

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

# ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ГАЛУЗЯХ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

**Збірник матеріалів  
Міжнародної науково-технічної конференції  
11-13 жовтня 2017 р.**

Вінниця  
ВНТУ  
2017

---

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/465>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 620.9:624:628

E61

*Редакційна колегія :*

Грабко В.В., д.т.н., професор  
Павлов С. В., д.т.н., професор  
Джеджула В. В., д.е.н., доцент  
Дудар І. Н., д.т.н., професор  
Моргун А. С., д.т.н., професор  
Ратушняк Г. С., к.т.н., професор  
Сердюк В. Р., д.т.н., професор  
Степанов Д. В., к.т.н., доцент  
Ткаченко С. Й., д.т.н., професор

**Енергоефективність** в галузях економіки України. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції 11-13 жовтня 2017 р. – Вінниця: ВНТУ, 2017 – 268 с.

ISBN 978-966-641-714-8

У збірнику розміщені матеріали доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої проблемам та заходам під-вищення енергетичної ефективності в теплоенергетиці, житлово-комульному секторі, енергоефективним технологіям в будівництві та міському господарстві, використанню поновлюваних джерел енергії. Даний збірник призначений для студентів, науковців та інженерно-технічних працівників в галузі будівництва та теплоенергетики.

УДК 620.9:624:628

Матеріали доповідей друкуються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в матеріалах доповідей, та залишає за собою право не погоджуватись з думками авторів з розглянутих питань.

ISBN 978-966-641-714-8

© Вінницький національний  
технічний університет, 2017

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/465>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

## ЗМІСТ

Системний підхід до проблем підвищення енергоефективності <i>Кудін Б.П.</i> .....	9
Підвищення ефективності опалювальної котельні в с.м.т. Турбів. <i>Степанов Д.В., Сулима О.К.</i> .....	11
Теплонасосна установка для теплопостачання ДНЗ № 1 в м. Жмеринка. <i>Степанов Д.В., Обуховський М.В.</i> .....	13
Ефективність інтенсифікації теплообміну в теплогенераторі на щепі деревини. <i>Боднар Л.А., Лепетан І.В.</i> .....	16
Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використан- ням теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії. <i>Безродний М.К., Притула Н.О., Місюра Т.О.</i> .....	19
Аналіз способів утилізації біогазу. <i>Степанов Д.В., Спринчук Ю.Я.</i> .....	22
Комплекс фізичних властивостей в перехідному режимі руху рідини. <i>Ткаченко С.Й., Резидент Н.В.</i> .....	25
Схемні рішення для підвищення продуктивності систем біоконверсії. <i>Ткаченко С.Й., Резидент Н.В., Ткачук В.С.</i> .....	28
Енергетична ефективність глибокого охолодження продуктів зго- рання газоподібного палива. <i>Резидент Н.В., Шиндеровський А.Т.</i> .....	32
Ефективність електрокотельні з акумуляторами теплоти. <i>Степанов Д.В., Богомаз В.О.</i> .....	34
Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використан- ням теплоти атмосферного повітря і стічних вод будинку. <i>Безродний М.К., Притула Н.О., Ословський С.О.</i> .....	37
Підвищення ефективності теплонасосної системи вентиляції. <i>Безродний М.К., Притула Н.О., Цветкова М.О.</i> .....	40
Виробіток біогазу за умов використання рідкої фази відпрацьовано- го субстрату для підготовки свіжого субстрату. <i>Ткаченко С.Й., Іщенко К.О.</i> .....	43
Процес сушіння соняшника в шахтній сушарці Eco Dry. <i>Фінік І.В., Співак О.Ю.</i> .....	46
Спряжена задача за умов нестационарного теплообміну. <i>Ткаченко С.Й., Денесяк Д.І.</i> .....	48
Використання методів регулярного режиму для визначення інтенси- вності теплообміну в обмеженому об'ємі. <i>Ткаченко С.Й., Денесяк Д.І.</i> .....	52
Енергетична ефективність системи теплохолодопостачання житло- вої будівлі. <i>Степанова Н.Д., Гаїна А.О.</i> .....	55
Математичне моделювання процесу сушіння емульсій в розпилюва- льних сушарках. <i>Кривоніс Л.Е.</i> .....	57

Комбінована система теплохолодопостачання з використанням альтернативних та традиційних джерел енергії. <i>Степанова Н.Д., Бончук О.М.</i> .....	59
Використання альтернативних джерел енергії для зменшення споживання викопного палива в центрі теплохолодопостачання житлового будинку. <i>Степанова Н.Д., Муслімов П.І.</i> .....	62
Аналіз відомих способів та пристроїв інтенсифікації масообмінних процесів в харчових технологіях. <i>Кутняк М.М., Коц І.В.</i> .....	64
Зменшення виробничо-технологічних втрат природного газу у системах газопостачання. <i>Желих В.М., Савченко О.О.</i> .....	67
Альтернативні види палива при утилізації відходів деревини. <i>Желих В.М., Савченко О.О., Багмет С.В.</i> .....	69
Підвищення енергоефективності системи газопостачання за рахунок утилізації вторинних енергетичних ресурсів. <i>Жара О.Б.</i> .....	71
Тепловологісна обробка бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання. <i>Назаренко М.В., Коц І.В.</i> .....	74
Вибір та обґрунтування раціональних параметрів систем мікроклімату для довготривалого зберігання біологічно активної продукції в сховищах. <i>Черановський Б.О.</i> .....	77
Удосконалення методів розрахунку систем опалення і вентиляції з врахуванням впливу теплотехнічних неоднорідностей огороджувальних будівельних конструкцій. <i>Григоренко Т.Ю., Коц І.В.</i> .....	80
Ефективні комбіновані системи тепlopостачання житлової котеджної споруди. <i>Прилипко О.О., Коц І.В.</i> .....	83
Дослідження теплового ефекту геліовікна. <i>Желих В.М., Шаповал С.П., Воробець Ю.Ю.</i> .....	87
Геліостіна в технології якісного альтернативного енергозбереження. <i>Шаповал С.П., Желих В.М., Венгрин І.І.</i> .....	89
Експлуатаційна надійність трубопроводного транспорту. <i>Ратушняк Г.С., Желих В.М.</i> .....	91
Додаткові деформації витратних характеристик термостатичних клапанів у системах опалення. <i>Мілейковський В.О.</i> .....	93

Методологічні підходи щодо моделювання зелених конструкцій будівель.	
<i>Ткаченко Т.М., Мілейковський В.О.</i> .....	95
Геометричне моделювання турбулентних струминних течій для потреб опалення і вентиляції.	
<i>Мілейковський В.О.</i> .....	99
Економічна ефективність підвищення експлуатаційної надійності газорозподільних мереж шляхом впровадження електрохімічного захисту трубопроводів.	
<i>Ратушняк Г.С., Ободяньська О.І.</i> .....	101
Енергоощадні системи забезпечення мікроклімату в промислових будівлях.	
<i>Ратушняк Г.С., Шпіта Д.А.</i> .....	104
Підвищення енергоощадності багатоповерхових будинків шляхом вдосконалення вузлів примикання огорожуючих конструкцій.	
<i>Ратушняк Г.С., Очеретний А.М., Материнська О.Ю.</i> .....	108
Підвищення енергоефективності децентралізованих систем теплопостачання.	
<i>Корпанюк М.С., Мандибура В.В., Паламарчук О.М., Ратушняк Г.С.</i>	110
Обґрунтування ефективності кавітаційного очищення стічних вод.	
<i>Бауман К.В.</i> .....	113
Оцінювання технічного стану трубопроводів теплових мереж та їх надійності.	
<i>Свідеревич М.В., Ратушняк Г.С.</i> .....	115
Підвищення енергоефективності систем вентиляції та аспірації шляхом вдосконалення механізмів регулювання аеродинамічних потоків.	
<i>Ратушняк Г.С., Степанковський Р.В.</i> .....	117
Використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в системах забезпечення мікроклімату в будівлях.	
<i>Грідін А.Ю., Шарандак О.С., Опарін М.С.</i> .....	119
Міжнародна практика оцінки енергоефективності громадських будівель.	
<i>Коваль Д.О., Панкевич О.Д.</i> .....	122
Енергозбереження пасивного будинку.	
<i>Слободян Н.М., Голоднюк Б.О.</i> .....	126
Ударно-вібраційні установки для ущільнення жорстких бетонних сумішей.	
<i>Сторожук С. Б., Коц І.В.</i> .....	129
Ексергія ультразвукової обробки технологічних середовищ.	
<i>Берник І.М., Луговський О.Ф.</i> .....	131

Особливості використання теплових режимів при обробленні рідких харчових середовищ. <i>Соломон А.М., Фабіянська О.Л., Фаріонік Т.В.</i> .....	132
Особливості теплової обробки пружно-пластичних матеріалів. <i>Новгородська Н.В.</i> .....	135
Підвищення ефективності пилоочищення в зернопереробній галузі. <i>Лучков В.В., Коц І.В.</i> .....	136
Устаткування для імпульсного насичення спеціальними рідинами органічних будівельних матеріалів та виробів. <i>Горюн О.О., Коц І.В.</i> .....	138
Аналіз конструктивних особливостей систем вентиляції чистих приміщень. <i>Пономарчук І.А., Гріщенко А.А.</i> .....	141
Сучасні системи створення мікроклімату культових споруд в Україні. <i>Аніпченко А.С., Коц І.В.</i> .....	143
Методика числових досліджень за МГЕ роботи кільцевих фундаментів. <i>Моргун А.С., Малачківська Р.І.</i> .....	145
Реалізація несучої здатності палі у складі комбінованих плитно-пальових фундаментів. <i>Слободян Д.В., Блащук Н.В., Друкований М.Ф.</i> .....	149
Димові труби зі склопластиковим осердям. <i>Дорохова Н.Д., Попов В.О.</i> .....	151
Особливості врахування навантажень та впливів при проектуванні стоянок для легкового автотранспорту. <i>Бричанський А.О., Бікс Ю.С.</i> .....	153
Ступінь реалізації несучої здатності паль по ґрунту в складі стічкового пальового фундаменту <i>Дерманський В.А., Блащук Н.В., Сірик І.В., Маєвська І.В.</i> .....	157
Ефективні конструкції підпірних стінок. <i>Гавура К.М., Блащук Н.В.</i> .....	161
Математичне моделювання підсилення паль закріпленням ґрунту. <i>Юра С.М.</i> .....	165
Робота ростверку і паль у складі стовпчастого пальового фундаменту. <i>Малишев О.М., Цимбал С.О., Маєвська І.В., Блащук Н.В.</i> .....	172
Визначення несучої здатності щілинних фундаментів. <i>Підгорний О.С., Блащук Н.В.</i> .....	176
Порівняння моделювання роботи бурових та буроін'єкційних паль. <i>Глуханюк Т.С.</i> .....	181
Оптимізація проектних рішень пальових фундаментів з урахуванням впливу палі і роботи низького ростверку на їх несучу здатність. <i>Друкований М.Ф., Блащук Н.В., Машицька І.П.</i> .....	185

Вплив коефіцієнту пористості на несучу здатність бурової палі у піщаному ґрунті. <i>Грушевська А.В.</i> .....	188
Аналіз підбору робочої арматури в колоні будівлі при аварійному впливі від удару автомобільного транспорту. <i>Горобчук Т.В., Бікс Ю.С.</i> .....	191
Улаштування банкетів для підсилення фундаментів без відкопування ґрунту. <i>Литвинюк В.О.</i> .....	194
Оцінка екологічного стану території будівництва з відновленням природних ресурсів. <i>Олійник Ю.Г., Загребя В.П.</i> .....	198
Теплозахисні властивості замкнених повітряних прошарків з використанням екранної теплоізоляції. <i>Швець В.В., Максименко М. А.</i> .....	200
Аналіз основних факторів, що впливають на теплову спроможність огорожуючих конструкцій. <i>Швець В.В., Максименко М. А.</i> .....	202
Сучасний стан пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «П'ятничанський парк». <i>Ковальський В.П., Варчук Р. В.</i> .....	204
Сучасні об'ємно-планувальні рішення готельно-торгового комплексу. <i>Бричанський А.О., Ковальський В.П.</i> .....	206
Основні напрямки модернізації районів масової житлової забудови 60-70-х років. <i>Ковальський В.П., Ковальський А.В.</i> .....	210
Забезпечення державних і громадських інтересів містобудівної діяльності. <i>Романов С.С., Прилипко Т.В.</i> .....	214
Особливості обслуговування яхтингу. Елінги. <i>Марущак І.В., Кучеренко Л.В.</i> .....	216
Особливості структурно-планувальної організації оптово-роздрібних ринкових комплексів. <i>Редька В.А., Кучеренко Л.В.</i> .....	218
Палаці Вінницької області: історія та сучасний стан. <i>Ковальський В.П., Зузяк С.Ю.</i> .....	221
Урбанізація приміського простору з вирішенням проблеми містобудівної, ландшафтної та природної систем. <i>Дудар І.Н., Дубовий В.О.</i> .....	224
Особливості реконструкції автовокзальних комплексів в межах міста. <i>Колісниченко В.В., Ковальський В.П.</i> .....	226



Будівельні вироби з використанням промислових відходів техногенного походження. <i>Лемешев М.С., Зузяк С.Ю.</i> .....	229
Перспективи впровадження системи «чиллер–фанкойл». <i>Сердюк В.Р., Ошовська А.В.</i> .....	232
Перспективи використання конденсаційних котлів для теплозабезпечення малоповерхової забудови. <i>Сердюк В.Р., Сухов В.В.</i> .....	235
Проблеми створення енергоефективних проектів в багатоквартирних будинках. <i>Лялюк О.Г., Панкевич В.В.</i> .....	238
Особливості провадження енергоощадної діяльності на вітчизняних підприємствах. <i>Сердюк В.Р., Франишина С.Ю.</i> .....	241
Законодавчі засади реалізації політики енергозбереження в Україні. <i>Сердюк Т.В., Плячок М.С.</i> .....	243
Проблеми реалізації енергозберігаючих заходів в закладах бюджетної сфери. <i>Сердюк Т.В., Філатова К.С.</i> .....	246
Державні програми сприяння реалізації енергоощадних технологій у житловому фонді. <i>Тимошенко В.О.</i> .....	249
Ринок теплоізоляційних матеріалів України. <i>Сердюк Т.В., Ковальська О.Я.</i> .....	251
Основні положення нової енергетичної стратегії України до 2035р. <i>Сердюк Т.В., Гурська А.О.</i> .....	254
Роль інновацій у вирішенні проблеми енергозбереження у вітчизняній економіці. <i>Сердюк Т.В., Середюк О.В.</i> .....	257
Технологічні особливості використання ніздрюватих бетонів при будівництві житла. <i>Сердюк В.Р., Христич О.В., Мельничук Д.А.</i> .....	260
Основні тенденції розвитку сонячних електростанцій. <i>Сердюк Т.В., Козак В.Ю.</i> .....	263
Шляхи забезпечення зростання фінансування інновацій в будівництво. <i>Лялюк О.Г., Лялюк А.О.</i> .....	266



# СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОБЛЕМ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, м. Київ

## **Анотація**

*Запропонований підхід до побудови сучасного менеджменту підвищення енергоефективності, який дозволяє оптимізувати структуру, а також збільшити ефективність і адаптивність систем управління виробництвом і споживанням енергії інноваційним шляхом на основі використання системного підходу.*

**Ключові слова:** системний підхід, інноваційний шлях розвитку, енергоефективність, оптимізація структури системи управління підвищенням енергоефективності.

## **Abstract**

*The proposed approach to the construction of modern energy efficiency improvement management, which allows to optimize the structure, as well as increase the efficiency and adaptability of production and consumption management systems in an innovative way based on the use of a systematic approach.*

**Keywords:** system approach, innovative way of development, energy efficiency, optimization of the structure of the management system for increasing energy efficiency.

## **Вступ**

Сьогодні використання системного підходу до проблем підвищення енергоефективності на базі впровадження інноваційних технологій є визнаною необхідністю [1]. Зрозуміло, що ці складні і багатоаспектні інноваційні процеси мають мати ефективний сучасний менеджмент. В роботі на основі системного підходу пропонується одночасно досліджувати проблеми побудови енергоефективних систем розглядаючи в нерозривній єдності процеси виробництва (споживання) енергії і процеси управління.

Метою роботи є розроблення методу побудови структури систем виробництва або споживання енергії з визначенням оптимального варіанту впровадження інноваційних технологій.

## **Результати дослідження**

Дослідження проблем енергоефективності з позицій системного підходу пропонує розгляд ефективності як систем виробництва енергії, так і систем споживання енергії. При цьому необхідно враховувати що будь в якому випадку ці системи є системами управління, які складаються з керованої підсистеми (що реалізує функції виробництва або споживання енергії) і керуючої підсистеми (яка реалізує функції управління процесами виробництва або споживання енергії) [2].

В сучасному швидкоплинному світі впровадження інноваційних технологій для реалізації функцій виробництва або споживання енергії призводить до необхідності змін в керованій підсистемі і безпосередньо змін її структури, а це тягне за собою зміни в керованій підсистемі. Навпаки, впровадження нових технологій реалізації процесів управління веде до змін структури керованої підсистеми.

Виходячи з цього, при вирішенні цих стратегічних проблем підвищення енергоефективності в межах країни і окремих господарюючих одиниць повинно базуватися на системному підході до впровадження інноваційних технологій як в керованій, так і в керуючій підсистемах на відповідних рівнях ієрархії з врахуванням їх взаємного впливу [3].

Оптимізація ефективності систем виробництва енергії має передумовою формування такої структури системи, при якій можливо виробництво максимальної кількості енергії при заданих обмеженнях на споживання різних видів ресурсів і витрат на створення системи (або можливо виробництво заданої кількості енергії при мінімальних витратах).

Оптимізація ж ефективності систем споживання енергії має передумовою створення такої структури системи, коли мінімізується кількість спожитої енергії при заданому рівні витрат і існуючих обмеженнях на споживання різних видів ресурсів.

Виходячи з цього, стає зрозумілим що вирішення цих проблем оптимізації енергоефективності можливе на основі лише використання економіко-математичних методів, математичного моделювання для вирішення відповідних завдань.

Метою формування структури систем виробництва (або споживання) енергії є визначення оптимальної кількості рівнів ієрархії і підсистем, ступеню автоматизації процесів виробництва і управління, а також відповідної кількості необхідного персоналу, технічних засобів і матеріальних ресурсів, які надають можливість системі реалізувати свої функції з мінімальними витратами.

Процес формування структури системи відбувається шляхом переходу від функцій систем до її структури. Завдання полягає в тому, щоби обрати такий спосіб сполучення можливих технологічних способів виробництва і управління і такий ступінь їх агрегування, при якому система реалізувала би свої функції з мінімальними витратами на структуру. В процесі формування варіантів і обрання способу реалізації функцій враховуються обмеження на наявні ресурси, що визначає ітераційний характер процедури.

Для варіанту з мінімальною вартістю відбувається розподіл функцій або задач управління між управлінським персоналом і формується ієрархія керуючих елементів.

Таким чином, формування структури систем управління базується на вирішенні цілого ряду взаємопов'язаних задач, кожна з яких є достатньо складною і потребує формальної постановки і визначення алгоритму їх вирішення. Алгоритми вирішення задач, що були визначені, зв'язані між собою прямими і зворотними зв'язками, утворюють в своєму комплексі алгоритм формування ієрархічної структури систем управління.

Частина блоків цього алгоритму, яка базується на використанні формальних методів (лінійного програмування, кластерного аналізу, спрямованого пошуку та інших), може реалізовуватися програмно (автоматично), інша частина, що заснована на використанні неформальних методів (методу аналогій, структуризації цілей, експертно-аналітичного та інших) і дозволяє враховувати соціально-психологічні моменти і конкретні особливості кожного об'єкту, може бути реалізована в діалоговому режимі на комп'ютері.

## Висновки

Таким чином, в умовах впровадження інноваційних технологій реалізація системного підходу до створення або реконструкції систем виробництва (споживання) енергії на основі економіко-математичного моделювання дозволяє підвищити ефективність і адаптивність цих систем шляхом встановлення відповідності між характеристиками виробничих процесів і процесів управління.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Геєць В. М. Пріоритети національного економічного розвитку в контексті глобалізаційних викликів : [монографія] [Електронний ресурс]. – 2008. – Ч. 1. Режим доступу : <http://uchebnik-besplatno.com/>
2. Донелла Х. Медоуз. Азбука системного мышлення. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 344 с.
3. Гур'янов А.Б. Системний підхід до стратегічного управління підприємством/ А.Б. Гур'янов, О.А Гришко // Економіка підприємства. Вісник економіки транспорту і промисловості № 34, 2011. С. 274 – 277

**Кудін Борис Павлович** — канд. екон. наук, доцент кафедри менеджменту, зовнішньоекономічної діяльності та адміністративного менеджменту, Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, м. Київ, e-mail: [boryskudin@gmail.com](mailto:boryskudin@gmail.com)

**Kudin Borys P.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Manadgement, Tavrijskij National University V.I. Vernadskoho, Kyiv

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ В СМТ. ТУРБІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В даній роботі запропоновано заходи із підвищення енергоефективності газової опалювальної котельні в смт. Турбів, в тому числі, проведено багатоваріантний аналіз для вибору палива, проаналізовано роботу твердопаливного котла на пелетах потужністю 95 кВт, модернізовано теплову схему котельні, оцінено техніко-економічні показники виробництва теплоти.*

### **Ключові слова**

*Підвищення енергоефективності; газова котельня; багатоваріантний аналіз для вибору палива; твердопаливний котел; теплова схема котельні, собівартість теплоти*

### **Abstract**

In this paper measures to increase the energy efficiency of a gas heating boiler room in urban areas Turbiv are proposed, including multivariate analysis for fuel selection, analyzed the work of a solid fuel boiler on pellets on 95 kWt, the thermal circuit of the boiler room modernized, technical and economic indicators of heat production estimated.

### **Keywords**

*Increasing energy efficiency; gas boiler room; multivariate analysis for fuel selection; solid fuel boiler; heat circuit boiler room, cost of heat*

### **Вступ. Постановка задач**

Для виробництва теплової енергії визнаною світом альтернативою природному газу є біопаливо [1], зокрема, деревина і її відходи. За еквівалентною теплотворною здатністю 4,0 кубічних метри деревної біомаси замінюють 1000 кубометрів природного газу [2].

Загальні ресурси енергетичної деревної біомаси, яка може бути отримана в процесі щорічних лісозаготівель всіма лісокористувачами та переробки заготовленої деревини в Україні складають близько 10,2 млн. куб. м.

Із вказаного обсягу [4]:

– 3,5 - 4,0 млн. куб. м деревної біомаси вже сьогодні використовуються для енергетичних потреб – теплопостачання житлових і адміністративних будівель та покриття технологічних потреб на деревопереробних підприємствах тощо;

– 2,5 – 3,0 млн. куб. м енергетичної деревної біомаси у різному вигляді щорічно експортується [2];

2,1 – 2,5 млн. куб. м лісосічних залишків, відходів деревини спалюється або згниває, вивозиться на смітники або утилізується в інший спосіб без корисного ефекту.

В наукових колах енергетичне використання деревини та відходів її переробки обговорюється давно і в деревопереробній галузі впроваджено повсюдно. В останні два роки у цій сфері почалася стрімка активність приватного бізнесу, що з одного боку свідчить про економічну привабливість цього виду діяльності, з іншого – наражає на ризик занадто великої конкуренції, особливо в боротьбі за ресурси деревини, які в Україні досить обмежені [4].

На момент проектування джерелом теплопостачання дитячого садка та школи є існуючий опалювальний пункт з двома газовими спареними котлами Житомир 3 АТЕМ потужністю 34,2 кВт кожен. Загальна теплове навантаження на існуючий опалювальний пункт складає 136,8 кВт.

Техніко-економічний аналіз показав високу собівартість виробництва теплоти для цієї котельні, яка склала більше 2100 грн/Гкал. Тобто робота котельні збиткова. Розглянуто різні варіанти підвищення ефективності котельні, в тому числі, встановлення теплових насосів, геліоколекторів, електрокотлів, переведення котельні на спалювання вугілля, торфу. Але найкращі економічні показники матиме котельня на деревинних пелетах.

В зв'язку з тим, що існує вірогідність того, що газопостачання існуючого опалювального пункту не буде безперервним, прийняте рішення щодо реконструкції системи опалення та побудови опалювального пункту на альтернативному виді палива (пелетах з біопалива).

В приміщенні опалювального пункту встановлено два опалювальних твердопаливних котли марки «ЕНЕРГІЯ» моделі КВП 25-95 тепловою потужністю 95 кВт виробництва України (рис. 1). Теплове розрахункове навантаження на опалювальний пункт складає 177 кВт. Теплоносієм прийнято для систем опалення та вентиляції - гаряча вода 85-70°C.

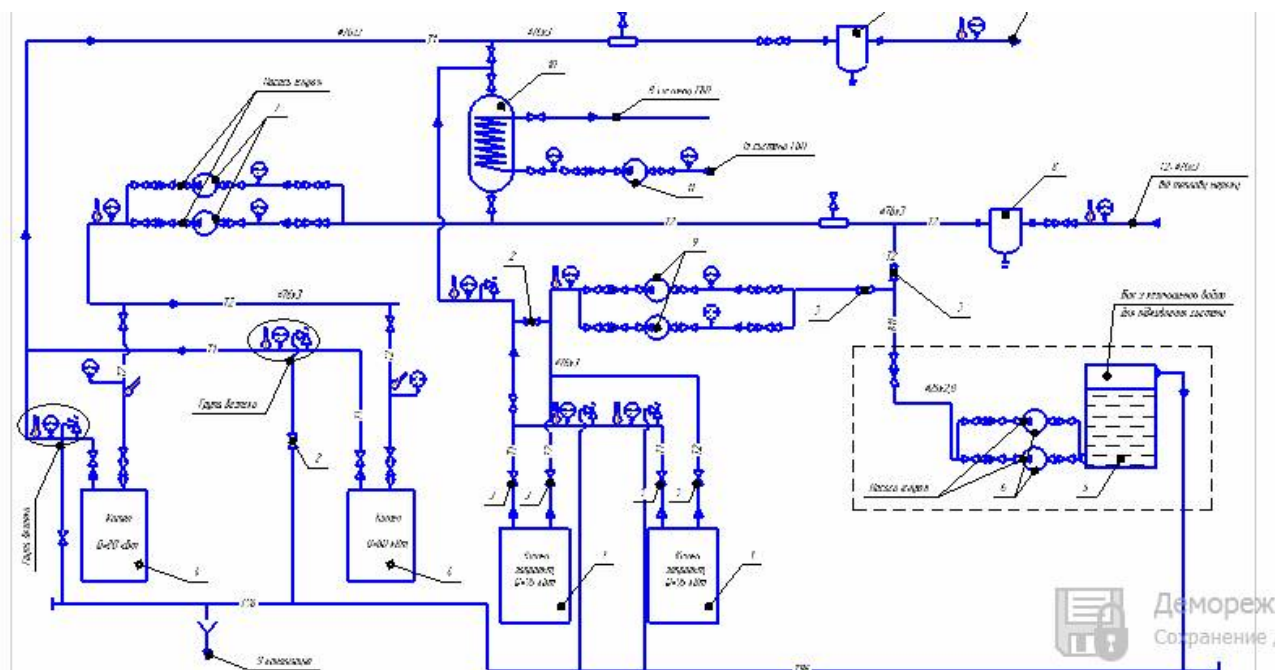


Рисунок 1 – Теплова схема котельні з підвищеною енергоефективністю

Для обслуговування твердопаливних котлів передбачений персонал: машиніст котла – 4 чол. Для обслуговуючого персоналу передбачене приміщення операторської. Відвід продуктів згорання газоходами від котлів здійснюється в зовнішню трубу Ду250мм висотою 10,27 м [5].

Розрахунковий ККД котельні склав 0,851, річна витрата пелетів 210 т/рік, собівартість теплоти 1115 грн/Гкал [5], а орієнтовний простий термін окупності капіталовкладень біля 3 років [6].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов Д.В. Енергоефективне використання відходів деревини / Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Шмоняк М.П., Юзюк А.О. //Енергетика та електрифікація. 2013. – № 5. – С. 69-71.
2. Коновалов С.В. Експлуатація котлів / С.В. Коновалов. – Вінниця: ПП Балюк, 2007. – 216 с.
3. Характеристики дерева і деревної щепи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tehnopost.kiev.ua/otoplenie/17-vologst-derevini-drova.html>.
4. Твердопаливні котли [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/boilers/model/216-KALVIS-MD/>
5. Боднар Л.А. Еспериментальні дослідження екологічних показників роботи газогенераторного водогрійного котла потужністю 40 кВт / Л. А. Боднар, Д. В. Степанов, А. М. Довгаль //Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4.
6. Ціни на твердопаливні котельні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ztek.com.ua/ua/kotelni.html>

**Степанов Дмитро Вікторович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

**Сулима Олександр Костянтинович**, студент факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Stepanov Dmitry**, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia national technical University, Vinnytsia, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

**Sulyma Oleksandr**, student of the Faculty of Construction, Thermal Power and Gas, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya

## ТЕПЛОНАСОСНА УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДНЗ №10 В М.ЖМЕРИНКА

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Обґрунтовано доцільність застосування в якості джерела енергії для теплового насосу енергію ґрунту. Наведені раціональну конструкцію ґрунтового теплообмінника, що забезпечує теплові та екологічні показники роботи теплонасосної установки (ТНУ). Розроблено теплову схему з ТНУ та наведено техніко-економічне обґрунтування її встановлення.*

**Ключові слова:** тепловий насос, енергія ґрунту, раціональне енергоспоживання, енергоефективність.

### **Abstract**

*The expediency of using energy as a source of energy for a heat pump is grounded. The rational design of the soil heat exchanger is provided, which provides the thermal and environmental performance of the heat pump installation (HPP). The thermal circuit with HPP has been developed and the technical and economic justification of its installation is given.*

**Keywords:** heat pump, soil energy, rational energy consumption, energy efficiency.

### **Вступ**

Сучасний стан техногенного навантаження енергетики на навколишнє середовище характеризується чималими викидами забруднювальних речовин підприємств паливно-енергетичного комплексу. Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів – одна з глобальних світових проблем, успішне вирішення якої, мабуть, матиме визначальне значення не лише для подальшого розвитку світової спільноти, але і для збереження місця його існування. Однією з перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є використання нових енергозберігаючих технологій, що використовують нетрадиційні поновлювальні джерела енергії [1, 2].

Відновлювані або невичерпні енергоресурси – потоки енергії, що постійно або періодично діють у навколишньому середовищі. Загалом усі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії розділяють на дві головні групи:

- пряма енергія сонячного випромінювання;
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергія біомаси та ін. [3].

Основною перевагою використання відновлюваних енергоресурсів є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану довкілля і не призводить до зміни енергетичного балансу на планеті. З використанням відновлюваних джерел енергії зникає потреба у видобуванні, переробці, збагаченні та транспортуванні палива, утилізації або захороненні [2].

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки системи теплопостачання дитячого дошкільного закладу з використанням нетрадиційних поновлювальних джерел енергії шляхом встановлення теплового пункту з теплонасосними установками (ТНУ).

### **Результати дослідження**

Ґрунт поверхневих шарів Землі, в зв'язку з його повсюдною доступністю і досить високим температурним потенціалом, є найбільш перспективним джерелом теплової енергії низького потенціалу для випарників теплових насосів (ТН).

Ґрунт поверхневих шарів Землі фактично являє собою тепловий акумулятор необмеженої ємності, тепловий режим якого формується під впливом сонячної радіації і потоку радіогенного тепла, що



надходить із земних надр. Падаюча на земну поверхню сонячна радіація і сезонні зміни її інтенсивності впливають на температурний режим шарів ґрунту, що залягають на глибинах 10-20 метрів [3].

Температурний режим шарів ґрунту, розташованих нижче глибин проникнення тепла сонячної радіації, формується тільки під впливом теплової енергії, що надходить з надр Землі, і практично не залежить від сезонних, а тим більше добових змін параметрів зовнішнього клімату.

Таким чином, на порівняно невеликій глибині від поверхні є шари ґрунту, температурний потенціал яких в холодну пору року значно вище, ніж у зовнішнього повітря, а в жарку пору року - значно нижче.

Оскільки ґрунт є досить складною і різноманітною структурою при проектуванні систем збору низькопотенційного тепла ґрунту слід враховувати ці фактори [2, 3]. При моделюванні теплового режиму систем необхідно також враховувати хіміко-мінералогічну природу ґрунтового скелета, його механічну структуру, кількісні співвідношення між фазами середовища, що заповнює проміжки між твердими частинками скелета, і їх взаємне розташування в поровому просторі, а також багато інших фізико-хімічних параметрів ґрунтового масиву.

Для оцінки доцільності будь-якого проекту необхідно виконати техніко-економічний аналіз та обґрунтування (ТЕО) виконання цього проекту [4]. За результатами проведення ТЕО по реалізації теплопункту із ТНУ встановлено, що отримана собівартість теплоти в 3,2 рази менше ніж ринкова [5], то можна вважати, що встановлення теплового пункту з тепловими насосами є доцільним. Термін окупності капіталовкладень складає 6,18 років, а це досить добре для об'єктів енергетичної сфери [4].

Згідно аналітичного огляду, було прийнято рішення із встановлення системи відбору низькотемпературної теплоти у формі термоскважин. Дана система являє собою занурені у ґрунт вертикальні теплообмінники для відбору енергії ґрунту. Теплообмінник має конструкцію з 2-х труб: сталевий зовнішньої та поліетиленовий внутрішньої. Теплоносій, віддавши тепло і охолодившись в випарнику ТНУ, надходить у внутрішню (поліетиленову) трубу ґрунтового теплообмінника, опускається в нижню частину свердловини, переходить в міжтрубну порожнину, де піднімається вгору і, нагріваючись, відбирає тепло ґрунту і знову віддає його в випарнику ТНУ [3, 6].

Згідно теплового розрахунку необхідна кількість термоскважин – 34 шт. Мінімальна відстань між скважинами, для забезпечення їх якісної роботи та екологічних умов, таких як переохолодження шарів землі, просідання ґрунту та регенерація під час простою експлуатації – 6 м.

В якості теплоносія системи збору низькопотенційного тепла ґрунту, виходячи з наявного досвіду і представлених на ринку речовин і розчинів, враховуючи їх експлуатаційні властивості і вартість, прийнятий 35% водний розчин етиленгліколю.

Розроблена за розрахунковими даними тепла схема включає в себе ТНУ AQUACIAT 2ILD 200V з ґрунтовими теплообмінниками, ємнісний водонагрівач потужністю 20 кВт та допоміжне обладнання і забезпечує надійне теплопостачання споживачів потужністю систем опалення, яка дорівнює 67,45 кВт і потужність на гаряче водопостачання яка дорівнює 32,73 кВт.

## Висновки

Отримана в розробленому теплопункті тепла енергія є в тричі дешевшою ніж ринкова ціна, що робить систему актуальною на довгий період часу; розроблена з дотриманням всіх екологічних вимог система буде постачати теплову енергію і не завдасть шкоди навколишньому середовищу, такому як виснаження ґрунтів та їх просідання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергозбереження: Верховна Рада України; Закон від 01.07.1994 № 74/94-ВР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
2. Сидорчук Б. П. Про задачу визначення передаточної функції ґрунтового теплообмінника / Б. П. Сидорчук // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 3(67). – С. 332-338.
3. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – М.: Москомархитектура. ГУП "НИАЦ", 2001. – 139 с.
4. Денисов В. И. Техничко-экономические расчеты в энергетике / В. И. Денисов. - М: Энергоиздат, 1985. - 312 с.

5. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та національних послуг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=13904>.
6. Рей Д. Теплові насоси / Д. Рей, Д. Макмайл. пер. З англ. – М.: Энергоиздат. 1982. – 224 с.

**Обуховський Максим Васильович** — студент групи ТЕ-17мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 380680426625maks@gmail.com

**Степанов Дмитро Вікторович** — канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: stepanovdv@ukr.net

**Obuhovsky Maksym V.** – student of TE-17mi group, Faculty of Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 380680426625maks@gmail.com

**Stepanov Dmitry V.** - Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stepanovdv@ukr.net



## ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІ НА ЩЕПІ ДЕРЕВИНИ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В роботі проведено числові дослідження ефективності інтенсифікації теплообміну в газотрубній частині котла потужністю 550 кВт на щепі деревини, проаналізовано вплив кроку закручування інтенсифікатора на коефіцієнт корисної дії, температуру відхідних газів, втрати тиску.

**Ключові слова:** водогрійний котел, щепи, спалювання, інтенсифікація теплообміну.

### Abstract

Numerical studies of the efficiency of the heat exchange intensification in the gas pipe part of the 550 kW boiler on wood chips have been carried out, the influence of the step of the swirling of the intensifier on the efficiency coefficient, the temperature of the waste gases, and the loss of pressure have been analyzed.

**Keywords:** water boiler, chips, combustion, intensification of heat exchange.

Значний розвиток котлів малої і середньої потужності на альтернативних видах палива, необхідність підвищення вимог до їхнього технічного рівня, а також забезпечення екологічної безпеки такого обладнання обумовлює пошук шляхів вдосконалення їх конструкцій.

В сучасних котлах знайшли застосування трубні пучки з інтенсифікованим теплообміном [1]. Методи і ефекти інтенсифікації теплообміну для теплообмінників газотрубних котлів викликають значний інтерес і велике значення, оскільки від ефективності охолодження димових газів в теплообміннику значною мірою залежить коефіцієнт корисної дії котла.

Застосування раціональних в енергетичному і технологічному сенсі методів інтенсифікації теплообміну в теплообміннику газотрубного котла дозволить підвищити його коефіцієнт корисної дії та зменшити габарити. Тому тематика статті є **актуальною**.

**Мета роботи** – дослідження впливу геометричних характеристик інтенсифікатора теплообміну на енергетичні показники газотрубного котла при роботі на змінному навантаженні.

В роботі розроблено конструкцію теплогенератора на щепі деревини. Розрахункова потужність теплогенератора 550 кВт. Температура води на вході в котел 70 °С; на виході 90 °С; паливо – щепи деревини з таким складом:  $W^p=30\%$ ,  $C^p=34,58\%$ ,  $N^p=0,42\%$ ,  $H^p=4,24\%$ ,  $S^p=0,04\%$ ,  $O^p=30,21\%$ ,  $A^p=0,51\%$ ,  $Q_{н.р}=12,01$  МДж/кг. Коефіцієнт корисної дії котла визначався за зворотнім тепловим балансом. Втрати теплоти від хімічної і механічної неповноти згорання приймалися  $q_3=0,5\%$ ,  $q_4=1\%$ ,  $q_5=0,8\%$ . Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  в розрахунках взято 1,4.

Авторами проведено дослідження впливу геометричних характеристик (кроку закручування) інтенсифікатора у вигляді скрученої стрічки на показники роботи котла за змінного навантаження.

Для дослідження характеристик котла в MSExcel реалізована математична модель, розроблена в роботі [2]. Залежності для розрахунку інтенсифікованого теплообміну взято з [3].

На рисунку 1 наведені результати розрахунку ККД котла за змінного навантаження і з різним кроком закручування інтенсифікатора.

З рисунку 1 видно, що ККД котла в разі встановлення інтенсифікатора суттєво збільшується на всьому діапазоні зміни навантаження.

Робота котла на навантаженні відмінному від номінального характеризується зниженням температури відхідних газів. Це може призвести до конденсації водяної пари, що міститься в димових газах, на теплообмінних поверхнях.

Зі зменшенням параметру  $s/d$ , ефект інтенсифікації збільшується, що призводить до зменшення температури відхідних газів і збільшення ККД котла. Для потужності 550 кВт та кроком закручування інтенсифікатора  $s/d = 12$  приріст ККД становить 6 %.

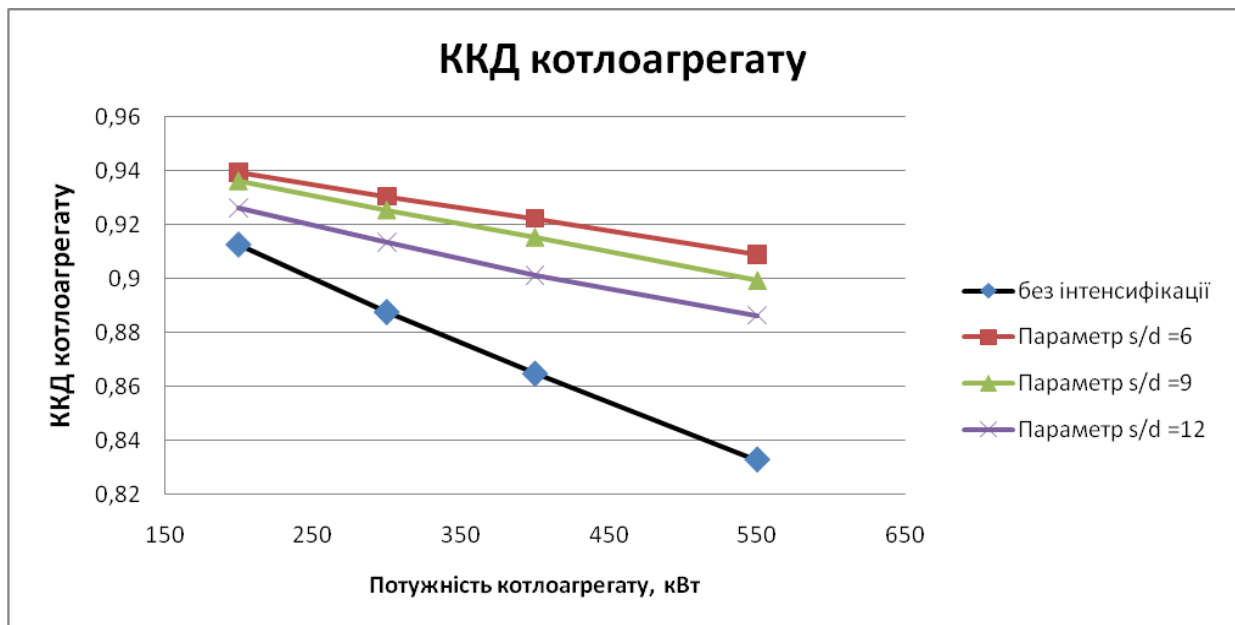


Рисунок 1 – ККД котлоагрегату за змінного навантаження

На рисунку 2 наведені результати дослідження впливу встановлення інтенсифікатора на температуру відхідних газів. Для встановлення в котел пропонується інтенсифікатор у вигляді скрученої стрічки з кроком  $s/d=12$ , оскільки за таких умов температура відхідних газів на всьому досліджуваному діапазоні зміни навантаження знижується найменше. Порівняно з варіантом без інтенсифікації, температура зменшується на 20...85 °С.

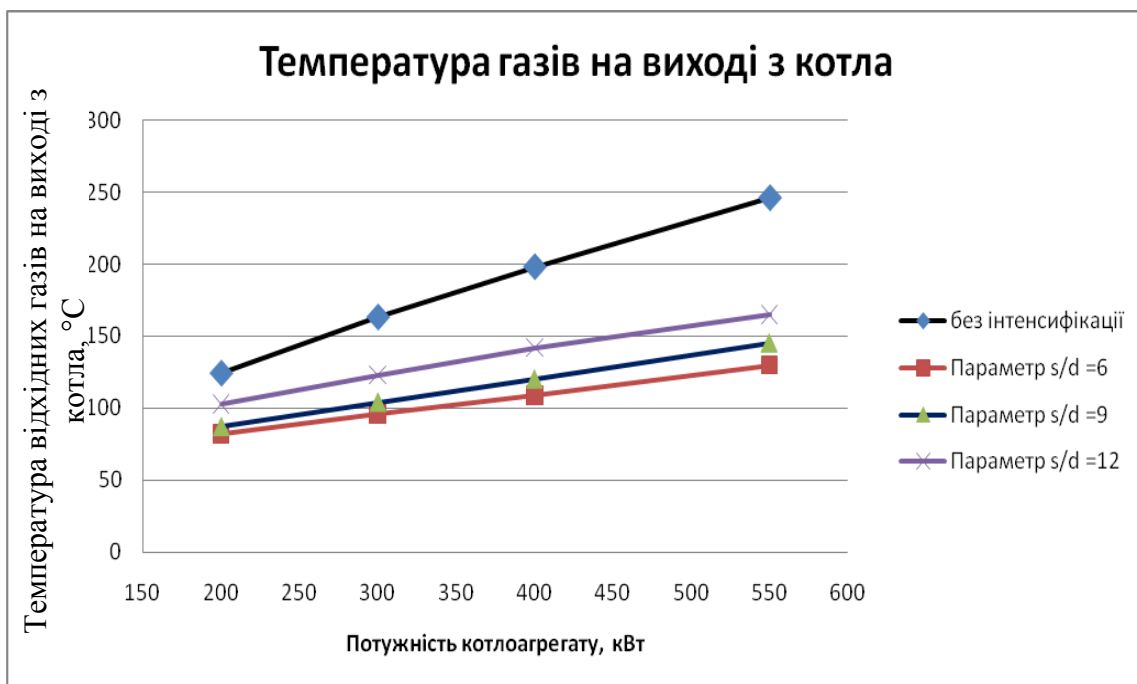


Рисунок 2 – Зміна температури відхідних газів на виході з теплообмінника залежно від параметру інтенсифікатора  $s/d$  за змінного навантаження котла

Зменшення температури відхідних газів для інтенсифікатора з кроком  $s/d = 12$  становить 1,2...1,5 разів на всьому діапазоні зміни навантаження.

Зростання втрат тиску в теплообміннику котла становить 1,5 – 1,8 разів порівняно з базовим варіантом (без інтенсифікації теплообміну).

Отже, за результатами досліджень, найбільш раціонально використовувати за даних умов, інтенсифікатор з кроком закручування  $s/d = 12$ , оскільки на всьому діапазоні зміни навантаження температура димових газів зменшується в межах, за яких виключається конденсація водяної пари. В разі встановлення такого інтенсифікатора показники роботи котла для максимального навантаження будуть такі: ККД – 88,6 %,  $t_{вг} = 165$  °С.

### ВИСНОВКИ

В роботі проведено дослідження впливу відносного кроку закручування інтенсифікатора на коефіцієнт корисної дії водогрійного котла на щепі деревини потужністю 550 кВт та на гідравлічний опір. Досліджено вплив кроку закручування інтенсифікатора за змінного навантаження котла. Показано що встановлення інтенсифікатора суттєво покращує енергетичні показники котла, температура димових газів зменшується в 1,2...1,5 рази, а ККД котла зростає на 2 – 6%, втрати тиску збільшуються в 1,5 – 1,8 разів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Л. А. Експериментальні дослідження теплообміну і аеродинаміки ефективних методів інтенсифікації теплообміну // Наукові праці Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс] – 2015. – №3. –Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/3/3>
2. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 151 с.
3. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил / В. К. Щукин. – М. : Машиностроение, 1980. – 240 с.

**Боднар Лілія Анатоліївна**, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: [Vodnar06@ukr.net](mailto:Vodnar06@ukr.net)

**Лепетан Іван Васильович**, студент групи ТЕ-17 м, факультет будівництва, теплоенергетики та теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет. e-mail: [lepetan94@mail.ua](mailto:lepetan94@mail.ua)

**Bodnar Lilia**, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [Vodnar06@ukr.net](mailto:Vodnar06@ukr.net).

**Lepetan Ivan** – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.

## Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії

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

### Анотація

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

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

### Abstract

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

**Keywords:** air heat pump, solar collector, total specific costs of external energy, low-temperature heating system.

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

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

Для України температурний потенціал атмосферного повітря є недостатнім для ефективного використання теплонасосної системи для цілей опалення протягом холодного періоду року. Тому виникає задача розробки і дослідження комбінованих теплонасосних систем з використанням додаткових джерел теплоти для забезпечення роботи повітряних ТН протягом усього опалювального періоду.

Одним із таких джерел є енергія сонячного випромінювання, яка за сонячної погоди здатна забезпечувати взимку температуру води в сонячних вакуумних колекторах (СК) до 20 - 30°C [2]. Сонячна енергія може бути додатковим джерелом для підігрівання низькотемпературного теплоносія перед випарником ТН [3]. У зв'язку з цим авторами запропонована та проаналізована принципова

схема теплонасосної системи опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря.

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

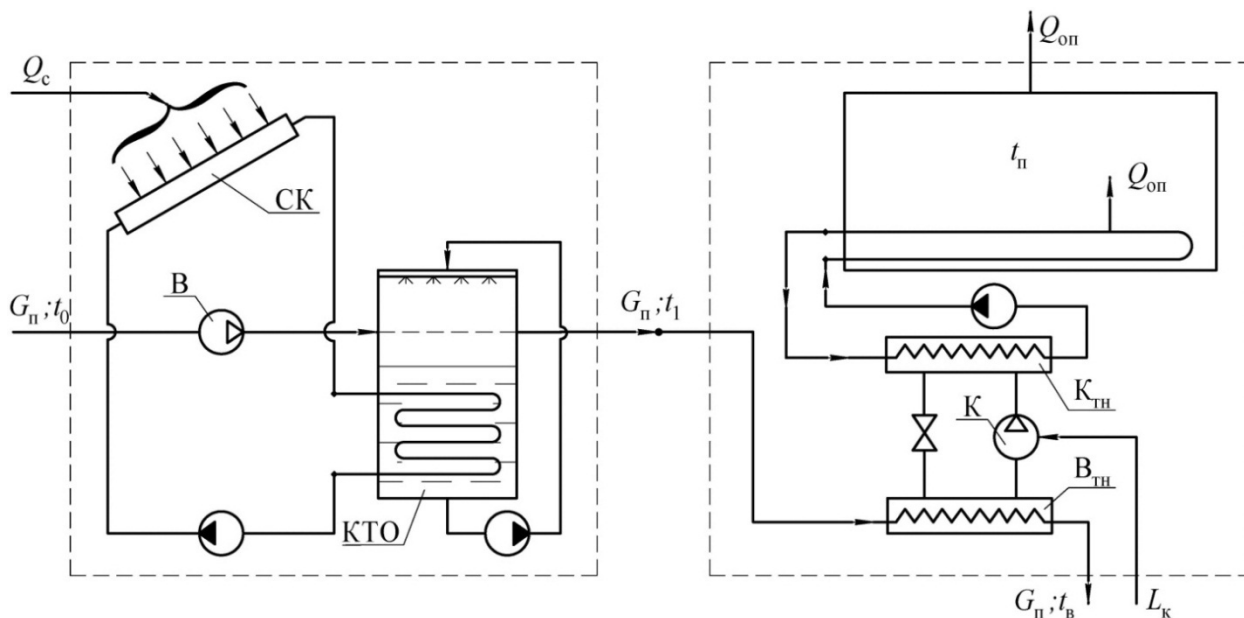


Рис. 1. Принципова схема теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти підігрітого за рахунок сонячної радіації атмосферного повітря:

$K_{тн}$  – конденсатор ТН;  $B_{тн}$  – випарник ТН;  $K$  – компресор;  $B$  – вентилятор; СК – сонячний колектор; КТО – контактний теплообмінник для підігріву атмосферного повітря.

Аналіз представленої вище схеми показав, що використання додаткового джерела теплоти (у вигляді сонячної енергії) для повітряного ТН при будь-якій температурі зовнішнього повітря приводить до збільшення температури повітря  $t_1$  на вході до випарника ТН і це збільшення залежить від загальної потужності СК. Метою чисельного аналізу був вибір відносної теплової потужності системи СК, що забезпечує витрату теплоти на опалення в найбільш холодний період, тобто при розрахунковій температурі атмосферного повітря, а також інших параметрів теплонасосної схеми, що характеризують ефективність її роботи. У результаті розрахунків були отримані графічні залежності з зображенням максимальних значень відносної потужності СК, що повністю забезпечують потреби теплоти на опалення в розрахунковий період. При цьому теплота атмосферного повітря не буде використовуватись, а необхідна витрата теплоти в випарнику ТН буде повністю покриватись за рахунок сонячної енергії. Тому за даних умов повітря грає роль лише проміжного теплоносія при передачі теплоти від СК до системи опалення. Хоча в цьому випадку необхідність у повітряних ТН відпадає, заміна їх на ТН типу «вода-вода» з використанням теплоти теплоносія безпосередньо від СК не є економічно вигідною. Такий висновок обумовлений тим, що СК є відносно дорогим обладнанням, тому доцільним є зменшення їх площі за рахунок використання саме повітряного ТН через низькі капіталовкладення. Значення критичних температур  $t_1$  і, як результат, граничні значення відносної потужності СК дають змогу оцінити граничні площі СК за різних розрахункових температур атмосферного повітря.

Ефективність роботи теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з урахуванням затрат енергії на привід компресора ТН і вентилятора, що нагнітає повітря у випарник ТН, охарактеризовано величиною питомих затрат зовнішньої енергії на опалення, яка являє собою відношення затраченої зовнішньої енергії на одиницю отриманої теплоти для задоволення потреб опалення. Використання сонячної радіації як додаткового джерела теплоти для повітряних ТН в загальному випадку приводить до суттєвого зниження затрат зовнішньої енергії на вироблення теплоти в низькотемпературних теплонасосних системах опалення. Виявлено, що перевага використання досліджуваної схеми порівняно з вихідною, тобто без застосування СК, проявляється за високих значень аеродинамічного опору випарника ТН. Таким чином, комбіноване використання теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії в повітряних теплових насосах дає можливість забезпечити потреби теплоти на опалення при значному зменшенні необхідної теплової потужності або площі сонячних колекторів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гершкович, В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами [Текст] / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП “Энергоминимум”, 2009. – 60 с.
2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с.
3. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання [Текст] : навч. посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 312 с.

**Безродний Михайло Костянтинович**, д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, [m.bezrodny@kpi.ua](mailto:m.bezrodny@kpi.ua).

**Притула Наталя Олександрівна**, канд. техн. наук, асист., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, [npritula@ukr.net](mailto:npritula@ukr.net).

**Місюра Тимофій Олексійович**, студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@gmail.com).

**Bezrodny Mykhailo K.** — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: [m.bezrodny@kpi.ua](mailto:m.bezrodny@kpi.ua)

**Prytula Natalia O.** — candidate of technical sciences, assistant of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: [npritula@ukr.net](mailto:npritula@ukr.net)

**Misiura Tymofii O.** — student, Faculty of Heat and Power Engineering, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: [Sconosciuto.T@gmail.com](mailto:Sconosciuto.T@gmail.com).



## АНАЛІЗ СПОСОБІВ УТИЛІЗАЦІЇ БІОГАЗУ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Виконано аналіз використання біогазу, виконано аналіз доцільності використання біогазової тригенераційної установки на сільськогосподарському підприємстві для отримання органічних добрив, електроенергії, теплоти і холоду. Запропоновано схему тригенераційної біогазової установки.*

### Ключові слова

Тригенерація, абсорбційна холодильна машина, двигун внутрішнього згорання, біогазова установка, зелений тариф.

### Abstract

*The analysis of the feasibility of using biogas, the analysis of the feasibility of using biogas threeneration plants on farms to produce organic fertilizer, electricity, heat and cold is made. The scheme of threeneration biogas plant is proposed.*

### Keywords

Threeneration, absorptionrefrigeratingmachine, engine of internal combustion, biogas installation, green tariff

### Вступ

У зв'язку з енергетичною кризою в Україні використання альтернативних джерел енергії є все більш актуальним, а анаеробна переробка тваринницьких відходів із виробництвом біогазу, який за своїми властивостями незначно поступається природному газу, є одним з найбільш економічно, енергетично та екологічно ефективних методів утилізації відходів. В свою чергу, отриманий біогаз доцільно використовувати таким чином:

- застосування біогазу на місці його виробництва у якості палива для котлів;
- спалювання у когенераційній установці з виробленням електроенергії. У той же час можна використовувати відхідне тепло, яке при цьому утворюється. Тому біогаз пропонує цікаві можливості для децентралізованого енергозабезпечення і являє собою цікаву альтернативу, зокрема, для великих аграрних підприємств в Україні;
- спалювання в тригенераційних установках, що дає можливість ефективно використовувати теплоту не лише взимку для опалення, але і влітку для кондиціонування приміщень або для потреб технологічного охолодження з використанням абсорбційних бромистолітєвих холодильних установок;
- доведення біогазу до якості природного газу (біометану), що може подаватися в загальну газорозподільну мережу. На відміну від дорогих і неефективних можливостей накопичення перемінних резервів сонячної та вітрової енергії, газорозподільна мережа дозволяє майже без втрат поєднати виробництво і споживання енергії.

Застосування біогазу у децентралізованому енергопостачанні сприяє скороченню імпорту енергоносіїв та підвищенню надійності енергопостачання, зокрема, у сільській місцевості. Все більше і більше фермерських господарств у Європі будують біогазові установки в безпосередній близькості від свого господарства для забезпечення себе і довколишніх сіл електроенергією і теплом. Крім того, залишки бродиння з реактора можуть використовуватися як високоякісне добриво у землеробстві. Завдяки постійно доступній сировині біогаз, а отже електроенергія і тепло, можуть вироблятися протягом усього року і таким чином створюють додаткову економічну опору для багатьох фермерських господарств, що сприяє стабільності і розвитку вітчизняного сільського господарства.

Часто проблемою децентралізованого виробництва електроенергії і тепла стає відсутність відведення тепла, що утворюється. Тому до початку будівництва біогазової установки потрібно визначити потенційних споживачів тепла, аби підвищити загальну ефективність системи. Тригенерація це комбіноване виробництво електроенергії, теплоти і холоду. В



дослідження особливості тригенерації полягає в тому, що холод виробляється абсорбційною холодильною машиною, що в основному споживає теплову енергію, а не електричну.

Потенційним об'єктом для впровадження біогазових тригенераційних технологій є тваринницькі ферми. Тригенераційний комплекс дозволяє максимально знизити собівартість електроенергії, гарячого водопостачання, опалювання та охолодження на об'єкті застосування.

Мета даної роботи – знаходження оптимального напрямку використання біогазу.

#### Результати досліджень

За об'єкт дослідження було взято фермерське господарство «Щербич», Вінницької області Літинського району с. Багринівці. Поголів'я ферми складається з ВРХ 260 шт. та свиней 1800 шт., така кількість тварин дає змогу отримувати 1878,4 кубічних метри біогазу за добу[1], що замінює собою 1181 кубічних метрів природного газу[2]. За рекомендаціями [3, 4] розроблено та розраховано схему біогазової установки з використанням когенераційної установки.

Враховавши, що на фермі крім вирощування тварин є виробництво м'ясо-молочної продукції було запропоновано використання тригенераційної установки з абсорбційною холодильною машиною[5], яка покриє значну частку споживання холоду господарством. На основі модернізації раніше запатентованої схеми [6] розроблена схема тригенераційної біогазової установки (рис. 1).

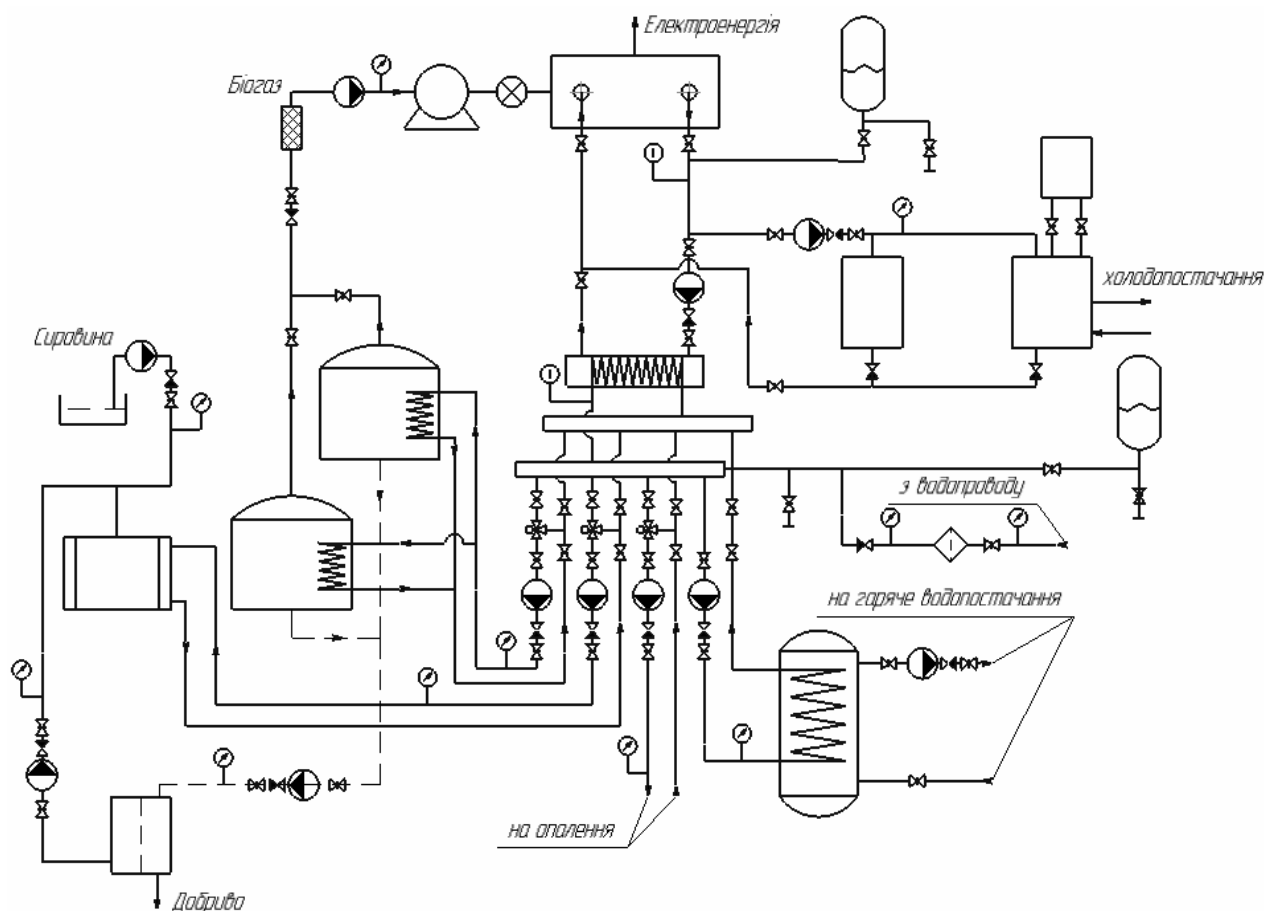


Рисунок 1-Схема тригенераційної біогазової установки

Установка працює наступним чином. Свіжий субстрат завантажується з приймальної посудини у змішувач насосом, де він змішується із рідкою фракцією, що поступає з розділювача зброженого субстрату під дією насоса рециркуляції рідкої фракції. Підготовлений у змішувачі субстрат завантажується в біореактор. Вода, що нагрівається в когенераційній установці та теплогенераторі, який працює на органічних відходах, циркулює через систему опалення, зовнішню порожнину змішувача, теплообмінник біореактора, змійовик бака-акумулятора та абсорбційну холодильну машину, що виробляє теплоту та холод, під дією циркуляційного насоса.

Зброжений субстрат відводиться у розділювач, звідки відділена рідка фракція за допомогою насоса рециркуляції повертається в змішувач, а згущений субстрат відводиться у внутрішню

порожнину теплоутилізатора, де нагріває холодну воду, що подається трубопроводом під дією насоса. Отриманий біогаз за допомогою компресора подається у газгольдер через гідрозатвор, осушувач отриманого біогазу, який охолоджується свіжою водою з трубопроводу, та фільтр для очищення від сірководню, звідки біогаз іде на когенераційну установку, що виробляє теплоту та електроенергію. Холодна вода після теплоутилізатора підігривається в теплообміннику абсорбційної холодильної машини і подається в бак-акумулятор гарячої води, де догрівається і спрямовується до споживачів. Холод використовується для попереднього охолодження молока, охолодження м'яса та кондиціювання м'ясозаготівельного цеху.

Для даних умов є можливість отримання «зеленого тарифу» продажу електроенергії на енергоринок. Отримана з органічних відходів електроенергія має коефіцієнт до тарифу 2,30 [7].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С.Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки. Монографія./ С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов –Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – 132 с.
2. Біогазові установки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.biteco-energy.com/biogazovye-ustanovki-3/>
3. Ткаченко С.Й. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навч. Посібник / С. Й. Ткаченко, М. М. Чепурний, Д. В. Степанов – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 137 с.
4. Карп И. Н. Экономические показатели использования различных видов топлив в энергетике [Текст] / И. Н. Карп, А. В. Степанов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – №4. – С. 3 – 6
5. АБХМ на горячей воде. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-goryachej-vode>
6. Патент України на корисну модель № 117017, МПК7 C02F11. Установка для виробництва енергоносіїв з органічних відходів / Степанов Д. В., Степанова Н. Д., Спринчук Ю.Я. //Промислова власність. – К. :Український інститут промислової власності. – 2017, бюл. № 11, опубл. 12.06.2017 р.
7. Закон України 1804-19 від 22.12.2016 р. «Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії» – Відомості Верховної Ради 2017, №4, ст. 47.

**Степанов Дмитро Вікторович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

**Спринчук Юрій Ярославович**, студент групи ТЕ-136, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, [iyurik1996i@gmail.com](mailto:iyurik1996i@gmail.com)

**Stepanov Dmitry**, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, VinnytsianationaltechnicalUniversity, Vinnytsia, [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net)

**Sprinchuk Yuriy**, Department of construction, heat power engineering and gas supplying, VinnytsianationaltechnicalUniversity, [iyurik1996i@gmail.com](mailto:iyurik1996i@gmail.com)

# КОМПЛЕКС ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ РУХУ РІДИНИ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Проаналізовано застосування експериментально-розрахункового методу для визначення інтенсивності тепловіддачі до сумішей з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

**Ключові слова:** комплекс фізичних властивостей, теплообмін в органічних сумішах, вимушена конвекція, перехідний режим, критеріальні рівняння, експериментально-розрахунковий метод.

## Abstract

Application of experimental and calculation method for determination heat transfer intensity to mixtures with non-defined thermophysical properties.

**Key words:** complex of physical properties, heat-exchange in organic mixtures, artificial convection, transient mode, criterial equations, experimental calculated method.

## Вступ

Сьогодні в Україні гостро постають питання енергоефективності. В промисловості значну частку у вартості виробленої продукції складають енергоносії, тобто вартість пов'язана з енергоефективністю технологічних процесів. Виробництво продукції в харчовій і переробній промисловості передбачає застосування складних систем, які містять значну кількість теплообмінного і ємнісного обладнання. Рівень теплотехнологічного обладнання визначає енергоефективність процесів, які відбуваються в ньому. В таких виробництвах велике значення мають процеси нагрівання та інтенсифікації теплообміну в'язких сумішей, ньютонівських та неньютонівських рідин, з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості [1–3].

Тому мета розробок авторів полягає у підвищенні енергоефективності теплотехнологічного обладнання за умов проходження в ньому тепломасообмінних процесів в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості. Для досягнення поставленої мети потрібно проаналізувати експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості та сформулювати напрямки подальшого вдосконалення ЕРМ.

## Основна частина

Метод ЕРМ застосовується для тих умов теплообміну та режимів руху теплоносіїв, які надійно описані в критеріальній формі для ньютонівських рідин. Згідно запропонованого методу в критеріальних рівняннях можна чітко визначити комплекс фізичних властивостей КФВ, геометричні характеристики, поправку на напрям теплообміну та ін., тобто структурувати їх до виду

$$\alpha = C \cdot g^{n_1} \cdot \Pi_{\text{баз.н}} \cdot K\Phi B_{\text{баз}}^{\text{експ}} \cdot w^{n_2} \cdot L^{n_3} \cdot \overline{\Delta t}^{n_4} \cdot \Pi_{\text{н.т}}, \quad (1)$$

де  $C$  – константа критеріального рівняння;  $\Pi_{\text{баз.н}}$  – поправка переходу із базових в натурні умови теплообміну;  $w$  – швидкість руху рідини;  $L$  – геометричний розмір;  $\overline{\Delta t}$  – середній температурний напір між стінкою та сумішшю;  $\Pi_{\text{н.т}}$  – поправка на напрям теплообміну;  $n_1 \dots n_4$  – показники степеня.

Базовий комплекс фізичних властивостей для реальної речовини  $K\Phi B_{\text{баз}}^{\text{експ}}$  визначається за експериментальними значеннями  $\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}$  методом послідовних наближень

$$K\Phi B_{\text{баз}}^{\text{експ}} = \frac{\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}}{C_{\text{б}} \cdot \Pi_{\text{б}} \cdot \left( Pr_p / Pr_c \right)_{\text{б}}^{0,25}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}$  – коефіцієнт тепловіддачі до натурної суміші в базових умовах теплообміну,  $\Pi_{\delta}$  – множник, який враховує визначальний геометричний розмір базової експериментальної установки та температурний напір;  $C_{\delta}$  – константа базового критеріального рівняння.

Поправка переходу із базових в натурні умови теплообміну  $\Pi_{\text{баз.н}}$  визначається з рівняння

$$\Pi_{\text{баз.н}} = K\Phi B_{\text{ЕРМ}} / K\Phi B_{\text{баз}}. \quad (3)$$

Комплекси фізичних властивостей  $K\Phi B_{\text{баз}}$  та  $K\Phi B_{\text{ЕРМ}}$  виведені із структурованого критеріального рівняння теплообміну для базових умов та для натурних умов, тобто

$$K\Phi B_{\text{баз}} = C_p^{k_1} \cdot \rho^{k_2} \cdot \beta^{k_3} \cdot \lambda^{k_4} \cdot \nu^{k_5}, \quad (4)$$

$$K\Phi B_{\text{ЕРМ}} = C_p^{a_1} \cdot \rho^{a_2} \cdot \beta^{a_3} \cdot \lambda^{a_4} \cdot \nu^{a_5}, \quad (5)$$

де  $k_1 \dots k_5$ ,  $a_1 \dots a_5$  – показники степеня;  $C_p$  – теплоємність,  $\rho$  – густина,  $\beta$  – коефіцієнт температурного розширення,  $\nu$  – кінематична вязкість,  $\lambda$  – теплопровідність рідини.

Комплекс фізичних властивостей дозволяє перейти від коефіцієнтів тепловіддачі, які отримані на базовій експериментальній установці до коефіцієнтів тепловіддачі в теплообмінниках, які проектується. Більш детально методика застосування ЕРМ показана в роботах [4–6]. Вона випробувана авторами для визначення інтенсивності тепловіддачі в разі ламінарного і турбулентного режимів руху рідини за умов вільної та вимушеної конвекції. Достовірність ЕРМ підтверджена зіставленням коефіцієнтів тепловіддачі визначених на портативній установці з отриманими на традиційних експериментальних стендах. При цьому розбіжність становить 20%...35%. Для розробки енергоефективного теплообмінного обладнання потрібно підвищувати достовірність ЕРМ. Авторами запропоновано комплекс, який містить лише теплофізичні властивості рідини. Згідно з теорією подібності крім  $K\Phi B_{\text{баз}}$  і  $K\Phi B_{\text{ЕРМ}}$  потрібно врахувати комплекс, який містить визначальний геометричний розмір та визначальну швидкість.

В теплообмінному обладнанні харчової та переробної промисловості часто реалізується перехідний режим руху теплоносія. В даній області для потоку характерна нестійкість режиму, на нього впливають окремі місцеві збурення, які обумовлені розміром та формою каналів, шорсткістю поверхні стінок та ін. Тобто інтенсивність теплообміну в такому режимі залежить від багатьох величин, які важко врахувати [7]. Тому для перехідного режиму течії теплоносія в трубах і каналах, якому відповідає діапазон чисел  $Re = 2300 \dots 10000$ , немає розрахункових формул, які узагальнюють результати різних дослідів. Тепловіддача в перехідному режимі руху не може бути описана одним критеріальним рівнянням.

Для наближеної оцінки інтенсивності тепловіддачі в перехідному режимі руху рідини можна застосувати наступні критеріальні рівняння [8]

$$Nu_{p,d} = 0,008 Re_{p,d}^{0,9} Pr_p^{0,43} \left( \frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_n \quad (6)$$

або

$$Nu_{p,d} = 0,021 Re_{p,d}^{0,9} Pr_p^{0,43} \left( \frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_{\ell} \cdot \varepsilon_n. \quad (7)$$

Поправковий коефіцієнт  $\varepsilon_n$  для перехідного режиму течії в (7) визначається наступним чином:

$$\varepsilon_n = 1,18 - 1800 / Re_{p,d} = a - b / Re_{p,d}. \quad (8)$$

Вплив природної конвекції враховується корегуванням констант  $a$  і  $b$  в залежності від критерія Грасгофа  $Gr$ :  $b = 1800 - 220 \lg Gr$ ;  $a = 1 + b \cdot 10^d$ , тобто

$$\varepsilon_n = 1 + \left[ (1800 - 220 \lg Gr_{p,d}) \left( \frac{1}{10^d} - \frac{1}{Re_{p,d}} \right) \right]. \quad (9)$$

З урахуванням (9) критеріальне рівняння (7) можна представити у вигляді функціональної залежності

$$Nu = f \left( Re, Gr, Pr, \left( Pr_p / Pr_c \right)^{0,25} \right), \quad (10)$$

звідки можна виділити комплекс фізичних властивостей  $K\Phi B$  і після апроксимації отримати критеріальне рівняння виду

$$Nu_{p,d} = C Re_{p,d}^{n_1} Gr^{n_2} Pr_p^{n_3} \left( \frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{n_4}. \quad (11)$$

Рівняння (7 – 11) дозволяють отримати результати за схемою застосування ЕРМ для перехідного режим руху в'язких сумішей, ньютонівських та неньютонівських рідин з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

### Висновки

1. Методика застосування ЕРМ випробувана авторами для визначення інтенсивності тепловіддачі в разі ламінарного і турбулентного режимів руху рідини за умов вільної та вимушеної конвекції. Розбіжність результатів у порівнянні з традиційними методами становить 20%...35%.

2. Сформульовані напрямки для підвищення достовірності експериментально-розрахункового методу визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фройштетер Г. Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах / Г.Б. Фройштетер, С. Ю. Данилевич, Н. В. Радионова – Киев : Наук, думка, 1990 – 216 с.
2. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У. Л. Уилкинсон. [под ред. А. Л. Лыкова, перевод с английского З. П. Шульмана]. – М.: Мир, 1964 – 216с.
3. Николаев Б. В. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. докт. техн. наук / Б. В. Николаев – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2009. – 584 с.
4. Патент України на винахід № 97021, (51) МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В., Резидент Н. В; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № a201005661; заявл. 11.05.2010; опубл. 26.05.2011, Бюл. № 2.
5. Ткаченко С.Й. Теплообмін в системах біоконверсії : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.
6. Ткаченко С.Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. — Вінниця : ВНТУ, 2017. — 124 с.
7. Исаченко В. П. Теплопередача. / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел С. А. – М.: Высшая школа, 1969. – 440 с.
8. Радченко Д. Є. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини у горизонтальних трубах / Д.Є. Радченко, С.М. Василенко, О.М. Недбайло // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 6. – С. 46 – 48.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: stahit6937@gmail.com

**Резидент Наталія Володимирівна** – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

**Stanislav Tkachenko** – Dc. Sc., Professor, Heat of the power system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stahit6937@gmail.com

**Nataliya Rezydent** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezidentnv1@ukr.net



## СХЕМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ БІОКОНВЕРСІЇ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Із застосуванням експериментально-розрахункового методу проаналізовані теплообмінники для утилізації теплоти відпрацьованої суміші в системі біоконверсії, виявлені їх доцільні конструкції і режими роботи.*

**Ключові слова:** біоконверсія, теплообмін в органічних сумішах, вимушена конвекція, вільна конвекція, режими теплообміну, критеріальні рівняння, експериментально-розрахунковий метод.

### Abstract

While using experimental and calculation method the heat exchangers for heat utilization of worked out mixture in biogas installation system was analysed, the proper constructions and work parameters were found out.

**Key words:** bioconversion, heat-utilizator, heat-exchange in organic mixtures, artificial convection, natural convection, heat-exchange conditions, criterion equations.

### Вступ

Кожне підприємство, де є відходи органічного походження, повинно вирішувати питання їх утилізації. Процес анаеробної переробки відходів в біогазових установках (БГУ) є одним із найбільш перспективних методів утилізації від якого отримуємо екологічний, енергетичний та економічний ефекти. В роботах [1, 2] запропоновані схеми БГУ з утилізацією теплоти відпрацьованої суміші і утилізацією теплоти біогазу та проаналізована енергоефективність цих установок. При цьому виявлено, що за рахунок утилізації теплоти можливо збільшити вихід товарного біогазу до 70...80% від того, що виробляється. Але в даному випадку металоемність БГУ може збільшитись на 10...25 %.

Дана робота є продовженням тематики кафедри теплоенергетики [3 - 8] і ставить за мету застосувати експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) в проектному розрахунку і чисельному експерименті утилізаторів теплоти відпрацьованої суміші в системі БГУ, виявити їх доцільні конструкції і режими роботи.

### Основна частина

Розглянемо БГУ з такими основними складовими (рис. 1): біореактор 1, змішувач 2, виносний теплообмінник 4, перемішувальний пристрій 5, водогрійний котел 9, газгольдер 10 та теплообмінник-утилізатор (ТУ) 3. Установа працює наступним чином. Свіжа сировина завантажується у ємність 2, де змішується з гарячою водою, яка надходить із бака-акумулятора гарячої води 7. Одночасно вода із бака-акумулятора 7 подається у кільцевий зазор змішувача. Суміш, яка доведена до потрібної температури і концентрації, подається у біореактор 1 для анаеробної переробки. Утворений біогаз відводиться з біореактора через теплообмінник-осушувач отриманого біогазу 6 у газгольдер 10.

Утилізація теплоти в установці здійснюється у двох напрямках: утилізація теплоти відпрацьованої суміші (основна частина утилізованої теплоти) та утилізація теплоти отриманого біогазу.

Перший напрямок відбувається наступним чином. Відпрацьована суміш з біореактора та додаткова мережна вода, що нагрівається, подаються в робочі ємності теплообмінника-утилізатора 3. Нагріта вода надходить у теплообмінник 8 та бак-акумулятор 7. Охолоджена відпрацьована суміш зливається в збірник 11 і в подальшому використовується як органічне добриво. Завантаження сировини може відбуватись один раз або декілька разів на добу. Відповідно, суміш у теплообміннику-утилізаторі та в змішувачі утримується певну кількість годин, що залежить від режиму роботи установки.

Другий напрямок утилізації здійснюється за допомогою встановлення теплообмінника-

осушувача отриманого біогазу 6, де відбувається нагрівання додаткової мережної води використанням теплоти утвореного біогазу, а також осушування біогазу, чим покращуються параметри спалювання, підвищується коефіцієнт корисної дії водогрійного котла 9 і знижується рівень шкідливих викидів у процесі спалювання біогазу. Частина біогазу подається компресором у виносний теплообмінник 4 для здійснення циркуляції, а частина – в паливник водогрійного котла.

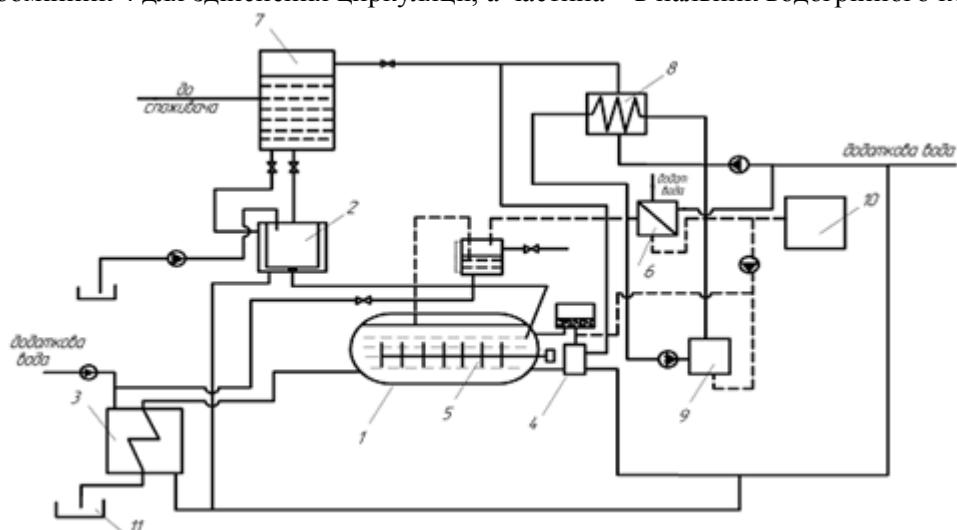


Рис. 1. Схема БГУ з утилізацією теплоти зброженої суміші і виробленого біогазу

В таких схемах важливо раціонально проектувати теплообмінники-утилізатори. Проектні та перевірені розрахунки для сумішей з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості можна здійснювати використовуючи експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) [3 - 8]. Базовий стенд і методика вимірювань показані в [6, 8].

Для прикладу розглянемо схему БГУ з активним об'ємом реактора  $V_p = 20 \text{ м}^3$ , двома варіантами теплоутилізаторів (рис. 2а, 2б). Теплоутилізатор висотою  $H$  (рис. 2а) виконаний таким чином, що утворені робочі порожнини: внутрішня циліндрична з об'ємом  $V$  та зовнішня у вигляді кільцевого зазору. На внутрішній теплообмінній поверхні циліндричної форми розміщені по колу виступи, що обмежують розвиток теплового і гідродинамічного граничного шару. Теплообмінник працює у напівпроточному режимі. Тепла (гаряча) суміш з реактора при вивантаженні заповнює зовнішню ємність 1 і знаходиться в ній до наступного вивантаження-завантаження реактора  $\tau_{в-з}$ . За цей час суміш охолоджується проточною водою від температури в реакторі  $t_c'$  до деякої заданої кінцевої температури  $t_c''$  через теплообмінну поверхню 2. Тобто теплота суміші передається воді і вводиться в теплову схему БГУ. В даному випадку у внутрішній і зовнішній ємностях теплообмін відбувається за умов природної конвекції.

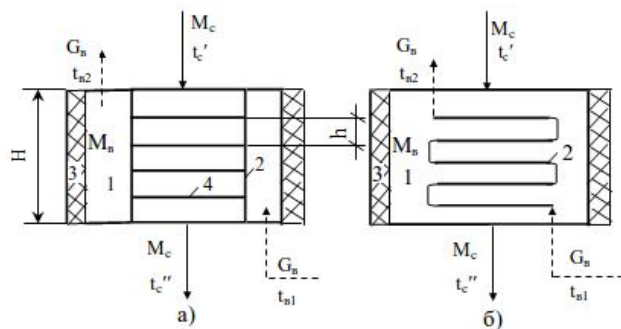


Рис. 2. Принципова схема утилізатора а) ТУ із циліндричною поверхнею теплопередачі; б) ТУ із змійовиковою поверхнею теплообміну: 1 – зовнішня циліндрична ємність; 2 – теплообмінна поверхня; 3 – ізоляція; 4 – виступи.

В теплоутилізаторі (рис. 2б), вода, що нагрівається, рухається всередині труби, а суміш в міжтрубному просторі витримується час  $\tau_{в-з}$ . В міжтрубному просторі відбувається постійний рух суміші відносно труб, який створюється мішалкою, що обертається зі сталою кутовою швидкістю. При цьому лінійна швидкість суміші відносно труб згідно біотехнологічних вимог не перевищує 0,6

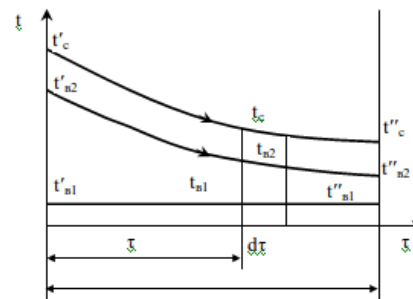


Рис.3. Зміна температур суміші і води за часом в ТУ



м/с. При такій схемі ТУ теплообмін до води і в міжтрубному просторі здійснюється шляхом вимушеної конвекції. За результатами наших досліджень виявлено, що для розрахунку теплообміну в потоках субстратів (сумішей) і у великому об'ємі при повздовжньому омиванні теплообмінної поверхні сумішшю (рис. 2б) можна рекомендувати одну і ту ж відому критеріальну залежність [6, 7].

Вважаємо, що вода в теплоутилізаторі (рис. 2а і 2б) входить на протязі циклу  $\tau_{B-3}$  зі сталою температурою  $t_{B1}$  і виходить з температурою  $t_{B2}$ , яка змінюється в часі. Якісна картина зміни температур суміші і води показана на рис. 3.

На рис. 3 позначені температури на початку процесу охолодження, в процесі та в кінці процесу відповідно:  $t_c', t_c, t_c''$  - температура суміші;  $t_{B1}', t_{B1}, t_{B1}''$  - температура води на вході в ТУ;  $t_{B2}', t_{B2}, t_{B2}''$  - температура води на виході із ТУ. Особливістю такого нестационарного теплообміну є те, що з часом температури непроточного грійного теплоносія (суміші) і проточної (води), що нагрівається зменшуються.

Рівняння теплопередачі і теплового балансу для всієї поверхні теплообміну  $F$  за інтервал часу  $dt$  має вигляд

$$dQ = k \cdot F \cdot \bar{\Delta t} \cdot dt = G_B \cdot C_B \cdot (t_{B1} - t_{B2}) dt = M_C \cdot C_C \cdot dt_C \quad (1)$$

де  $\bar{\Delta t}$  - середня різниця температур між теплоносіями в момент часу  $\tau$ ;  $dt_c$  - величина зміни температури суміші за проміжок часу  $dt$ ;  $k$  - коефіцієнт теплопередачі від суміші через поверхню  $F$  до води в момент часу  $\tau$ ;  $C_B, C_C$  - відповідно теплоємність води і суміші в момент часу  $\tau$ ;  $M_C$  - маса суміші у кільцевому зазорі (рис. 2а) циліндричній ємності (рис. 2б) ТУ;  $M_C = \rho_c \cdot V_{ТУ}$ .

Температурний напір  $\Delta t$  в момент часу  $\tau$  розраховується як середньологарифмічна різниця температур

$$\bar{\Delta t} = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_C - t_{B1}}{t_C - t_{B2}}} \quad (2)$$

Коефіцієнт теплопередачі осереднений по поверхні теплопередачі  $F$  і відповідно за час  $\tau_{B-3}$  визначається за відомим рівнянням

$$k = \psi_3 \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \quad (3)$$

$\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від суміші до поверхні теплообміну усереднений по поверхні теплообміну і відповідно за проміжок часу  $\tau_{B-3}$  і температур ( $t_c' \dots t_c$ ) і ( $t_c' \dots t_c''$ );  $\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні теплообміну до води, що нагрівається, усереднений по поверхні теплообміну і відповідно за проміжок часу  $\tau_{B-3}$  і температур ( $t_{B1} \dots t_{B2}$ ) і ( $t_{B1} \dots t_{B2}''$ );  $\delta_{cm}, \lambda_{cm}$  - відповідно товщина стінки, теплопровідність матеріалу стінки;  $\psi_3$  - коефіцієнт зниження коефіцієнта теплопередачі у зв'язку із забрудненням поверхні теплообміну.

Для визначення коефіцієнтів тепловіддачі від поверхні теплообміну до води  $\alpha_2$  у різних режимах теплообміну достатньо методичних рекомендацій і надійних залежностей [6, 7]. Проблеми виникають в разі визначення інтенсивності теплообміну між поверхнею теплообміну і сумішшю з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості.

Авторами визначені поверхні теплообміну та коефіцієнти тепловіддачі від суміші до поверхні теплообміну  $\alpha_1$  з використанням ЕРМ. Для розрахунків вибрані різні види органічних сумішей вологістю 90% і температурою 20...55 °С. Виконані конструктивні розрахунки напівпроточного коаксіального утилізатора (рис.2а) та із зміювикою поверхнею теплообміну (рис.2б). При цьому визначені основні конструктивні параметри теплообмінників: площа поверхні теплообміну  $F$ , внутрішній діаметр циліндричної ємності  $D$ , висота  $H$  та загальна довжина труб теплообмінника  $L$  відповідно до діаметра  $d$ . Площа поверхні теплообміну в напівпроточному коаксіальному утилізаторі в 6-7 разів більша за площу теплообмінника в утилізаторі, який має зміювикову поверхнею теплообміну (рис. 2б).

Проведено чисельний експеримент. При цьому побудовані залежності площі зміювикового теплообмінника і температури води на виході з ТУ, від витрати води  $G_B$ , які розраховані з використанням рівнянь (1 – 3) та ЕРМ. Отже, використання ЕРМ дозволяє вибрати поверхню теплообмінника-утилізатора, яка задовольнить технологічну потребу у воді із заданою температурою.

Також визначені параметри роботи теплообмінників  $t_c$  та  $t_B$  у часі для прийнятих конструктивних параметрів  $d, L, F$ . Виявлено, що спроектовані теплообмінники для утилізації

теплоти різних сумішей забезпечують вирішення проблеми утилізації теплоти в БГУ. На основі побудованих залежностей встановлено, що найбільш доцільна в даному випадку принципова схема ТУ (рис. 2б) для утилізації теплоти відпрацьованої суміші, коли із конструктивних міркувань не потрібно збільшувати поверхню теплообміну.

### Висновки

1. Застосування ЕРМ дозволило виконати проектні розрахунки теплообмінників та виявити доцільні конструкції теплообмінників-утилізаторів і їх режими роботи.
2. Експериментально-розрахунковий метод дозволяє вибрати з врахуванням технологічної потреби у воді певної температури необхідну поверхню теплообміну.
3. Площі поверхонь теплообміну ТУ з вимушеною конвекцією для утилізації теплоти субстратів в 6...7 разів менші за площі поверхонь ТУ за умов природної конвекції.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С.Й. Енергоефективні схеми біогазових установок з утилізацією теплоти / С.Й. Ткаченко, Н.В. Резидент, І.В. Буженко // Энергосбережение. – 2009. – № 2. – С. 11 – 13.
2. Патент України 41855 А, МПК7 C02F11/04. Установа для отримання біогазу/Ткаченко С.Й., Резидент Н.В., Пішеніна Н.В. Опубл. 10.06.2009. – К.: Промислова власність. – Бюл. №11. – 3с.
3. Ткаченко С. Й. Нові аспекти застосування теорії подібності в теплотехнічних розрахунках систем біоконверсії [Електронний ресурс] / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – №2. Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/4423>
4. Резидент Н.В. Застосування експериментально-розрахункового методу при розробці теплообмінного обладнання біоконверсії / Н.В. Резидент // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 233 – 237.
5. Патент України на винахід № 97021, (51) МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В., Резидент Н. В; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № a201005661; заявл. 11.05.2010; опубл. 26.05.2011, Бюл. № 2.
6. Ткаченко С.Й. Теплообмін в системах біоконверсії : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.
7. Ткаченко С.Й. Тепловіддача до багатокомпонентного середовища в умовах вимушеної і природної конвекції / Ткаченко С.Й., Резидент Н.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 1. – С. 111 – 114.
8. Ткаченко С.Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. — Вінниця : ВНТУ, 2017. — 124 с.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com)

**Резидент Наталія Володимирівна** – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

**Ткачук Владислав Сергійович** – студент групи ТЕ – 14б, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [fo\\_rrest@mail.ru](mailto:fo_rrest@mail.ru)

**Stanislav Tkachenko** – Dc. Sc., Professor, Heat of the power system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com)

**Nataliya Rezydent** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

**Vladyslav Tkachuk** – student group TE – 14b, Faculty of Civil Engineering, Heat and Power engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [fo\\_rrest@mail.ru](mailto:fo_rrest@mail.ru)

# ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЛИБОКОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проаналізовані закономірності зміни інтенсивності утилізації теплоти відхідних газів із котлів за рахунок «сухого» і конденсаційного теплообміну в контактних утилізаторах. Визначена енергетична ефективність утилізації теплоти палива в парових і водогрійних котлах.*

**Ключові слова:** паровий котел, водогрійний котел, відхідні газы, контактний утилізатор, температура точки роси.

## *Abstract*

*Regularities of heat recovery intensity of flue gases change from the boilers at the expense of «dry» and condensation heat exchange in contact type waste heat boilers are analyzed. Determination energy efficiency of heat utilization of fuel in steam and hot water boilers.*

**Key words:** steam boiler, hot – water boiler, flue gases, contact waste heat boiler, dew point temperature.

## Вступ

За умов підвищення цін на паливо актуальною задачею є його економія. Одним із ефективних способів економії палива може вважатися використання низькотемпературної скидної теплоти в тепловикористальних установках, зокрема, в парових і водогрійних котлах [1]. Енергетичний рівень теплових викидів від котлів в промислових та опалювальних котельнях є потужним резервом енергозбереження [2].

Актуальність утилізації теплоти пояснюється тим, що це малозатратні способи підвищення ефективності використання палива. Продукти згорання газоподібного палива містять порівняно високу концентрацію водяної пари на утворення якої витрачається частка теплоти згорання палива. Утилізація теплоти відхідних газів дає можливість використовувати як фізичну так і конденсаційну складові теплоти продуктів згорання палива. Використання частки теплоти відхідних газів призводить до зменшення втрат з відхідними газами, а також зниження шкідливих викидів в атмосферу. Крім того, через зменшення витрати палива зменшуються витрати електроенергії на приводи тягодуттєвого устаткування.

## Основна частина

Зважаючи на вищевикладене, авторами була поставлена задача оцінити закономірності глибокої утилізації за рахунок «сухого» та конденсаційного теплообміну, а також оцінити енергетичну ефективність утилізації теплоти газоподібного палива в парових та водогрійних котлах.

Для досягнення поставленої мети введено поняття коефіцієнтів утилізації теплоти за рахунок «сухого»  $\psi_c = (t_{вг} - t_{кв})/t_{вг}$  та конденсаційного теплообміну  $\psi_{кн} = (t_r - t_{кв})/t_r$  [3]. Досліджені закономірності їх зміни від температури відхідних газів  $t_{вг}$  та температури газів за контактним утилізатором  $t_{кв}$ . В результаті досліджень встановлено, що інтенсивність «сухого» теплообміну лінійно зменшується зі зменшенням температури відхідних газів за контактним утилізатором, а утилізаційна потужність «сухого» теплообміну лінійно зростає зі збільшенням коефіцієнта утилізації теплоти  $\psi_c$  і зменшенням ККД котла.

Характер зміни коефіцієнтів конденсаційного теплообміну  $\psi_k$  аналогічний до  $\psi_c$  і має лінійний характер, але для однакового інтервалу зміни температур газів за контактним утилізатором

значення  $\psi_c$  більші за значення  $\psi_k$ . Основний вплив на інтенсивність конденсаційного теплообміну здійснює температура відхідних газів за контактним утилізатором, зі збільшенням якої значення  $\psi_k$  зменшуються, а зі збільшенням температури точки роси  $t_R$  збільшуються.

В процесі досліджень отримані прості та зручні для інженерної практики формули для обчислення повної потужності утилізації  $Q_{yt}$  та економії палива в разі застосування утилізації теплоти відхідних газів у контактних утилізаторах [3]. На основі виведених залежностей оцінена ефективність застосування утилізації теплоти відхідних газів на для котлів типу КОЛВІ – 1000, ПТВМ – 30, ВК–22 та ін.

На основі виведених закономірностей отримані результати, які показують, що за рахунок глибокої утилізації теплоти відхідних газів ККД котлів можна збільшити на 6...10%, а також зменшити витрату палива і кількість шкідливих викидів в атмосферу. Крім того, зменшуються витрати електроенергії на власні потреби котельної установки. Більш ефективна утилізація в котлах без розвинених хвостових поверхонь нагріву. Ефективність утилізації може бути підвищена за рахунок збільшення температури точки роси.

Орієнтовними розрахунками встановлено, що при нинішніх цінах на енергоносії термін окупності утилізаційної установки становитиме менше 3 років. Залежно від потужності два або більше котлів можуть працювати на єдину утилізаційну установку, що значно скорочує термін її окупності.

### Висновки

1. Встановлено, що основний вплив на інтенсивність утилізації теплоти відхідних газів здійснює температура відхідних газів, температура газів за контактним утилізатором та температура точки роси.

2. Оцінена ефективність застосування глибокої утилізації теплоти відхідних газів для парових та водогрійних котлів різного типу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боженко М. Ф. Каскадна утилізація теплоти димових газів опалювальних водогрійних котельень / М. Ф. Боженко, І. Я. Перевьорткіна // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 1. – С. 81 – 88.

2. Ефимов А. В. Система глибокої утилізації теплоти газів, уходящих из котельных агрегатов / А. В. Ефимов; А. Л. Гончаренко, Л. В. Гончаренко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 13. – С. 73 – 80.

3. Чепурний М. М Утилізація теплоти відхідних газів із котлів в утилізаторах контактного типу / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент, Т. М. Олексина, Ю. М. Возіян // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – №4.

*Резидент Наталія Володимирівна* – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

*Шндеровський Андрій Тимофійович* – студент групи ТЕ – 14б, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: fo\_rrest@mail.ru

*Nataliya Rezydent* – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

*Andriy Shynderovskyi* – student group TE – 14b, Faculty of Civil Engineering, Heat and Power engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: fo\_rrest@mail.ru

*Наукове видання*

## **Енергоефективність в галузях економіки України – 2017**

Збірник матеріалів  
Міжнародної науково-технічної конференції  
11-13 жовтня 2017 року

Підписано до друку 10.11.2017 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 30,82.  
Наклад 21 прим. Зам. № 2017-408.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
Інформаційний редакційно-видавничий центр,  
ВНТУ, ГНК, к.114, Хмельницьке шосе 95,  
м. Вінниця, 21021,  
Тел. (0432) 59-85-32, 59-87-38.  
**press.vntu.edu.ua**  
E-mail: [kivc.vntu@gmail.com](mailto:kivc.vntu@gmail.com)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
Серія ДК 3516 від 01.07.2009 р.