася частково або повністю непридатною для використання. Для 42-мільйонної країни укриттів виявилось замало. На сьогодні ця кількість становить понад 60 560 укриттів, до яких входять 5200 сховищ, 14 тис. протирадіаційних укриттів, а також більше ніж 41 тис. найпростіших укриттів і споруд подвійного призначення. Але як проводити сертифікацію будівель у складі яких є приміщення цивільного захисту не зрозуміло.

Сертифікація енергетичної ефективності - вид енергетичного аудиту будівель, під час якого здійснюється аналіз використання енергії в будівлі, інформації про характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення їх рівня енергетичної ефективності, що враховують кліматичні умови, є технічно й економічно обґрунтованими [1-6].

Сертифікація енергетичної ефективності є обов'язковою для:

1) об'єктів будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту, крім об'єктів до яких не застосовуються мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель), що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, які визначаються відповідно до Закону України "Про регулювання містобудівної діяльності";

2) будівель, у яких мають намір здійснювати термомодернізацію та/або енергоефективні заходи, спрямовані на підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, для здійснення яких надається державна підтримка;

3) будівель державної власності, у яких розміщені органи виконавчої влади, що займають понад 250 квадратних метрів опалюваної площі та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2024 року;

4) будівель комунальної власності, у яких розміщені органи місцевого самоврядування, які займають понад 250 квадратних метрів опалюваної площі та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2025 року;

5) будівель комунальної власності з опалюваною площею понад 250 квадратних метрів, які часто відвідують громадяни та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2026 року.

Враховуючи широку мережу простих укріплень в Україні та їхнє високе завантаження під час війни, а також діючу класифікацію житлових та громадських будівель залежно від їх функціонального призначення і вимоги, вказані у [1-6], можна стверджувати, що сертифікація енергетичної ефективності громадських будівель з вбудованими приміщеннями цивільного захисту здійснюється в межах балансової приналежності та меж «температурних зон» будівлі, враховуючи особливості її конструктиву. Тобто, у нашому випадку, сертифікація енергетичної ефективності громадської будівлі з вбудованими приміщеннями цивільного захисту здійснюватиметься за [7], як для громадських будівель адміністративного призначення, офіси, або за окремими їх типами: будівлі готельні, будівлі закладів освіти, будівлі закладів дошкільної освіти, будівлі закладів охорони здоров'я та будівлі торговельні. При цьому, варто також враховувати режим експлуатації таких приміщень та особливості їх розміщення в конструктиві основної будівлі. Як правило – це підвальний або цокольний поверхи, а для

забезпечення підтримання оптимальних умов мікроклімату в приміщеннях яких використовують окремі системи опалення та вентиляції, які функціонують незалежно від основної будівлі. Тобто, у нашому випадку, враховуючи особливість конструктиву вбудованих приміщень цивільного захисту, їх кондиціоновану площу необхідно включати до опалювальної площі основної будівлі, а сертифікат енергетичної ефективності будівлі необхідно розробити на всю будівлю, разом з вбудованими приміщеннями цивільного захисту, оскільки вони конструктивно поєднані, хоч і мають окремі інженерні системи опалення та вентиляції, які працюють за різним температурним та часовим графіками. Останнє варто врахувати при поділі кондиціонованої площі на «температурні зони» будівлі при розрахунку енергопотреби та енергоспоживання об'єкту.

Перелік використаних джерел

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VII.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.12.2023 № 1416 «Про затвердження переліку будівель промислового та сільськогосподарського призначення, об'єктів енергетики, транспорту, зв'язку та оборони, складів, на які не поширюються мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель та які не підлягають сертифікації енергетичної ефективності».
3. Наказ Мінрегіону від 11.07.2018 № 170 «Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель».
4. Наказ Мінрегіону від 11.07.2018 № 172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката».
5. Наказ Мінрегіону від 06.10.2017 № 267 «Про визначення будівель, які часто відвідують громадяни».
6. Наказ Мінрегіону від 18.10.2018 № 276 «Про затвердження Порядку незалежного моніторингу енергетичних сертифікатів».
7. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Олена Шеліманова¹, Анатолій Колієнко²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

²Національний університет Полтавська політехніка імені Ю. Кондратюка

Метою роботи є аналіз існуючих методик визначення теплового навантаження будівель на опалення, як параметра ефективності в системі теплозабезпечення будівель.

Важко переоцінити значення величини розрахункового теплового навантаження на потреби опалення (РТНО) будівель для інженерних і економічних розрахунків при теплозабезпеченні будівель. Ця величина є базовою для визначення теплових навантажень і витрат теплоносія в теплових мережах систем централізованого тепlopостачання (ЦСТ); її використовують при обрахунках річних планованих обсягів вироблення і відпуску теплоти підприємств з тепlopостачання, при визначенні необхідної потужності джерел енергії, параметрів теплових вузлів вводу; при визначенні потужності генераторів енергії . при розрахунку тарифів в ЦСТ. Але незгодженість нормативної документації і зміни, котрі відбуваються в галузі тепlopостачання призвели до того, що на сьогодні відсутня загальноприйнята методика визначення цієї величини, мало того - відсутня навіть її усталена термінологія.

В різних документах наразі цей зрозумілий і широко застосований параметр, який характеризує величину теплового потоку на ввіді до будинку в ккал/год або кВт, або потужність автономного джерела енергії, яка необхідна для забезпечення потреби бідівлі на опалення при розрахунковій температурі холодного періоду року (середній температурі найбільш холодної п'ятиденки: $t_p = t_{5 \text{ дн.}}$). Для систем ЦТ цей тепловий потік, який повинен бути підведений до будинку на межі балансового розмежування навіть називають по різному. Це і *приєднане теплове навантаження* (КТМ 204 Україна 244-94, за яким визначали величину

РТНО до впровадження нових нормативів теплозахисту будівель); і *максимально можлива величина теплового потоку для опалення, або договірне теплове навантаження* (ПКМУ № 830 від 21 серпня 2019 р.), і *теплове навантаження об'єктів теплоспоживання* (ПКМУ № 869 від 1 червня 2011 року «Про забезпечення єдиного підходу до формування тарифів на комунальні послуги».

Різними є і рекомендовані методики для його визначення – від використання ще чинного КТМ 204, затвердженого ще в 1993 р., до посилань на типові або індивідуальні проекти, за якими було збудовано будівлі. В іншій нормативній документації (ПКМУ № 869) рекомендують *послугуватись результатами енергетичного аудиту будівлі.*; а в ДБН «*Опалення і вентиляція*» рекомендують скористатись ДСТУ EN 12831 «*Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження*» (системи опалення).

При цьому важливо відмітити, що поняття «теплове навантаження системи опалення» (ПТН) суттєво відрізняється від РТНО, бо відображає зовсім іншу потребу в теплоті, а саме – кількість теплоти, котрою *послугуються для розрахунку системи опалення і опалювальних приладів.* ПТН визначається за величиною втрат теплоти через огорожувальні конструкції будівлі та тепла, на нагрівання вентиляційного повітря. Різниця між РТНО і ПТО може становити до 20... 50% і є величиною, котра враховує втрати теплоти в самій будівлі а також переривчастість опалення, нічне зменшення температури в будівлі і пов'язану з ним потребу у короткотерміновому підвищенні потужності, безпеку постачання ттв ін.

В роботі досліджується питання про коректні способи визначення РТНО для систем теплозабезпечення від ЦСТ і формуванні річних планів вироблення і відпуску теплоти. Аналізуються ризики, котрі виникають у разі невірної визначення і відсутності коригування величини РТНО.

**ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ В ШЕЛТЕРАХ ДЛЯ
ТИМЧАСОВОГО РОЗМІЩЕННЯ ВПО**

Олена Шевченко, Надія Буяк, Дмитро Бірюков

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

Метою даної роботи є оцінювання рівня дотримання нормативних вимог мікроклімату та обґрунтування важливості забезпечення належних умов проживання (тепловий комфорт, якість повітря) для внутрішньо переміщених осіб (ВПО) у тимчасових шелтерах, особливо в умовах опалювального періоду, шляхом інструментального обстеження та енергоаудиту. Об'єктами дослідження є будівля гуртожитку в с. Стайки (Київська область) та частина будівлі амбулаторії в с. Кодаки (Київська область), що використовуються як шелтери. Дослідження включало виконання наступних етапів: спрощений енергоаудит будівель. Серія вимірювань параметрів мікроклімату у різні пори року; аналіз отриманих результатів вимірювання; підготовка висновків та рекомендацій. В ході дослідження виконано спрощений енергоаудит будівель з виконанням інструментальних вимірювань основних параметрів мікроклімату: внутрішня температура, відносна вологість, рівень CO₂. Обстеження зафіксувало, окрім недотримання температурних умов у більшості приміщень, наявність підвищеної вологи та плісняви на огорожувальних конструкціях (рис.1). Загалом аналіз внутрішньої температури в приміщеннях шелтерів показав наявність розбалансованості системи опалення, а також потребу в термомодернізації будівель з одночасним забезпеченням нормативного рівня повітрообміну шляхом використання рекуператорів теплоти витяжного повітря (рис.2). У всіх без винятку приміщеннях, зафіксовано перевищення рівня допустимої концентрації CO₂. У даному випадку низька якість повітря та показників теплового

комfortу обумовлені значним відхиленням температури повітря у приміщенні від нормативних значень, високим вмістом CO₂ (що обумовлено низькою кратністю повітрообміну) і як наслідок наявністю спор грибка плісняви в повітрі.

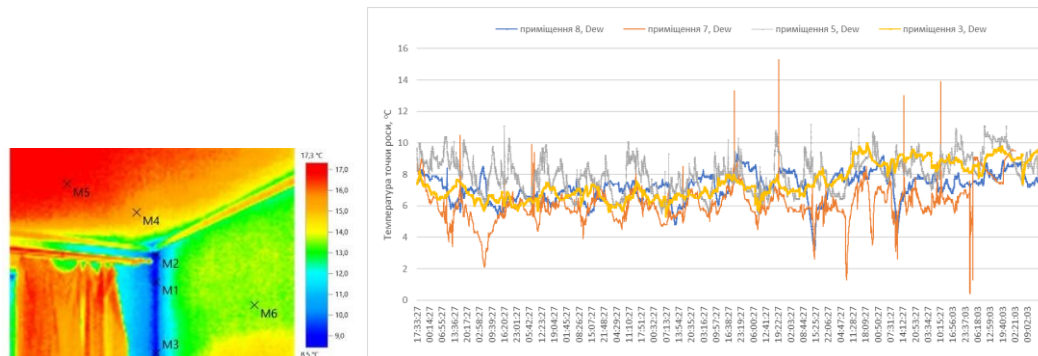


Рис.1. Температура точки роси у досліджуваних приміщеннях 3, 5, 7, 8

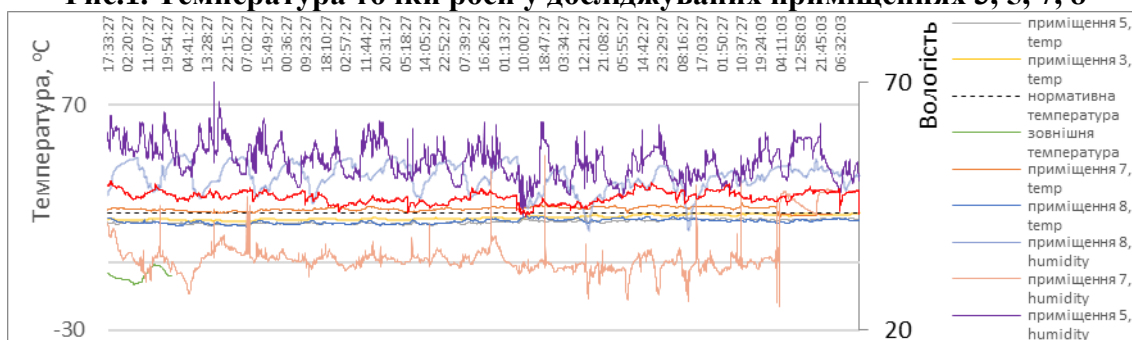


Рис. 2. Результати вимірювання температури повітря в досліджуваних приміщеннях

Згідно отриманих результатів, можна зробити висновок про те, що умови проживання в обох шелтерах не відповідають нормативним значенням. У якості рекомендацій доцільно: провести повну термомодернізацію для досягнення нормативного опору теплопередачі; усунути розбалансованість системи опалення; забезпечити нормативний рівень повітрообміну у приміщеннях шляхом використання рекуператорів теплоти витяжного повітря для підтримки якості повітря та запобігання утворенню плісняви.

Перелік використаних джерел

Дешко В.І., Яценко О.І., Шевченко О.М., Білоус І.Ю. (2024) Стан шелтерів для внутрішньоопереміщених та малозахищених верств населення з точки зору енергоефективності та забезпечення комфортних умов. Технології та інжиніринг. Випуск № 19 (2).

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ТА ДЖЕРЕЛ
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШВИДКОМОНТОВАНИХ БУДІВЕЛЬ**

Ірина Суходуб, Інна Білоус, Олександр Голубенко, Ганна Гетманчук

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

Метою даної публікації є оцінювання енергоефективності, мікрокліматичних параметрів та потенціалу автономності модульної пневматично-тентової будівлі з енергоблоком, шляхом енергетичного моделювання, аналізу теплотехнічних характеристик та дослідження різних комбінацій інженерних систем. Об'єктом дослідження є модульна споруда площею 28,8 м², що складається з пневматично підтримуваної тентової конструкції, інтегрованої з модульним «енергоблоком», який містить основні інженерні системи — кухню, ванну кімнату, механічний блок і сонячну електростанцію (рис. 1). Уся система спроектована для швидкого розгортання та збирання, що робить її придатною для тимчасового або мобільного використання. Для дослідження було побудовано модель в програмному середовищі DesignBuilder [1], яка відтворює геометрію та матеріали реальної конструкції.

Дослідження включало аналіз теплотехнічних параметрів огорожень, моделювання внутрішніх теплонадходжень та графіків експлуатації [2], оцінку роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування, моделювання енергоспоживання в різних конфігураціях опалення, аналіз внеску сонячних панелей і акумуляторних батарей. В ході дослідження виконано повний теплотехнічний аналіз огорожувальних конструкцій, який засвідчив високі тепловтрати через тентові стіни та застосування (U до 5 Вт/м²·К), суттєво кращі теплоізоляційні характеристики енергоблоку ($U \approx 0,24$ Вт/м²·К), а також різку нерівномірність термічного опору між різними частинами будівлі, що істотно впливає на ефективність роботи системи опалення.

Аналіз функціонування систем ОВК показав, що забезпечення теплового комфорту залежить від ефективності вентиляції з рекуперацією (60%), а також від трансмісійних втрат тентової частини. Встановлено, що навіть за рахунок рекуперації та теплонадходжень підтримання нормативних температур у холодний період вимагає значних витрат енергії.

Оцінка можливості автономної роботи показала, що фотоелектричний масив сумарною потужністю 3,66 кВт та дві акумуляторні батареї загальною ємністю 10,64 кВт·год забезпечили річну генерацію 3259,6 кВт·год, проте цього недостатньо для повної автономності через великі тепловтрати тентової частини в холодний період року. Порівняння трьох варіантів теплопостачання показало, що тепловий насос (ТН) забезпечує найнижче енергоспоживання, піч-камін — найбільший потенціал автономності, опалення лише повітряною системою опалення — найгіршу ефективність (рис. 2).

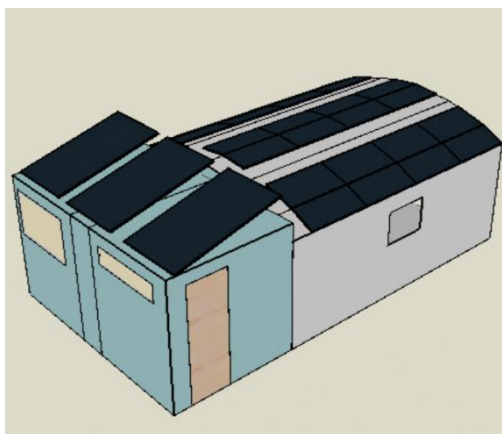


Рис. 1. Тривимірна візуалізація будівлі в програмі DesignBuilder



Рис. 2. Порівняння показників енергоспоживання

Згідно результатів, доцільно дослідити покращення теплоізоляції тентової оболонки, застосовувати ТН як основну систему опалення, збільшити ємність акумуляторів для підвищення автономності тощо.

Перелік використаних джерел

1. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/> (дата звернення: 17.11.2025).
2. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. На заміну ДСТУ Б А.2.2-12:2015 ; від 2023-03-01. Вид. Офіц. 2022.

УДК 620.91:697.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО-ВОЛОГІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГОРОДЖЕНЬ ШВИДКОМОНТОВАНИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОПОТРЕБУ

Ірина Суходуб, Інна Білоус, Анатолій Сапунов, Ганна Гетманчук

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

Метою даної роботи є оцінювання тепло-вологісних властивостей огорожувальних конструкцій швидкомонтованих будівель та визначення їх впливу на енергоспоживання в умовах різних кліматичних режимів. Актуальність дослідження обумовлена можливістю використання мобільних модулів для ВПО та військових, що дозволяють швидко розгорнути наметові містечка з дотриманням умов комфортності в них.

Об'єктом дослідження є пневмокаркасна палатка з основою розміром $2,5 \times 2,1$ м. Висота споруди варіюється від 1,7 м у найнижчій точці до 2,08 м у конику двосхилого даху. Для дослідження було побудовано модель в програмному середовищі DesignBuilder [1], яка відтворює геометрію та матеріали реальної конструкції: пневмокаркас діаметром 0,37 м, зовнішній тент з неопрену товщиною 1 мм, внутрішній поліестерний утеплювач 2 мм, двері, два вікна та три вентиляційні отвори. Корисний об'єм становить $6,5 \text{ м}^3$.

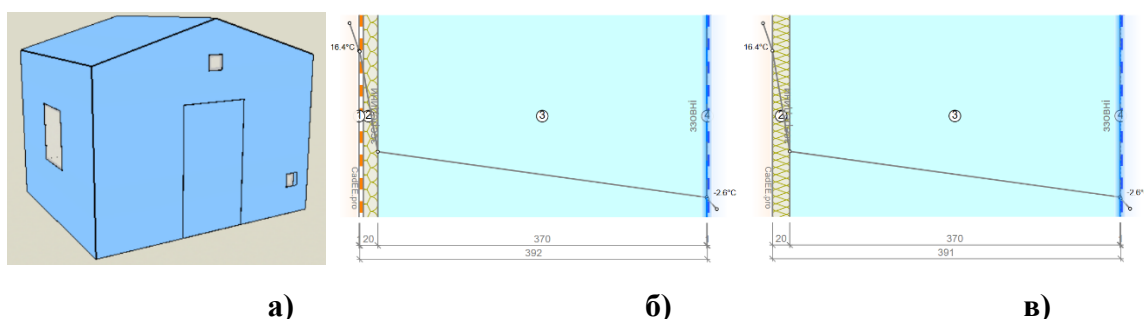


Рис.1. Пневмокаркасна швидкомонтована будівля:
а) 3D-модель, б) огородження будівлі без паробпр'єра; в) з паробар'єром

Дослідження енергопотреби проведені за рівнів інфільтрації $n=\{1; 1,5; 2\}$ для варіантів температур ґрунту $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ з використанням кліматичних даних Meteonorm8 для Києва, Одеси та Риги [2]. Оцінка річної потреби в опаленні й охолодженні за трьох режимів роботи систем опалення та вентиляції: 1) постійного (при $+20^{\circ}\text{C}$), 2) змінний при зниженні температури до $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ за відсутності людей; 3) з вимкнення інженерних систем з 10:00 до 14:00. Також досліджувалось енергопотреба палатки при зміні товщини теплоізоляційного шару стін, даху та дверей: 1) 2 мм синтепонове теплоізоляційний шар - базовий варіант, який відповідає фактичній конструкції; 2) 4 мм; 3) 20. Всі варіанти утеплення розглядались з та без застосування пароізоляції. Гігротермічний розрахунок виконувався в середовищі CADEE.pro [3]. Також досліджувались варіанти конопляного волокна як варіанту теплоізоляційного матеріалу.

Аналіз результатів виявив виразну залежність від якості теплоізоляції та вологонакопичення: максимальна кількість конденсованої вологи при 2 мм ізоляції сягає близько 48 кг/м^2 (січень), а при 20 мм зменшується більш ніж утричі. В даного типу будівель використання утеплювачів можливе лише за наявності гідробар'єру.

Аналіз енергопотреби на охолодження також показав суттєву залежність від теплоізоляції огорожувальних конструкцій та режиму роботи системи. Найвищі значення спостерігаються для базового варіанту теплоізоляції в умовах м. Одеса (близько $-464\text{ кВт}\cdot\text{год}$), тоді як найнижчі — у м. Рига (приблизно $-221\text{ кВт}\cdot\text{год}$). Перехід до теплоізоляції товщиною 20 мм зменшує потребу в охолодженні на 30–35%, а використання переривчастого режиму вентиляції забезпечує додаткове зниження на потреби охолодження до 40%.

Поєднання теплоізоляції 20 мм, застосування пароізоляції та переривчастих режимів роботи системи дозволяє скоротити потребу на опалення майже вдвічі — наприклад, у Києві від 2286 до 1110 $\text{кВт}\cdot\text{год}$.

На прикладі тестового зразка швидкомонтованої палатки з пневмокаркасом проведено дослідження тепло-вологісних режимів огорожень та енергетичних характеристик будівлі в цілому, що буде використано при дослідженні повнорозмірних палаток.

Перелік використаних джерел

1. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/> (дата звернення: 13.11.2025).
2. Meteonorm 8. URL: <https://meteonorm.com/> (дата звернення: 13.11.2025)
3. CADEE.pro. URL: <https://cadee.pro/> (дата звернення: 13.11.2025).

УДК 620.9.004.18

ВПЛИВ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ НА ЕКОНОМІЮ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ГРОМАДСЬКОЮ БУДІВЛЕЮ З ВБУДОВАНИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ УКРИТТЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Євгеній Антипов

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Однією з найважливіших вимог до сучасних будівель є рівень їх енергетичної ефективності [1], тобто мінімальних витрат енергії на підтримку теплового комфорту в приміщеннях, у нерозривному зв'язку з автоматичним регулюванням систем опалення [2]. Зазначене викликано, перш за все, розумінням та практичним підтвердженням суттєвої ролі автоматичного регулювання у зниженні теплоспоживання будівель та доведення його до нормованого значення [3]. Щоб виконати необхідні вимоги щодо забезпеченості внутрішніх параметрів мікроклімату приміщень [4] (таблиця Д.4), необхідно правильно спроектувати теплозахисні властивості зовнішніх огорожень, розрахувати теплову потужність системи опалення, відправним моментом в якому будуть розрахункові зовнішні умови [5]. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень залежать від їх функціонального призначення і санітарного гігієнічних вимог. Для більшості житлових і громадських будівель ці

умови приблизно однакові. Результати дослідження впливу теплової інерції приміщення наведено в статті [6], де врахування показника внутрішньої теплоємності будівлі, на прикладі навчально-адміністративного корпусу НУБіП України, дозволяє уникнути перевитрат енергії на рівні близько 10-12 %. У цьому напрямі, авторами Дешко В., Білоус І., Буяк Н., Голубенко О., Гурєєв М., досліджено зміну умов комфортності приміщень від інерційності зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі при роботі системи опалення в енергоощадних режимах [7], а також залежність умов комфортності громадських будівель з різним ступенем теплового захисту зовнішніх огорожувальних конструкцій в умовах роботи системи опалення споруди в черговому режимі [8], його вплив на динаміку енергопотреб. Крім того, авторами Есмаїлзаде А., Закерзаде М., Юсефі Кома А., також вводиться поняття контролю теплового комфорту будівлі [9].

Для оцінки забезпеченості заданих показників, була складена та охарактеризована модель теплового режиму будинку, як єдиної теплоенергетичної системи з урахуванням трьох її підсистем: моделі теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю (η_1), моделі теплоенергетичного впливу теплової інерції оболонки будівлі (η_2) та моделі теплоенергетичного впливу інженерних систем будівлі (η_3), введено коефіцієнт забезпеченості $K_{z(PD)}$ (project deviation), який показує відхилення згаданих показників від розрахункових умов та характеризує ступінь відмінності реалізованого рішення від оптимального і є показником теплоенергетичної ефективності проектного рішення у цілому. Наведено отриману економію теплової енергії при застосуванні різних варіантів автоматичного регулювання – для однотрубною системи з постійним гідравлічним режимом та окремо для однотрубною систем опалення зі змінним гідравлічним режимом при цьому кратність повітрообміну змінювалась у межах від 0,3 до 1 год⁻¹. Встановлено, що зі збільшенням величини внутрішньої теплоємності будівлі, менш відчутним стає

зменшення питомого споживання енергії будівлею ЗВО, порівняно із менш масивними будівлями. Так, для будівель із показником внутрішньої теплоємності будівлі $C = 110 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, питомий показник зниження енергоспоживання будівлею ЗВО становить 0,8 тис. кВт·год./м², тоді як для будівель із показником внутрішньої теплоємності будівлі $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ та $C = 25 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ - питоме зниження енергоспоживання будівлею склало 1,0 тис. кВт·год./м² та 1,1 тис. кВт·год./м² в рік відповідно. Показано, що рівень економії спожитої енергії після регулювання системи опалення для будівлі дуже легкої конструкції (показник внутрішньої теплоємності будівлі $C = 25 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) склав 2%, для будівель важкої та дуже важкої конструкцій (показник внутрішньої теплоємності будівлі $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ та $C = 110 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ відповідно) – 2,2%.

Перелік використаних джерел

1. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 261 «Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 17 грудня 2020 р. за № 1254/35537.
2. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT).
3. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540.
4. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Kyiv: Ministry of the Region of Ukraine. 2011. 130 p.
6. Аналіз впливу внутрішньої теплоємності будівлі ЗВО та погодозалежного регулювання ІТП на ефективність роботи системи опалення в черговому режимі / Є. О. Антипов, А. В. Міщенко, О. В. Шеліманова, С. Є. Тарасенко // Енергетика і автоматика, №5, 2021. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya.2021.05.045>.
7. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В. Вплив теплоінерційних особливостей огорожень на умови комфортності при впровадженні енергоощадних режимів опалення в будівлях. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура, 2019. Т.3. випуск 149. С. 44–50.

8. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотребити та умови комфортності будівель з різним рівнем теплового захисту. Наукові вісті НТУУ КПІ, 2019. №4. С. 7–16.
9. Esmaeilzadeh A., Zakerzadeh M. R., & Yousefi Koma A. The Comparison of Some Advanced Control Methods for Energy Optimization and Comfort Management in Buildings, Sustainable Cities and Society, 2018. V. 43, P. 601–623. doi:10.1016/j.scs.2018.08.038.

УДК 620.9.004.18

ОБГРУНТУВАННЯ ВАЖЛИВОСТІ ОБЛАШТУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАТОРАМИ ТЕПЛА У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Євгеній Антипов

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Багато років громадська свідомість відкидала можливість ведення повномасштабної війни на всій території України з відповідними загрозами для життя цивільного населення, тому будівництво житлових об'єктів не передбачало проектування та зведення в них повноцінних бомбосховищ та протирадіаційних укриттів. Під час воєнних дій на допомогу їм прийшли так звані споруди подвійного призначення та прості укриття. До перших належать інженерні споруди виробничого, громадського, комунально-побутового та транспортного призначення, які у воєнний час можуть використовуватись для захисту населення. До цієї категорії входять паркінги, підземні переходи, станції метрополітену та ін. До простих укриттів можна віднести різні фортифікаційні споруди, підвальні приміщення й цокольні поверхи в житлових будинках та адміністративних будівлях. Саме такі непрофільні укриття взяли на себе основне навантаження щодо захисту людей від прямих попадань снарядів стрілецької зброї, осколків та вибухової хвилі. Особливістю приміщень категорії простих укриттів є те, що вони не призначені для тимчасового перебування в них великої кількості людей. Наприклад, у підвалах передбачено мінімальну природну вентиляцію, якої вистачає лише на підтримання приміщень у належному санітарному стані. Тобто підвали

вентилюються рівно настільки, щоб у них не накопичувалася волога і внаслідок цього не поширювався грибок. Забезпечити необхідний повітрообмін у разі перебування в підвалі десятків і сотень людей природна вентиляція не в змозі. Також вона не передбачає фільтрацію повітря, яке надходить з вулиці, від пилу та інших забруднювальних речовин, що вкрай важливо у разі обстрілів та обвалення будівельних конструкцій.

За весь період з моменту початку повномасштабного вторгнення в Україну російською федерацією, в Україні пролунало вже більше 40 тисяч повітряних тривог, з середньою тривалістю близько однієї години. Максимальна тривалість повітряної тривоги в Україні становить 18 годин 43 хвилини. Відтак, громадянам доводиться проводити в укриттях значну кількість часу, що свідчить про важливість питання умов перебування громадян в таких укриттях.

Однією з основних проблем щодо забезпечення прийнятних умов перебування громадян в укриттях є недостатня вентиляція цих приміщень, унаслідок чого, в укриттях швидко зростає вміст вуглекислого газу, накопичується волога, що викликає у людей слабкість, сонливість, головний біль, задуху і може спровокувати розвиток багатьох захворювань. Відповідно до п. 11.2.1.1 [1] Системи вентиляції, кондиціонування повітря та опалення сховищ та споруд подвійного призначення мають забезпечувати безперервне перебування у них людей, що підлягають укриттю впродовж 48 годин безперервно, зокрема для сховищ з двома режимами вентиляції – впродовж 12 годин безперервно у режимі фільтровентиляції, а для сховищ з третім режимом вентиляції – впродовж 6 годин безперервно у режимі регенерації повітря. У роботах [2-8] приділено увагу вибору та розрахунку технічних засобів, зокрема для здійснення повітрообміну приміщень за допомогою механічних систем вентиляції з електричним приводом та рекуперацією теплоти. Вимога п. 11.2.1.7 [1] передбачає, що вентиляція сховищ та споруд подвійного

призначення здійснюється з використанням систем вентиляції з механічним спонуканням та/або із застосуванням електроручних вентиляторів. В обов'язковому порядку має передбачатися очищення припливного повітря від твердих часток та пилу шляхом встановлення фільтрів грубого очищення повітря. Для запобігання мимовільному перетіканню повітря при вимкненому обладнанні може використовуватися клапан з електроприводом на припливній системі та зворотний клапан – на витяжній. Однак, такі системи не мають достатнього ступеня автономності та автоматизації роботою установки для забезпечення допустимих умов мікроклімату приміщень захисних споруд, які визначені таблицею 11.2 ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1].

У зв'язку з цим, питання напрацювання рішень щодо використання в укриттях механічних систем вентиляції з попередньою підготовкою повітря та забезпеченням нормованих параметрів мікроклімату приміщень захисних споруд цивільного захисту є актуальним та потребує вирішення.

Перелік джерел посилань

1. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 10.08.2023 року № 702. Набрання чинності з 2023-11-01.
2. Piir A E, et al. (2018). Thermal calculation of plate recuperators for ventilation systems Proceedings of BGTU. Series 1: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2, pp. 236-243.
3. Samarin O. D. (2021). Study of the dependence of the temperature efficiency of plate recuperators on the size of the ventilating unit. SOK Journal, 2, pp. 71-73.
4. Ващишак І. Р., Ващишак С. П. Рекуператор на пульсаційних теплових трубках з мікропроцесорним управлінням. Вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 5. С. 107–110.
5. Valchev, S. and Mihaylov, I. (2020). Analysis of energy efficiency of air handling unit with integrated air to air heat exchanger in heating mode. E3S Web of Conferences, 207, 01002
6. Дешко В.І. Особливості процесів тепломасообміну рекуператора «повітря-повітря» з паропроnikною стінкою в опалювальний період / В.І. Дешко, І.О. Суходуб // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2012. – №1. – С. 19–26.
7. Vdovichev A. A. (2022). Numerical study of heat transfer and aerodynamics in an open-type crossflow heat exchanger. Bulletin of the Eurasian Science, 14, 2 (Electronic Materials) <https://esj.today/PDF/21ECVN222.pdf>.
8. Укриття потребують систем вентиляції. [Електронний ресурс]. Режим доступу - <https://ukrblog.vents.ua/articles/ukryttya-potrebuyut-system-ventylyatsiji.htm>.

**ПОЄДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ
СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА
БАЛАНСУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ**

Вадим Литвин

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Збільшення потреби в обчислювальних потужностях, зокрема для забезпечення функціонування алгоритмів штучного інтелекту потребує суттєвого нарощування виробництва електричної енергії [1], а також будівництво нових електричних мереж. За інформацією Міжнародного енергетичного агентства потреба в енергії може подвоїтися до 2030. Якщо розглядати сервери не лише як частину інформаційної але і як частину енергетичної системи, то можна використати їх особливості для вирішення ряду задач енергетичних систем, а саме: балансування навантаження енергетичних мереж [2, 3] за рахунок розподілу задач з обчислення між різними енергосистемами або їх частинами, використання скидної теплоти в теплоенергетичних системах, завантаження відновлювальних джерел енергії в періоди пікової генерації. Якщо взяти до уваги, що передача інформації між центрами обробки даних є на декілька порядків менш енергозатратною ніж передача енергії для обробки такої інформації - то за наявності надлишкових обчислювальних потужностей матимемо можливість передавати не енергетичні потоки (з відповідними втратами в мережі та необхідністю збільшувати пропускну здатність ліній електропередач), а еквівалентну такій потужності кількість інформації.

Зважаючи на те, що побічним продуктом роботи обчислювальних систем є теплова енергія, можна розрахувати еквівалент між обчислювальною потужністю дата центрів та тепловою та електричною потужністю, що дозволить моделювати енергетично-обчислювальні системи. З огляду на можливість виконання розподілених обчислень,

розміщення порівняно невеликих дата-центрів в будівлях, що споживають теплову та електричну енергію, а також можуть мати надлишок власної генерації (наприклад сонячні електростанції) дозволяє знизити сумарні затрати як на енергозабезпечення об'єктів так і на виконання обчислень (з огляду на те, що вартість електричної енергії має найбільшу долю в експлуатаційних витратах дата-центрів).

Перелік використаних джерел

1. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai>
2. Rajasekar R, Mohammed Ansar Ali M. A. Energy Balancing in Data Centre Networks through Green Cloud Computing. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) Volume 2 Issue 3, March 2014
3. Yannick Carlinet, Nancy Perrot. Energy-efficient load balancing in a SDN-based Data-Center network [2016 17th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium \(Networks\)](https://ieeexplore.ieee.org/document/7751166) <https://ieeexplore.ieee.org/document/7751166>

УДК 621.548

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРО-І ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ І СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

Валерій Горобець, Юрій Горобець

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Основною метою представленої роботи є аналіз сучасних когенераційних систем (КГУ) малої та середньої потужності, а також розробка конструктивних рішень для посилення їхньої загальної енергетичної ефективності шляхом вдосконалення теплообмінного та електроенергетичного обладнання.

Необхідність забезпечення стабільної енергонезалежності та зростаючі витрати на паливо надають пріоритет впровадженню технологій спільного виробництва теплової і електричної енергії (когенерація).

Завдяки КГУ, коефіцієнт використання первинного палива суттєво перевищує показники роздільного виробництва двох видів енергії.

Когенераційні установки середньої та малої потужності (що зазвичай базуються на газопоршневих або газотурбінних двигунах) продукують електрику, тоді як теплота, що утворюється як вторинний продукт (від вихлопних газів для нагріву водяного теплоносія), направляється на потреби теплопостачання.

Для оцінки ефективності КГУ використовується метод енергетичного балансу. Загальна ($\eta_{\text{заг}}$) ефективність КГУ визначається як сума електричної ($\eta_{\text{електр}}$) та теплової ефективності (додати значок теплової ефективності), що є ключовою характеристикою когенераційної установки:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{електр}} + \eta_{\text{тепло}} = \frac{W_{\text{електр}} + Q_{\text{теплова}}}{Q_{\text{палива}}} \times 100\%$$

де $W_{\text{електр}}$ — кількість електроенергії виробленої КГУ, $Q_{\text{теп}}$ — кількість теплової енергії, яка отримана при охолодженні продуктів згоряння газопоршневих або газотурбінних двигунів, а $Q_{\text{палива}}$ — кількість енергії, яка утворюється при спалюванні палива.

Теплова ефективність КГУ визначається виходячи з кількості теплоти, переданої водяному теплоносію $Q_{\text{теп}}$ і теплоти, що утворюється при спалюванні палива $Q_{\text{палива}}$:

$$\eta_{\text{тепло}} = \frac{Q_{\text{теплова}}}{Q_{\text{палива}}} \times 100\%$$

При розробці когенераційної установки на базі двигуна внутрішнього згоряння запропоновано нову конструкцію теплообмінного апарату. Розроблена методика теплового і гідравлічного розрахунку теплообмінника-утилізатора нової конструкції. Для розрахунку отриманої в ньому кількості теплоти використовується рівняння

$$Q_{\text{теплова}} = K \cdot A \cdot \Delta T_{\text{сер.лог}}$$

де K - коефіцієнта теплопередачі,

A – площа теплообмінної поверхні утилізатора теплоти продуктів згоряння, середньологарифмічний перепад температур між гарячим і холодним теплоносієм.

Проведені дослідження показують, що використанні теплообмінного апарата нової конструкції його розміри в 1,5-2 рази менші, а маса на 15-20% знижується в порівнянні з відомими конструкціями теплообмінників-утилізаторів. Крім того, аеродинамічні втрати в теплообміннику по газовому тракту суттєво менші, що покращує роботу двигуна внутрішнього згоряння, забезпечує його роботу в номінальному режимі та збільшує кількість виробленої електричної енергії.

Виконані дослідження підтверджують, що модернізація теплообмінних апаратів є ефективним методом підвищення загальної енергетичної продуктивності КГУ малої та середньої потужності. Такий підхід сприяє більш глибокій рекуперації теплоти продуктів згоряння, зниженню гідравлічних втрат в теплообмінному обладнанні, що в кінцевому результаті призводить до зниження питомих витрат палива на виробництво одиниці теплової і електричної енергії.

Перелік використаних джерел

1. Ковальський О. В., Мельник В. О. (2021). Аналіз шляхів підвищення ефективності когенераційних установок на базі газопоршневих двигунів. Вісник НТУУ "КПІ". № 4. С. 45–51.
2. Петренко І. С. (2023). Дослідження теплообмінних апаратів для утилізації низькопотенційного тепла в когенераційних системах. Енергетика: економіка, технології, екологія. 10(2). С. 112–118.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МІКРО-КГУ НА БАЗІ ДВИГУНА СТІРЛІНГА ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ З НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ

Володимир Павленко, Євген Нікітін

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Мікро-когенераційні установки (мікро-КГУ) на базі двигунів Стірлінга дозволяють досягти високого загального ККД за рахунок одночасного виробництва електричної та теплової енергії та демонструють гнучкість у використанні палива, включаючи природний газ та біомасу, що відповідає сучасним тенденціям енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії [1]. Це робить їх ідеальними кандидатами для децентралізації енергопостачання локальних об'єктів. Проте, з точки зору динамічної роботи електромеханічного комплексу, основною технічною перешкодою для широкого впровадження Стірлінг-генераторів є їхня значна теплова інерційність. На відміну від двигунів внутрішнього згоряння, де зміна потужності відбувається майже миттєво, робочий цикл Стірлінга базується на повільному процесі теплообміну. Це призводить до істотної затримки між зміною електричного навантаження в мережі локального об'єкта та відповідною зміною механічної потужності, яку виробляє двигун. Під час різкого підвищення або скидання електричного навантаження виникають неприпустимі відхилення частоти та напруги (перехідні процеси), що порушує вимоги до якості електроенергії та може призвести до спрацювання захисту або пошкодження чутливого обладнання [2]. Особливо гостро ця проблема стоїть в умовах автономної роботи, коли КГУ є єдиним джерелом живлення.

Таким чином, забезпечення надійності роботи мікро-КГУ вимагає активного управління перехідними режимами. Ключовим рішенням для компенсації теплової інерційності двигуна Стірлінга є інтеграція системи накопичення електричної енергії (НЕЕ). Саме тому, для обґрунтування

технічного рішення, критично важливим є динамічне математичне моделювання електромеханічного комплексу в середовищі САПР. Моделювання дозволяє кількісно оцінити величину енергетичного дисбалансу, що виникає в перші мілісекунди, і, відповідно, обґрунтувати необхідну потужність та ємність системи НЕЕ.

Інверторний комплекс НЕЕ має бути налаштований на пріоритетну роботу в режимі регулювання напруги та частоти, а не лише як джерело постійної потужності. Це забезпечує надійність навіть при роботі з гнучкими джерелами тепла (твердопаливними котлами). НЕС, що складається, як правило, з літій-іонних або літій-залізо-фосфатних (LiFePo_4) акумуляторів, підключених до мережі за допомогою інвертора, виконує функцію динамічного буфера. Її основне завдання – миттєво збалансовувати енергетичний дисбаланс у локальній мережі. У разі зростання електричного навантаження, НЕЕ моментально подає потужність, заповнюючи тимчасовий дефіцит, поки система автоматичного керування (САК) не скоригує тепловий потік двигуна Стірлінга. І навпаки, при різкому скиданні навантаження, НЕЕ поглинає надлишкову потужність, запобігаючи неконтрольованому зростанню частоти. Крім динамічної компенсації, НЕЕ та її інверторний комплекс відіграють вирішальну роль у підтримці якості електроенергії, зокрема у зниженні коефіцієнта гармонічних спотворень. САК НЕЕ повинна бути пріоритетно налаштована на забезпечення стабільності частоти та напруги в локальній мережі, а вже потім – на оптимізацію власних режимів заряду/розряду. Таким чином, інтеграція накопичувачів енергії є ключовим інженерним рішенням для подолання вродженого недоліку мікро-КГУ Стірлінга. Практична значущість полягає у розробці інженерно обґрунтованих рекомендацій щодо проєктування устаткування, яке підвищує загальну надійність системи, знижує експлуатаційні ризики та покращує економічні показники.

Перелік використаних джерел

1. Nikitin, Y. Combined energy production systems with Stirling engines: Analysis of global experience and local prospects. *Technologies and Engineering* (2025), 26(3), 66–76.
2. R. Singh and M. Kirar, "Transient stability analysis and improvement in microgrid," 2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), Bhopal, India (2016), 239-245.

УДК 621.311.25;

ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПІД РІЗНИМ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Леонід Червінський, Олександр Макода

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У агропромисловому виробництві важливим аспектом є створення оптимальних умов для розвитку рослин, що включає використання інноваційних технологій для покращення освітлення та управління мікрокліматом. Традиційні методи освітлення часто не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що створює необхідність для пошуку нових рішень. Одним із таких рішень є використання електричного поля високої напруги в поєднанні з LED-освітленням.

Дослідження проводились за допомогою інтегрованої установки, що включала генератори високої напруги для створення електричного поля та світлодіодні лампи для точного регулювання спектру та інтенсивності світла. За допомогою автоматизованої системи управління вимірювались основні параметри: інтенсивність світла, фотосинтетична активність, ріст рослин, а також споживання електроенергії.

Дослідження показали, що застосування електричного поля високої напруги в поєднанні з різними спектрами оптичного випромінювання значно покращує фотосинтетичну активність рослин. Однак, найбільший

ефект спостерігався при застосуванні червоного та синього спектрів світла, що стимулюють відповідно процеси цвітіння та вегетативного росту.

Використання електричних полів та LED-освітлення дозволяє оптимізувати умови для розвитку рослин в теплицях. Різні етапи розвитку рослин вимагають різних спектрів світла, що має велике значення для максимізації ефективності фотосинтезу. Впровадження даної технології дозволяє значно знизити енергоспоживання та підвищити врожайність. Використання високої напруги і точного налаштування спектра світла сприяє сталому розвитку агропромислового виробництва.

Перелік використаних джерел

1. Кирилюк, А. І., & Сидоренко, С. С. (2017). Енергоефективність світлодіодних ламп у системах освітлення теплиць. Науковий журнал "Енергоефективність". <https://www.energyjournal.ua>
2. Коваленко, І. В., & Чернявський, О. І. (2019). Оптимізація світлових умов для рослин в закритих приміщеннях. Сучасні проблеми аграрної науки. <https://www.agrovesti.com>
3. Мельник, В. І., & Ткаченко, В. П. (2020). Використання світлодіодного освітлення для покращення фотосинтетичних процесів у теплицях. Агротехніка та енергозбереження в аграрному секторі. <https://www.agrartech.com.ua>
4. Sharma, R., & Chandra, S. (2020). Lighting and Plant Growth: Spectral Effects on Photosynthesis. Agricultural and Environmental Science Journal.
5. Chen, L. (2020). Effects of UV and Visible Light on Plant Physiology and Growth. Journal of Agricultural Science and Technology, 10(3), 456-462.

ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ

Котов Б.І.¹, Калініченко Р.А.²

¹Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

²ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

Зростання потужностей сонячних електростанцій стимулює розвиток та широке застосування електротеплотехнологій у сільськогосподарському виробництві і зокрема в процесах післязбиральної обробки та переробки рослинної продукції. Враховуючи, що найбільші перевиробництва електроенергії сонячної генерації припадають на літній період коли потреба господарств в енергії для післязбиральної обробки та переробки урожаю рослинної продукції (зерна, кормових трав, фруктів та інших культур, які потребують консервування тепловою обробкою) в господарствах максимальна, застосування електрофізичних методів обробки цілком оправдано, як технологічних так і енергетичних позицій.

Основні, найбільш енергоємні процеси пов'язані із зневодненням рослинної сировини – тобто сушінням. Радикальним способом зменшення витрат енергії на сушіння є підведення енергії до матеріалу в кількості достатньої для випаровування вологи та видалення її із робочого простору сушарки.

Адресний вплив енергії на вологу в матеріалі можна забезпечити електромагнітним випромінюванням: мікрохвильовий (НВЧ) та ІЧ-нагрів матеріалу [1]. При цьому енергія електромагнітного поля поглинається безпосередньо вологою і від неї передається матеріалу (сухій частині), а не навпаки, як при конвективному та кондуктивному сушінні, це забезпечує інтенсифікацію процесу та суттєве зниження енергозатрат на процес [2].

Застосування для підведення енергії до сушильного матеріалу електромагнітних полів НВЧ та ІЧ-діапазону (довжина хвилі) дозволяє забезпечити гнучкі режими керування процесом і створювати оптимальні умови перебігу процесів сушіння і термообробки рослинної продукції.

Перспективною є технологія сушіння з комбінованим, зокрема переміжним НВЧ-нагрівом та ІЧ-опроміненням матеріалу, що забезпечує такий розподіл температури в об'ємі матеріалу, щоб волога інтенсивно переміщувалася до поверхні і там випаровувалася. Кількість теплоносія при цьому найменш-достатня для поглинання і виносу поверхневої вологи.

На основі аналізу диференціальних рівнянь взаємного тепло- і масопереносу сформульовані та ідентифіковано (за даними прямих експериментів математичні моделі кінетики зневоднення та нагріву тіл канонічної форми (куля, циліндр, пластина) [3].

На основі дослідження математичних моделей визначено вплив режиму підведення енергії на кінетику сушіння та обґрунтовано способи керування процесом сушіння.

Перелік використаних джерел

1. Бурдо О.Г. Пищевые наноэнерготехнологии: монографія / Бурдо О. Г. - Херсон : Вид. Гринь Д.С., 2013. - 294 с.
2. Котов Б.І. Математичне моделювання та ідентифікація тепломасопереносу в рослинному дисперсному матеріалі при сушінні і нагріванні електромагнітним полем надвисокої частоти /Б.І.Котов, В.М.Бандура, Р.А.Калініченко // Енергетика та автоматика. –2018.–№6 – С.33–50.
3. Калініченко Р.А. Моделювання розвитку температурних полів зернівки в процесах термообробки зерна ІЧ-випромінюванням / Калініченко Р.А. // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. – 2015. – Вип. 101.Т.2. –С.221-227

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛІННЯ

В'ячеслав Погрібний, Станіслав Борода, Андрій Ситий

Прилуцький технічний фаховий коледж

Сучасні теплоенергетичні установки потребують підвищення ефективності, економії енергоресурсів та скорочення впливу на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямів розвитку є енергетичний моніторинг та оптимізація роботи систем теплопостачання нового покоління, що забезпечує стабільну роботу обладнання, підвищує надійність теплових мереж і зменшує експлуатаційні витрати.

Енергетичний моніторинг передбачає постійний контроль температурних режимів, тиску, витрат палива та електроенергії, а також стану ключових елементів установки: котлів, насосів, теплообмінників та систем автоматизації. Використання сучасних датчиків, контролерів і програмного забезпечення дозволяє отримувати оперативну інформацію про роботу системи, своєчасно виявляти неполадки та запобігати аваріям, що значно підвищує безпеку та ефективність експлуатації.

Оптимізація роботи включає впровадження автоматизованих систем управління (АСУ) та інтелектуальних алгоритмів регулювання, які враховують зовнішні погодні умови, поточне навантаження мережі та особливості споживання. Завдяки цьому забезпечується підвищення ККД обладнання, зменшення теплових втрат та раціональне використання енергоресурсів, у тому числі інтегрованих відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та біоенергія.

Особливе значення має систематизація та аналіз даних енергетичного моніторингу, що дозволяє прогнозувати споживання енергії, планувати обслуговування і модернізацію обладнання. Використання дистанційних систем контролю дає змогу віддалено керувати роботою декількох

об'єктів, оптимізувати режим роботи котелень, насосних станцій та теплообмінників, а також швидко реагувати на зміни навантаження.

Впровадження енергетичного моніторингу та оптимізації роботи теплоенергетичних установок дозволяє економити до 15–25 % палива та електроенергії, знижувати викиди CO₂ та інших шкідливих речовин, підвищувати надійність і стійкість теплових систем, а також сприяє розвитку сучасної енергоефективної теплоенергетики в Україні.

Отже, енергетичний моніторинг та оптимізація роботи систем нового покоління є ключовими інструментами для підвищення ефективності теплопостачання, скорочення витрат енергоресурсів та забезпечення сталого розвитку енергетичного сектору. Використання сучасних технологій моніторингу, автоматизації та аналітики створює передумови для формування сучасної, економічно ефективної та екологічно безпечної моделі теплоенергетики України.

Перелік використаних джерел:

1. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання: підручник. – Київ: Компрінт, 2021. – 497 с.
2. Кулик М. М., Гнідий М. В. Альтернативні джерела енергії: підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 368 с.
3. Гелетука Г. Г., Желєзна Т. А. Потенціал розвитку біоенергетики та енергоефективності в Україні. – Київ: Біоенергетична асоціація України, 2022. – 76 с.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

В'ячеслав Погрібний, Олег Івахненко, Яна Кириченко

Прилуцький технічний фаховий коледж

Сучасна енергетика України потребує впровадження гібридних систем з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які поєднують сонячну, вітрову, біоенергію та традиційні джерела для забезпечення стабільного теплопостачання та електропостачання. Одним із ключових елементів таких систем є автоматизовані системи управління (АСУ), що забезпечують оптимальну роботу обладнання, контроль енергетичних потоків, підвищення енергоефективності та економію енергоресурсів.

Автоматизовані системи управління дозволяють моніторити стан усіх компонентів гібридної системи: генераторів, акумуляторів, інверторів, теплових насосів та котлів. Вони забезпечують оперативне регулювання режимів роботи, що підтримує стабільну напругу та температуру в мережі, скорочує втрати енергії та забезпечує надійне теплопостачання для споживачів різних категорій.

Впровадження АСУ дозволяє оптимально використовувати відновлювані джерела енергії відповідно до змінних погодних умов та реального навантаження. Системи можуть автоматично балансувати виробництво та споживання енергії, перенаправляти надлишок у накопичувачі або підключати резервні джерела. Це дозволяє підвищити ефективність використання ВДЕ, скоротити витрати палива та забезпечити безперервність енергопостачання навіть у пікові години навантаження.

Особливу увагу приділено інтелектуальним алгоритмам управління, які використовують історичні дані та прогнози виробництва і споживання енергії. Це дозволяє планувати роботу обладнання, прогнозувати пікові навантаження, мінімізувати перевантаження та підвищити надійність

системи. Крім того, АСУ забезпечують дистанційний моніторинг та управління кількома об'єктами одночасно, що створює передумови для інтеграції регіональних енергетичних систем і формування енергонезалежних громад.

Важливим аспектом є аналіз даних енергетичного моніторингу, який дозволяє визначати ефективність роботи кожного компонента системи, вчасно планувати модернізацію та технічне обслуговування, а також приймати стратегічні рішення щодо розвитку енергосистеми.

Отже, розробка та впровадження автоматизованих систем управління для гібридних енергетичних систем є ключовим напрямом підвищення енергоефективності та стабільності теплопостачання і електропостачання. Такі системи дозволяють інтегрувати різні джерела енергії, оптимізувати використання ресурсів, скоротити витрати та забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору України, сприяючи формуванню сучасної, надійної та екологічно безпечної моделі енергопостачання.

Перелік використаних джерел:

1. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання: підручник. – Київ: Компрінт, 2021. – 497 с.
2. Кулик М. М., Гнідий М. В. Альтернативні джерела енергії: підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 368 с.
3. Гелетука Г. Г., Желєзна Т. А. Потенціал розвитку біоенергетики та енергоефективності в Україні. – Київ: Біоенергетична асоціація України, 2022. – 76 с.

ВІДНОВЛЮВАНІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 633.1; 634.1

ПРОБЛЕМИ КОНВЕРСІЇ ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВА

Олександр Ободович

Інститут технічної теплофізики НАН України

Лігноцелюлозна сировина є відновлювальним джерелом для виробництва біопалива у вигляді біоетанолу та лігніну [1]. Вона може бути альтернативою викопному паливу. Виробництво біоетанолу з лігноцелюлозної сировини в порівнянні з традиційною крохмалевмісною сировиною має як низку переваг, так і низку недоліків. Головною перевагою є доступність та дешевизна сировини, що зазвичай є відходами сільськогосподарської або лісної промисловості. Основним недоліком цього виробництва є висока собівартість біоетанолу, яка обумовлена, в першу чергу, особливостями технології конверсії целюлози в цукри, що зброджуються. Одним з етапів конверсії рослинної сировини є процес делігніфікації, тобто відділення лігніну та геміцелюлоз від лігноцелюлозного комплексу [2].

Метою роботи було провести аналіз існуючих способів переробки лігноцелюлозовмісної сировини в паливний біоетанол та лігнін. Виявити переваги та недоліки. Запропонувати нове тепломасообмінне обладнання для оптимізації процесу конверсії (попередньої підготовки) лігноцелюлозної сировини методом ДІВЕ.

В результаті виконання дослідження розроблено апаратурно-технологічну схему стадії конверсії (попередньої підготовки) з використанням роторно-пульсаційного апарата (рис.1).

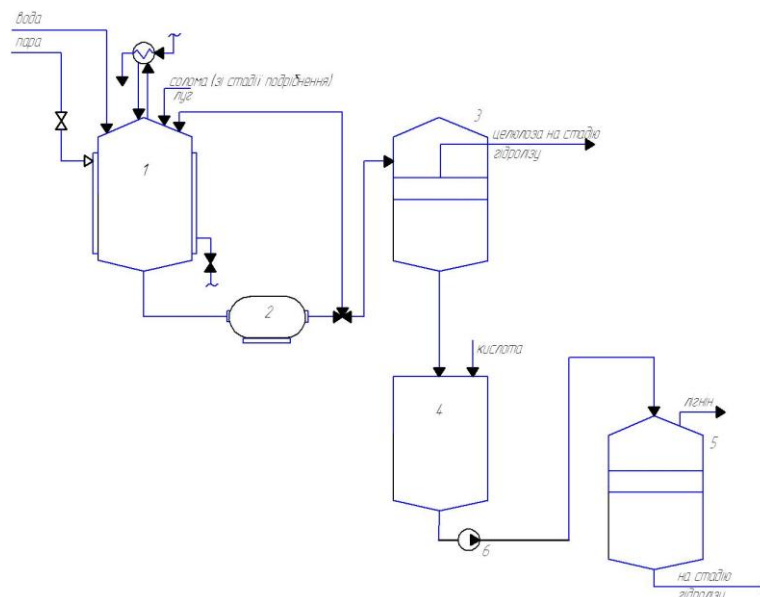


Рис. 1 Апаратурно-технологічна схема стадії конверсії (попередньої підготовки) з використанням роторно-пульсаційного апарата:

1 - приймальна ємність; 2 – роторно-пульсаційний апарат; 3,5- фільтр; 4 – проміжна ємність; 6 – насос.

Висновки

- біопаливо з лігноцелюлозної сировини у вигляді етанолу та лігніну є альтернативою викопним вуглеводням;
- наразі переробка лігноцелюлозної сировини в біопаливо здійснюється повільними темпами з причини великих енерговитрат, складного технологічного обладнання та екологічних питань;
- найбільш енерговитратним та технологічно складним є процес конверсії (попередньої підготовки) лігноцелюлозної сировини, а саме відділення лігніну та гемцелюлози від целюлози;
- для рішення цієї задачі розроблено тепломасообмінну дослідно-промислову установку, яка працює за принципом ДІВЕ.

Перелік використаних джерел

1. Limayem A., Ricke S. C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012. 38(4). 449-467.
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.03.002>
2. Singh R., Shukla A., Tiwari S., Srivastava M. A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. 32(12). 713-728.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.051>

ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ПАЛИВА НА ОСНОВІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Юрій Снєжкін, Тетяна Корінчевська, Вячеслав Михайлик

Інститут технічної теплофізики НАН України

Накопичення твердих побутових відходів у світі постійно зростає, що погіршує екологічний стан навколишнього середовища та потребує впровадження заходів щодо покращення даної ситуації. Технологія виготовлення палива зазвичай передбачає сортування відходів і відокремлення горючих складових для їх подальшого використання. До горючих компонентів відходів можна віднести папір, картон, полімерні матеріали, текстиль, відходи деревини, шкіру та гуму.

Полімерні матеріали потребують відповідного поводження з ними як компонентами палива, щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Слід відзначити, що придатними для спалювання у складі палива є поліетилен і поліпропілен, при цьому поліетилен має найвищу теплоту згорання. Тому при виготовленні палива на основі твердих побутових відходів з високими якісними характеристиками важливо проаналізувати варіації складу палива, зокрема з різним вмістом поліетилену.

Дослідження виконували методом термічного аналізу в дериватографі Q–1000. Зразки палива нагрівали з постійною швидкістю від температури навколишнього середовища до 1000 °С. Були розглянуті зразки з наступним вмістом компонентів: 26–50% поліетилену, 0–50% картону, 0–20% текстилю, 0–10% шкіри та 0–23% деревини. Обробка експериментальних даних дозволила визначити температурні інтервали зневоднення, термічного розкладання, вологість та зольність, вміст органічних і мінеральних речовин. Також була визначена швидкість розкладання органічних речовин.

Весь перебіг термічного розкладання характеризується трьома етапами, які виділяють процеси зневоднення, розкладання органічних та

мінеральних речовин. В свою чергу термічне розкладання органічних речовин проходить у три стадії з різною інтенсивністю. Дослідження показали, що усі склади експериментального палива мають подібний характер термічного розкладання.

В результаті варіювання складом палива відзначено таку зміну термічних показників:

- температурні інтервали зневоднення: 20 – 154...166 °С;
- вологість: від 3.81 до 6.28%;
- температурні інтервали термічного розкладання органічних речовин: 154...166 – 530...544 °С;
- вміст органічних речовин: від 90.54 до 95.92% СМ;
- вміст мінеральних речовин: від 2.19 до 4.72% СМ;
- зольність: від 1.89 до 4.87% СМ;
- середня швидкість розкладання: від 1.79 до 1.88% СМ/хв.;
- нижча теплота згорання: від 23.03 до 30.82 МДж/кг.

Найнижчу температуру завершення повного зневоднення (154 °С) зафіксовано у зразка, що не містить у своєму складі картону. Аналіз кінетики розкладання органічних речовин палива свідчить, що зі збільшенням вмісту поліетилену від 26 до 50% швидкість розкладання на першій стадії зменшується зі 1.87 до 1.29% СМ/хв. В той же час на другій стадії інтенсивність розкладання збільшується – швидкість розкладання органічних речовин зростає від 2.41 до 2.90% СМ/хв. Аналіз отриманих даних показав, що інтенсивне утворення газоподібних речовин при розкладанні органічних речовин спостерігається в межах 456–465 °С.

В результаті було встановлено, що високий вміст поліетилену в паливі забезпечує високі значення теплоти згорання палива, а потужне виділення летких продуктів термічного розкладання може покращувати кінетику згорання. Проте при спалюванні такого палива потрібно забезпечити нейтралізацію шкідливих речовин, які утворюються при термічному розкладанні полімерних матеріалів.

РЕКУПЕРАТИВНИЙ ПОЛІМЕРНИЙ ТЕПЛООБМІННИК «ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ» ДЛЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СУШАРКИ

Юрій Снежкін, Італія Дабіжа, Наталія Малащук

Інститут технічної теплофізики НАН України

Сушіння є критично важливою операцією в харчовій промисловості, необхідною для продовження терміну придатності, забезпечення мікробної безпеки та збереження харчових і сенсорних властивостей продуктів. Однак традиційні методи конвективного сушіння є енергоємними.

Підвищення енергоефективності конвективної сушарки може вирішуватись шляхом застосування теплонасосних агрегатів, в яких здійснюється примусове осушення відпрацьованого сушильного агента, утилізація теплоти конденсації вилученої вологи та повернення її на більш високому температурному рівні в технологічний процес сушіння. Питомий коефіцієнт видалення вологи для теплонасосної сушарки становить 1,0–4,0 кг/кВт·год, тоді як той же показник для конвективної сушарки становить 0,1–1,3 кг/кВт·год [1].

В дослідженні [2] щодо оптимізації режимів роботи теплонасосного агрегату з метою зменшення встановленої потужності та скорочення енерговитрат під час сушіння визначено, що рекуперація холоду за допомогою теплообмінника «повітря-повітря» дозволяє в залежності від ефективності рекуператора в 1,5-2 рази зменшити енерговитрати.

Метою роботи є створення ефективного теплообмінника для рекуперації теплоти відпрацьованого теплоносія в технологіях конвективного сушіння, дослідження процесів теплообміну і гідродинаміки в створеному апараті для визначення його енергетичних характеристик.

В Інституті технічної теплофізики НАН України сконструйований та створений полімерний перехресно-проточний рекуперативний теплообмінник типу «повітря-повітря» для забезпечення рекуперації

«холоду» в системі підготовки теплоносія конвективної теплонасосної сушарки. Теплообмінні поверхні розробленого апарату виготовлені з унікального за своїми властивостями матеріалу – полікарбонату.

Для проведення досліджень процесів теплообміну і гідродинаміки в сконструйованому полімерному теплообміннику створено лабораторну установку, де в діапазоні швидкостей повітря від 2 до 9 м/с вимірювалися температури холодного і гарячого теплоносіїв на вході і виході з каналів теплообмінника, а також тиски холодного теплоносія на вході в теплообмінник і гарячого теплоносія на виході з теплообмінника.

За експериментальними даними розраховані теплові потоки, коефіцієнти теплопередачі, ефективність теплообмінника η в залежності від швидкості руху теплоносія. Для вибору потужності вентилятора визначені величини гідравлічних втрат у теплообміннику від швидкості руху теплоносія.

Таким чином, в діапазоні швидкостей повітря від 2 до 9 м/с коефіцієнт тепловіддачі в каналах рекуперативного теплообмінника становить 20...44 Вт/(м²·С°), а коефіцієнт теплопередачі між каналами – 10...22 Вт/(м²·С°). Результати досліджень дозволяють обрати оптимальні режими роботи рекуперативного теплообмінника (в діапазоні швидкості теплоносія конвективної теплонасосної сушарки від 1,5 до 3 м/с), що забезпечать середню ефективність 90 %.

Перелік використаних джерел

1. Acar, C., Dincer, I., & Mujumdar, A. (2020). A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. *Drying Technology*, 40(6), 1029-1050. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1848858>.
2. Снежкін, Ю., Чалаєв, Д., та Дабіжа, Н. (2017). Аналіз енергетичних показників сушіння тепловим насосом. *Теплофізика та теплоенергетика*, 39 (3), 47-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.3.2017.072>.

**РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ У
ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Чалаєв Д.М., Грабова Т.Л., Степанова О.Є., Данько І.О., Ковальов В.І.

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

Теплообмінні апарати є важливим елементом енергетики, хімічної, харчової та нафтопереробної промисловості [1, 2], визначаючи ефективність технологічних процесів. До них висуваються вимоги високої теплопередаючої здатності, низького гідравлічного опору, компактності та надійності. Особливо актуальною є робота з високомінералізованими та в'язкими середовищами, де традиційні конструкції часто не забезпечують стабільності, а проблема забруднення й очищення обладнання залишається невирішеною. У харчовій промисловості трубчасті теплообмінники широко застосовуються для термообробки продуктів із різними реологічними властивостями – від молока та вершків до сиропів і концентратів, що потребують делікатного нагрівання чи охолодження [3]. Проте більшість існуючого обладнання не враховує особливості робочих середовищ і працює нестабільно: наприклад, пластинчасті теплообмінники ефективні лише з чистими рідинами. Натомість кожухотрубні апарати мають перевагу, оскільки здатні працювати з середовищами різного хімічного складу та підвищеної в'язкості, що сприяє стабільності процесів і надійності обладнання.

Метою роботи є розробка та експериментальна перевірка енергоефективних кожухотрубних теплообмінників із профільованими теплопередаючими поверхнями, здатних працювати з високомінералізованими середовищами.

Для вирішення поставлених завдань в Інституті технічної теплофізики було створено експериментальний стенд для дослідження

гідродинамічних і теплообмінних процесів в теплообмінниках на основі труб з різною геометрією. Як модельне середовище використовувався високомінералізований розчин із вмістом солей 250 г/кг. У дослідженнях застосовувалися тонкостінні гофровані труби з нержавіючої сталі різних модифікацій. Їхня особливість полягає у створенні турбулізації поблизу стінки труби, що зменшує товщину теплового пограничного шару та підвищує коефіцієнт теплопередачі.

Експериментальні дослідження підтвердили, що застосування гофрованих тонкостінних труб у кожухотрубних теплообмінниках забезпечує істотне підвищення інтенсивності теплопередачі порівняно з гладкими трубами. При роботі з високомінералізованими розчинами коефіцієнт тепловіддачі зростав у 1,5-2 рази, досягаючи $4500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ у діапазоні швидкостей 0,5-1,1 м/с. Навіть при роботі на системах “високомінералізоване середовище-вода” профільовані труби забезпечували стабільні значення понад $3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що свідчить про їхню ефективність за умов підвищеної густини та в'язкості теплоносія. Додатково встановлено, що завдяки турбулізації потоку товщина відкладень на внутрішніх стінках труб стабілізується, що мінімізує потребу в очищенні та підвищує надійність експлуатації теплообмінників у харчовій та комунальній енергетиці.

Таким чином, використання гнучких нержавіючих профільованих труб у кожухотрубних теплообмінниках забезпечує високі коефіцієнти теплопередачі навіть у високомінералізованих та в'язких середовищах. Експерименти підтвердили ефективність турбулізації потоку й зменшення теплового пограничного шару, що підвищує енергоефективність процесу. Розроблений теплообмінник придатний для харчової промисловості, енергетики та геотермальних технологій.

Перелік використаних джерел

1. Халатов А.А., Снежкін Ю.Ф. Теплообмінні процеси та обладнання. – Київ: Академперіодика НАН України, 2015. – 320 с.

2. Chalaev D., Silnyagina N., Shmatok O. Nedbailo O. Heat transfer enhancement in a corrugated tube heat exchanger. Ukrainian food Journal. 2016. 5(2). 376-386.
3. Saravacos G.D., Kostaropoulos A.E. Handbook of food processing equipment. New York: Plenum Press. 2002. 775 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5>.

621.577+697.34; 620.9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОБУТОВОГО ВОДОНАГРІВАЧА З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Чалаєв Д.М., Грабова Т.Л., Степанова О.Є., Посунько Д.В., Базєєв Р.Є.

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

На сьогодні побутові водонагрівачі на основі теплового насоса типу “повітря-вода” не набули широкого поширення в Україні. Водночас ринковий потенціал цих установок є значним. Низьке споживання електроенергії, висока енергетична ефективність та простота експлуатації водонагрівачів із вбудованим тепловим насосом роблять їх особливо привабливими для застосування у багатоквартирних житлових будинках, закладах освіти, охорони здоров’я, готельних комплексах тощо. Водонагрівач із інтегрованим тепловим насосом може функціонувати одночасно з іншими побутовими електроприладами без перевищення допустимого навантаження на внутрішньобудинкові електромережі та здатний виконувати додаткову функцію осушення повітря у приміщеннях ванних кімнат і кухонь.

Для реалізації мети роботи – створення побутового водонагрівача з вбудованим тепловим насосом та дослідження його енергетичних показників з метою оптимізації режимів роботи системи теплонасосного гарячого водопостачання – було виготовлено та випробувано дві модифікації теплонасосних водонагрівачів:

а) водонагрівач об’ємом 80 літрів із вбудованим тепловим насосом на холодоагенті R-406a;

б) водонагрівач із окремим теплонасосним агрегатом (на холодоагенті R-22), підключеним до водяної лінії водонагрівача об'ємом 200 літрів.

Нагрівальним елементом водонагрівача модифікації а) є вбудований у бак з водою конденсатор теплового насоса, конструкція якого запатентована [1].

У водонагрівачі модифікації б) конденсатор теплового насоса виконано у вигляді трубчастого теплообмінника “фреон-вода”, водяний контур якого з'єднано трубопроводом із баком гарячої води.

У стандартному режимі роботи водонагрівача (нагрівання води від 15 °С до 55 °С за температури повітря у приміщенні 20 °С) величина коефіцієнта перетворення теплового насоса (COP) становила 2,7-2,9 для модифікації а) та 2,9-3,1 для модифікації б).

За результатами дослідження запропоновано енергозберігаючі режими роботи теплонасосного водонагрівача (з COP 3,3-3,5), за яких основний відбір гарячої води здійснюється при температурі води в баку водонагрівача 40-45 °С, а для протибактеріальної обробки внутрішнього об'єму резервуара вода в баку періодично прогрівається до 65 °С.

Як показало дослідження, використання теплонасосних водонагрівачів для гарячого водопостачання у побутовому секторі дає змогу у 3-3,5 рази знизити споживання електричної енергії на нагрівання води порівняно з системами водонагріву на ТЕНах. При існуючому на сьогодні співвідношенні цін на електричну енергію та централізоване гаряче водопостачання строк окупності автономних водонагрівачів на основі теплового насоса становить 3-4 роки, залежно від обсягів споживання гарячої води.

Перелік використаних джерел

1. Універсальний електроводонагрівач: пат. 118151 Україна: F24H 1/20. № а 2017 09094; заявл. 14.09.2017; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22. 6 с.

**АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАНИХ ПАЛИВ ДЛЯ МОРСЬКОГО
ТРАНСПОРТУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ БІОНАФТИ
ПРОМІЖНОГО ПІРОЛІЗУ БІОМАСИ**

Тетяна Желєзна

Інститут технічної теплофізики НАН України

Метою роботи є аналіз поточного стану та перспектив застосування біонафти проміжного піролізу біомаси як палива для морського (водного) транспорту. Заміщення традиційних морських палив альтернативними запроваджується для скорочення викидів парникових газів та сірки. Міжнародна морська організація (ІМО) поставила гнучку мету – досягнення близько нульових викидів парникових газів до 2050 р. У квітні 2025 р. прийнято пакет відповідного законодавства (ІМО Net-Zero Framework). Крім того, Регламентом Міжнародної морської організації 2020 року (ІМО 2020) встановлено, що з 2020 р. морські судна повинні використовувати палива з вмістом сірки менше 0,50%, тоді як раніше дозволявся ліміт у 3,5%.

Альтернативними, у тому числі відновлюваними, паливами та енергоносіями для морського транспорту можуть бути скраплений природний газ (LNG), зріджений нафтовий газ (LPG), метанол, біопалива, аміак, водень, електроенергія, енергія вітру. Біопалива включають широкий спектр найменувань рідких палив I-го та II-го поколінь, наприклад, біодизель (FAME), відновлюване дизельне паливо (HVO), біонафта піролізу або гідротермічного зрідження біомаси, зріджений біометан (біо- LNG), стиснений біометан (біо-CNG), дизель Фішера-Тропша та інші [1].

За рейтингом, який включає поточний стан та перспективи використання біопалив як морського палива з урахуванням технічних, економічних й екологічних аспектів, перше місце посідає біометан у зрідженому або стисненому вигляді [2]. Рейтинг біонафти, отриманої шляхом піролізу біомаси, на сьогодні є невисоким, але останні дослідження

показують, що він може значно підвищитися. Справа в тому, що зазвичай розглядається біонафта швидкого піролізу, яка має значні недоліки для використання як моторне паливо, наприклад, порівняно низький енерговміст (17-20 МДж/кг), зависокий рівень кисню, щоб вважитися вуглеводневим паливом, висока здатність до окислення. Якщо ж аналізувати біонафту проміжного піролізу біомаси, то її властивості значно кращі, а перспективи застосування на морському транспорті – вищі.

Проміжний піроліз відрізняється від швидкого повільнішою швидкістю нагріву сировини – 1-10 °C/с проти 10-200 °C/с. В результаті утворюється менше смол, оскільки замість термічного крекінгу відбуваються більш контрольовані хімічні реакції. Проміжний піроліз проходить за помірних температур (400-500 °C), а час перебування піролізних парів вимірюється секундами. На відміну від повільного і швидкого піролізу, проміжний націлений не на отримання максимального виходу певного продукту (рідкого, твердого, газоподібного), а на виробництво якісних продуктів, готових до безпосереднього використання. Одним з таких продуктів є біонафта, яку, як очікується, можна зразу використовувати у суміші з традиційним паливом на судах.

Практичні дослідження виробництва й застосування біонафти проміжного піролізу різних видів біомаси заплановано у чотирьохрічному проєкті SEAFAIRER (<https://www.seafairer-project.eu/>) програми ЄС «Горизонт Європа», що розпочався у 2024 р. Буде досліджено використання як необробленої піролізної рідини так і біонафти підвищеної якості.

Перелік використаних джерел

1. Chia-wen C. Hsieh, C. Felby. (2017). Biofuels for the marine shipping sector. IEA Bioenergy, Task 39, 83 p. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>
2. T. Zheliezna, S. Drahniev (2022). Comparative analysis of biofuels and other alternative fuels for introduction in aviation and waterborne transport of Ukraine. Journal of Science. Lyon. N 37, pp. 37-42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7409774>

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕТАНУВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИНТЕТИЧНОГО ВІДНОВЛЮВАНОВОГО МЕТАНУ В УКРАЇНІ

Тетяна Супрун

Інститут технічної теплофізики НАН України.

Метою даної роботи є аналіз ефективності застосування технологій біометанування, вплив різних факторів на ці технології, а також їх економічні характеристики і можливості застосування для виробництва синтетичного відновлюваного метану в Україні.

Виробництво синтетичного відновлюваного метану пов'язано зі застосуванням технологій метанування, тобто поєднанням вуглекислого газу з воднем, причому основною сировиною для його отримання є відновлюваний CO_2 та «зелений» водень H_2 , виробництво якого відбувається шляхом електролізу води із застосування відновлюваної електроенергії, зокрема вітрових і сонячних електростанцій. Серед усіх технологій метанування саме біологічне метанування є найбільш перспективним для умов України [1]. Біологічне метанування може здійснюватися або *in-situ*, шляхом введення водню в реактор анаеробного зброджування, або *ex-situ*, в окремому реакторі, що містить метаногенні бактерії та поживні речовини [2]. Концепція *in-situ* є більш дешевою і простішою у виконанні ніж концепція *ex-situ*, але поки що значно складнішою у реалізації процесу метанування. Це пов'язано з відмінностями оптимальних умов протікання процесів анаеробного зброджування і біологічного метанування в одному метантенку. Для біологічного метанування водень є головним вузьким місцем як з точки зору постійного доступу, так і з точки зору його реакції з CO_2 , оскільки водень погано розчиняється у воді. Низька швидкість росту клітин анаеробних мікроорганізмів є ще одним обмежуючим фактором, яка призводить до низької об'ємної продуктивності CH_4 .

Як показали результати попередньої техніко-економічної оцінки виробництва «зеленого» водню [3], наразі таке виробництво не є економічно доцільним для України, але технологія метанування на основі «зеленого» водню завдяки зниженню вартості технології електролізу та витрат на електроенергію через значну кількість дешевих відновлюваних джерел енергії буде економічно доцільною для впровадження в Україні уже на початку 2030 х років. Найважливішими складовими витрат для виробництва «зеленого» водню є інвестиційні витрати на електролізер, ціна на електроенергію, кількість робочих годин технології електролізу, збільшення її ефективності, а також масштабування самих процесів електролізу. Отже, збільшення обсягів виробництва електроенергії з ВДЕ та її здешевлення призведе до зниження цін на «зелений» водень і, відповідно, до зниження вартості виробництва синтетичного відновлюваного метану.

Економічна доцільність технології метанування може також бути підвищена за рахунок використання побічних продуктів, таких як теплова енергія реакції метанування та кисень з процесу електролізу. Теплову енергію можна використовувати для підтримки термофільного режиму або подавати у теплові мережі, надлишковий кисень - для інтенсифікації аеробних процесів на очисних спорудах.

Перелік використаних джерел

1. Клименко В.М, Супрун Т.Т. Перспективи впровадження технологій біологічного метанування в Україні. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. 79(2). С. 88-95. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2024.06>
2. Bellini R., Bassani I., Vizzarro A., et al. Biological Aspects, Advancements and Techno-Economical Evaluation of Biological Methanation for the Recycling and Valorization of CO₂. *Energies*, 2022. Vol. 15(11). P. 4064. <https://doi.org/10.3390/en15114064>
3. Клименко В.М., Супрун Т.Т., Олійник Є.М. Техніко-економічна оцінка використання «зеленого» водню для виробництва синтетичного відновлюваного метану. *Енерготехнології та ресурсозбереження*, 2025, 83(2), 33-41. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2025.03>

ВПЛИВ ВОДНЮ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

Юрій Франчук¹, Євгеній Антипов¹, Вікторія Коновалюк²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

²Київський національний університет будівництва і архітектури

Метою дослідження є оцінка впливу додавання водню до природного газу на основні фізико-хімічні показники газової суміші, визначення допустимих концентрацій водню в межах вимог нормативних документів, а також розроблення пропозицій щодо вдосконалення нормативно-правової бази та підвищення ефективності функціонування газових мереж.

Для підвищення надійності та безпеки функціонування газорозподільних мереж запропоновано використання енергії потоку газу для забезпечення стабільної роботи систем активного електрохімічного захисту. Такий підхід дозволяє забезпечити енергонезалежність захисних систем навіть у разі порушення електропостачання.

Крім того, з метою підвищення ефективності роботи газорегуляторних пунктів (ГРП) та зниження витрат природного газу, запропоновано використання пристрою на основі вихрових труб, який забезпечує підігрів газу без застосування газового палива для опалення приміщень ГРП. Реалізація такого технічного рішення сприятиме економії енергоресурсів, зниженню експлуатаційних витрат та покращенню екологічних показників за рахунок відсутності продуктів згоряння.

Проведено аналіз складу газової суміші, оцінено технічні та нормативні обмеження щодо вмісту водню та визначено перспективи його використання у вітчизняних газових мережах. За результатами дослідження проаналізовано чинну нормативно-правову базу та окреслено напрями її вдосконалення з урахуванням можливості інтеграції водню в системи газопостачання.

Розроблено варіант схеми газопостачання із використанням газових сумішей з різним вмістом водню.

Встановлено, що використання водню в складі природного газу в обсязі до 7 % за об'ємом відповідає вимогам чинних нормативних документів щодо основних фізико-хімічних показників — теплоти згоряння, мінімального вмісту метану, густини та числа Воббе. Рекомендовано внести зміни до Кодексу газотранспортної системи України та Технічного регламенту природного газу, передбачивши можливість використання водню в газових мережах у межах зазначених концентрацій.

Використання водню в обсязі від 7 % до 20 % не завжди відповідає вимогам нормативних документів щодо окремих параметрів газової суміші, а саме: теплота згоряння при вмісті водню від 7% до 20% знаходиться нижче допустимої за Кодексом ГТС; неможливо забезпечити мінімальний вміст метану (90 %) у газовій суміші при вмісті водню понад 10 %; число Воббе, що характеризує взаємозамінність палива, залишається у допустимих межах при вмісті водню в газовій суміші до 20 %. У зв'язку з цим доцільно здійснити додаткові дослідження щодо використання водню у концентраціях від 7 % до 20 %.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розробки нормативних документів, удосконалення експлуатаційних стандартів газових мереж та планування їх модернізації з урахуванням інтеграції водню як додаткового енергоносія. Реалізація запропонованих технічних рішень сприятиме підвищенню енергетичної безпеки, економічної ефективності та екологічної сталості газорозподільної інфраструктури України.

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНКОРПОРАТИВНОГО ГЕЛІОКОЛЕКТОРА

Шаповал С.П.¹, Пришляк Ю.В.¹, Мисак С.Й.²

¹*Національний університет «Львівська політехніка»*

²*ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС»*

Теплозабезпечення енергоефективних будівель за допомогою відновлюваних джерел енергії, зокрема енергією сонця, є однією з найважливіших задач в альтернативній енергетиці. Але через обмежений простір геліоколектори не завжди можуть бути розміщені на будівлях, тому перспективно використовувати сонячні опалювальні системи, елементи яких, комбіновані із зовнішніми огороженнями будівель.

Мета роботи: дослідити теплотехнічні характеристики інкорпоративного сонячного колектора, інтегрованого в огорожувальні конструкції будівлі, а також визначити ефективність процесів теплозбору та термоаккумуляції в лабораторних умовах.

У роботі використано сонячний колектор, конструкція якого передбачає інтеграцію в зовнішні огорожувальні конструкції будівлі з метою підвищення енергоефективності. У даному випадку геліоколектор одночасно є вікном, який встановлений під кутом $\gamma_v = 30^\circ$ відносно азимута падіння теплового потоку випромінювання. Теплоносієм у системі виступала вода. Експериментальні дослідження проводилися на спеціально змонтованому стенді при інтенсивності випромінювання 300 Вт/м². Установка складалась з інкорпоративного сонячного колектора (ІСК), який одночасно є вікном, ребреного теплообмінника, бака-теплоаккумулятора, інфрачервоного нагрівача (імітатора сонячного випромінювання), трубопроводів, циркуляційної помпи, запірних кранів та датчиків температури.

Під час експерименту фіксувалися температура теплоносія на вході та виході з колектора, температури в баку-теплоаккумуляторі, температура

довкілля та вимірювалась витрата теплоносія. На основі отриманих даних проведено розрахунок кількості зібраної теплової енергії та визначено коефіцієнт корисної дії ІСК.

У ході експерименту встановлено, що температура теплоносія на виході з ІСК зростала протягом усього періоду роботи установки, а приблизно за 15 хвилин до завершення дослідів вийшла на режим із незначними коливаннями. Аналогічний характер зміни температури був зафіксований і в баку-теплоаккумуляторі, що свідчить про стабільне надходження й акумуляцію теплоти, а також про ефективне перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію.

Початкові значення теплової потужності та коефіцієнта корисної дії демонстрували стрімке зростання, досягаючи пікових значень близько $Q=80 \text{ Вт/м}^2$ та $\eta=22\%$. Надалі, у міру тривалого нагрівання та збільшення різниці температур між абсорбером і навколишнім середовищем, величини потужності та ККД поступово зменшилися приблизно на 35% і стабілізувалися на рівні $Q=50 \text{ Вт/м}^2$ та $\eta \approx 16\%$. Така динаміка пов'язана зі зростанням тепловтрат при сталому інтенсивному тепловому потоку.

Висновки. Інкорпоративні сонячні колектори, вбудовані в огорожувальні конструкції будівель, демонструють стабільні теплотехнічні показники навіть за умов невисокої інтенсивності сонячного випромінювання. Аналіз температурних залежностей підтверджує ефективність теплопередачі від абсорбуючої поверхні до теплоносія та результативне акумулювання отриманого тепла у баку-аккумуляторі. Отримані експериментальні результати створюють передумови для можливої подальшої оптимізації конструктивних елементів ІСК з метою підвищення продуктивності систем сонячного теплопостачання. Проведені дослідження також засвідчують перспективність застосування таких геліоколекторів, як елементів енергоефективних будівельних технологій.

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ ЧАСТКИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СТРУКТУРІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НІДЕРЛАНДІВ, ЯК КРАЇНИ-ЛІДЕРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЄС

Борис Грудинін

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Мета роботи – розкрити особливості динамічного зростання частки сонячної енергії в структурі виробництва електроенергії Нідерландів, як країни-лідера сонячної енергетики ЄС.

Результати досліджень. На основі даних аналітичного центру Ember висновковано, що у 2024 р. Нідерланди виробляли найвищу частку сонячної енергії у структурі її виробництва електроенергії серед усіх країн ЄС. Нарощуючи темпи розвитку сонячної енергетики, Нідерланди у 2022 році вже виробляли 14% власної електроенергії від Сонця, випередивши Іспанію (лідера ринку ЕС) на 2%.

Запорукою такої позитивної динаміки стало історичне зростання кількості сонячних панелей на дахах житлових будинків у 2022 р., що уможливило отримання додаткових 1,8 ГВт сонячної енергії через панелі на дахах, що на 38% більше, ніж у 2021 році.

Швидке поширення сонячних панелей стало можливим завдяки підтримці Нідерландами житлових проєктів із чистими лічильниками, які реалізуються завдяки функціонуванню енергетичних кооперативів, що суттєво збільшує виробництво енергії від сонця.

Зусилля Нідерландів щодо розвитку вітрової та сонячної енергій вже допомогли знизити залежність країни від викопного палива, оскільки частка вугілля у виробництві електроенергії у Нідерландах впала з 36% у 2015 році до 13% у 2022 році, а з газу – на 17%.

З 2025 р. влада Нідерландів зробила обов'язковим встановлення сонячних панелей на дахах новобудов (всі новобудови, крім житлових будинків із площею даху понад 250 кв. м.).

Відповідно до досліджень незалежної голландської дослідницької організації TNO, Нідерланди до 2025 р. можуть досягти 180 ГВт встановленої сонячної енергії. Ця оцінка отримана на основі моделі оптимізації енергетичної системи OPERA, яка (модель) перераховує найбільш рентабельну конфігурацію енергосистеми та системи викидів парникових газів за певних обмежень шляхом мінімізації цільової функції, що виражає загальні витрати системи на будь-який майбутній рік.

Інші сценарії (ADAPT і TRANSFORM) передбачають суттєве збільшення виробництва електроенергії з вітрових і сонячних джерел, причому перші забезпечуватимуть близько половини первинного постачання електроенергії до 2050 року. Між тим, слід зазначити, що викопне паливо все ще становить значну частину загального обсягу прямого споживання електроенергії в обох сценаріях енергозабезпечення.

Висновки. Енергія, вироблена за допомогою сонячних панелей, є важливою частиною переходу країни на новий енергетичний устрій, за допомогою якої можна досягти значного скорочення викидів CO₂, що є наслідком дотримання Нідерландами Паризької угоди щодо зміни клімату.

Перелік використаних джерел

1. DG Investment Trends Monitor. UNCTAD. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/diaemisc2020d3_en.pdf (дата звернення: 14.11.2025).
2. «Зелені» інвестиції у сталому розвитку: світовий досвід та український контекст. Центр Разумкова. Київ, 2019. 316 с.
3. European Electricity Review 2024 URL: <https://ember-energy.org/latest-insights/european-electricity-review-2024/> (дата звернення: 20.11.2025).

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТАТОРА ВІТРОВОГО
ПОТОКУ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА**

Валерій Горобець; Олег Колісник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В умовах глобального переходу до відновлюваних джерел енергії та децентралізації енергопостачання зростає інтерес до вітроенергетики малої потужності. Для кліматичних умов центральної частини України (зокрема Київської області), де середньорічна швидкість вітру становить 3–5 м/с, класичні лопатеві турбіни горизонтального типу часто є неефективними через високу стартову швидкість. Вертикально-осьові вітротурбіни (VAWT) позбавлені необхідності орієнтації на вітер і мають вищий коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) [1]. Актуальним завданням є зниження стартової швидкості VAWT та підвищення їх продуктивності шляхом використання додаткових аеродинамічних пристроїв у вигляді концентраторів потоку (конфузорів).

Об'єктом дослідження обрано модель трифазного генератора на постійних магнітах (номінальна потужність 20 Вт) із ротором вертикального типу. Для підвищення щільності повітряного потоку (рис. 1) запропоновано використання стаціонарного концентратора, принцип дії якого базується на ефекті Вентурі та законі нерозривності потоку. Експериментальні дослідження проводилися в аеродинамічній трубі з порівнянням двох режимів: робота відкритого ротора та робота ротора з концентратором вітрового потоку.

У ході експерименту зафіксовано суттєву зміну аеродинамічних характеристик установки при використанні концентратора вітрового потоку. По-перше, вдалося значно знизити поріг стартової швидкості вітру (cut-in speed). Без концентратора генерація напруги розпочиналася при швидкості потоку 2,4 м/с. Використання розробленої конструкції

дозволило знизити цей показник до 1,7 м/с, що розширює діапазон робочих годин установки в умовах помірних вітрів [2].

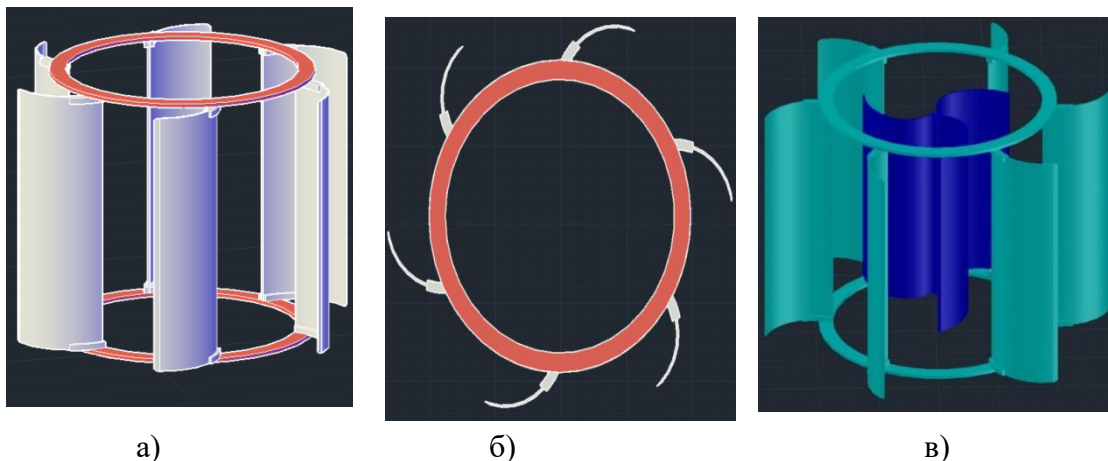


Рис. 1. Загальний вигляд ротора з концентратором потоку: а) загальний вигляд концентратора вітрового потоку; б) концентратор вітрового потоку (вигляд зверху); в) вітрогенератор з концентратором вітрового потоку.

По-друге, зафіксовано приріст частоти обертання та вихідної напруги. При контрольному замірі зі швидкістю вітру 4,0 м/с відкритий ротор розвивав 390 об/хв (напруга холостого ходу після випрямляча – 2,55 В). Встановлення концентратора за тих самих умов дозволило підвищити частоту обертання до 690 об/хв, а напругу – до 4,9 В. Отримані дані корелюють із результатами міжнародних досліджень, які вказують на можливість підвищення ККД роторів Савоніуса та Дар'є за допомогою дефлекторів [3]. Зростання напруги майже в 1,9 рази свідчить про суттєве збільшення кінетичної енергії вітрового потоку, яка передається на вал генератора, оскільки потужність вітрогенератора пропорційна кубу швидкості вітрового потоку який натікає на лопаті вітрогенератора.

Застосування стаціонарних аеродинамічних концентраторів є ефективним методом модернізації вертикальних вітрогенераторів. Експериментально підтверджено, що запропонована конструкція дозволяє збільшити вироблення електроенергії на малих швидкостях вітру та знизити стартовий поріг генерації на 29%, що робить такі установки перспективними для використання в умовах щільної забудови та для регіонів з низьким вітровим потенціалом.

Перелік використаних джерел

1. Mohamed M. H. Recent advances in vertical axis wind turbines: Performance enhancement and applications / M. H. Mohamed, A. M. Elbaz // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Vol. 134. – P. 110354.
2. Alom N. Performance analysis of a Savonius wind turbine with a deflector system / N. Alom, U. K. Saha // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2021. – Vol. 212. – P. 104586.
3. Zhu Y. Aerodynamic performance of a vertical axis wind turbine with a guide vane / Y. Zhu, Y. Li, Y. Wang // Energy Reports. – 2022. – Vol. 8. – P. 568–579.

УДК 621.039.56:628.3

ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ ЯК РЕСУРС ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Світлана Яцела, Григорій Єфімов, Назар Копиленко

Прилуцький технічний фаховий коледж

Сучасний розвиток енергетики України потребує впровадження альтернативних джерел теплової енергії для зменшення залежності від природного газу та скорочення викидів парникових газів. Одним із таких перспективних джерел є біомаса, що включає органічні відходи сільського господарства, лісопереробної та харчової промисловості, а також промислові залишки.

Використання біомаси у теплоенергетиці дозволяє створювати локальні енергетичні системи, які забезпечують опалення житлових будівель, комунальних об'єктів і промислових підприємств. Сучасні біокотли та когенераційні установки на біомасі одночасно виробляють тепло та електроенергію, що підвищує ефективність системи та зменшує навантаження на традиційні джерела енергії.

Біомаса економічно доступна та відновлювана, сприяє розвитку циркулярної економіки, перетворюючи органічні відходи на корисну енергію. Для підвищення ефективності використовуються сучасні

технології спалювання, газифікації та піролізу, що забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та мінімальні викиди шкідливих речовин у атмосферу.

Інтеграція біомаси у сучасні системи теплопостачання потребує модернізації теплових мереж та впровадження автоматизованого управління. Це дозволяє зменшити втрати тепла, оптимізувати споживання палива та підтримувати стабільне теплопостачання. Поєднання біомаси з іншими відновлюваними джерелами, такими як сонячна енергія або теплові насоси, гарантує безперервність роботи системи навіть у періоди нестачі палива або пікових навантажень.

Крім економічної ефективності, біомаса має значний екологічний ефект. Використання органічних відходів зменшує викиди CO₂ та інших забруднюючих речовин, сприяє чистоті довкілля та виконанню міжнародних кліматичних зобов'язань. Локальні установки на біомасі забезпечують енергетичну автономність громад і створюють нові робочі місця у сфері обробки та підготовки палива.

Отже, енергія біомаси є перспективним ресурсом для модернізації теплоенергетики України. Вона дозволяє формувати стійкі, ефективні та екологічно безпечні системи теплопостачання, знижувати залежність від викопного палива та сприяти розвитку регіональної енергетики. Комплексне використання біомаси у поєднанні з іншими відновлюваними джерелами відкриває можливості для створення сучасної, технологічно гнучкої та економічно ефективної моделі енергетичного сектору країни.

Перелік використаних джерел:

1. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Потенціал розвитку біоенергетики в Україні. – Київ: Біоенергетична асоціація України, 2022. – 76 с.
2. Кулик М. М., Гнідий М. В. Альтернативні джерела енергії: підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 368 с.
3. Драганов Б. Х., Долінський А. А. Теплотехніка: підручник. – Київ: ІНКОС, 2005. – 504 с.

ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКУ: ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ

Світлана Яцела, Максим Смірнов, Артем Тищенко

Прилуцький технічний фаховий коледж

Сучасна енергетика України потребує рішень, які підвищують стійкість, енергоефективність і зменшують залежність від викопних ресурсів. Одним із ключових напрямів є інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у теплоенергетику. Це не лише знижує витрати на теплопостачання, а й позитивно впливає на роботу всієї енергосистеми.

Використання сонячних колекторів, теплових насосів, біомаси та геотермальних установок дає можливість забезпечувати теплову енергію без значних витрат на паливо. Застосування локальних ресурсів біомаси й відходів деревини сприяє зменшенню навантаження на електромережу у пікові періоди та робить теплопостачання більш стабільним.

Перспективним напрямом є використання теплових насосів у взаємодії з електроенергетикою. Завдяки можливості використовувати надлишкову електричну енергію від СЕС і ВЕС, такі системи вирівнюють графіки навантаження та підвищують гнучкість енергосистеми. Це важливо для умов, коли поступово зростає частка ВДЕ в електричній генерації.

Значний потенціал має біоенергетика. Котельні на біомасі та біогазові комплекси дозволяють одночасно отримувати теплову й електричну енергію, зменшувати викиди та забезпечувати енергетичну автономність громад. Такі рішення відповідають концепції децентралізації енергосистеми і підвищують її стійкість до зовнішніх ризиків.

Ефективна інтеграція ВДЕ неможлива без модернізації теплових мереж. Впровадження індивідуальних теплових пунктів, автоматизованого

регулювання, зниження температури теплоносія та цифрового моніторингу зменшує втрати тепла і робить систему більш керованою. У результаті підвищується ефективність використання відновлюваної енергії.

Гібридні системи, що поєднують ВДЕ з традиційними котельнями, забезпечують надійність теплопостачання навіть у періоди низької сонячної активності чи нестачі біопалива. Такі рішення оптимізують паливно-енергетичний баланс та дозволяють гнучко реагувати на зміни навантажень.

Подальший розвиток інтеграції ВДЕ в теплоенергетику залежить від інвестицій, державної підтримки та оновлення нормативної бази. В умовах енергетичного переходу найбільш перспективними стають технології, що поєднують економічну ефективність, екологічність і здатність зміцнювати енергетичну безпеку держави.

Отже, поєднання відновлюваних джерел енергії з традиційною теплоенергетикою формує стійку, ефективну та екологічно безпечну модель енергетики України, що забезпечує надійне теплопостачання

Перелік використаних джерел:

1. Драганов Б. Х., Долінський А. А., Міщенко А. В., Письменний Є. М. Теплотехніка: підручник / за ред. Б. Х. Драганова. — Київ : ІНКОС, 2005. — 504 с.
2. Драганов Б. Х., Іщенко В. В., Шеліманова О. В. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем : підручник / за ред. Б. Х. Драганова. — Київ : Аграрна освіта, 2009. — 230 с.