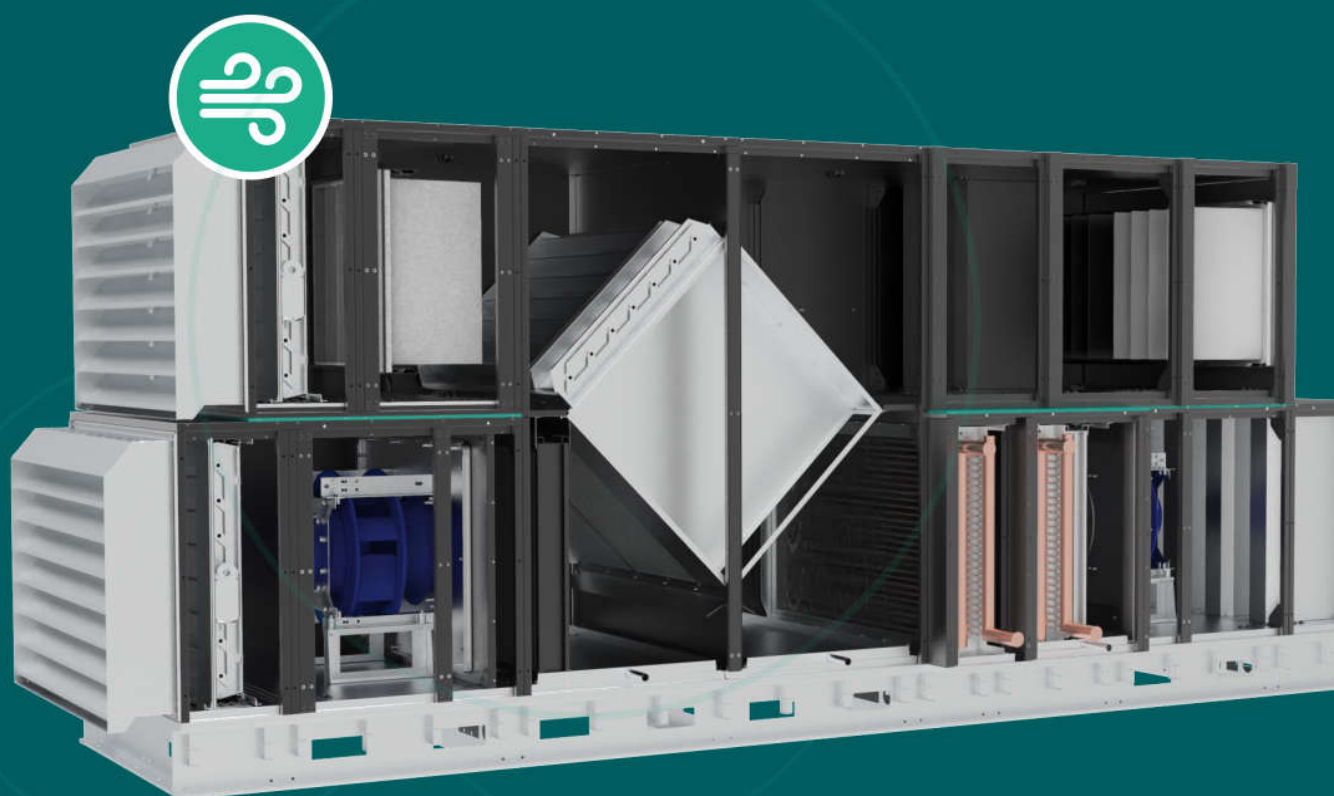


Міжнародна науково-практична конференція  
«Довкілля, ресурси, енергія» ERE-2021,  
м. Київ



# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

КИЇВ 2021

37

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
Kiev National University of Construction and Architecture

**VENTYLIATSIIA, OSVITLENNIA  
TA TEPLOHAZOPOSTACHANNIA**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

*founded in 2001*

ISSUE 37

Kyiv 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет  
будівництва і архітектури

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

*заснований у 2001 році*

ВИПУСК 37

Київ 2021

УДК 697

ISSN 2409-2606

B29

**Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання:** науково-технічний збірник. – Вип. 37 / відповідальний редактор В. О. Мілейковський. – Київ: КНУБА, 2021. – 68 с.

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень, питання теорії і практики з опалення, вентиляції і кондиціонування повітря, теплопостачання та газопостачання. Призначений для наукових працівників, викладачів, виробників, докторантів, аспірантів та студентів.

**Редакційна колегія:** докт. техн. наук, доцент В. О. Мілейковський (відповідальний редактор); докт. техн. наук, професор В. П. Корбут (заступник відповідального редактора); докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України В. М. Михайленко; докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України О. Л. Підгорний; докт. екон. наук, доцент К. М. Предун; докт. техн. наук, професор О. В. Приймак; докт. техн. наук, професор Т. М. Ткаченко; канд. техн. наук, професор В. В. Трофімович; докт. техн. наук, ст. наук. співр. Г. В. Жук; докт. техн. наук, професор В. А. Кравець; докт. техн. наук, професор Г. Гавардашвілі (Грузія); докт. техн. наук, професор З. Гвішіані (Грузія); докт. техн. наук, професор Н. Мамедов (Азербайджан); докт. техн. наук, професор Б. Рашуо (Сербія); доктор наук, професор А. Рогожа (Литва); докт. техн. наук, професор Г. Собчук (Польща); докт. техн. наук, професор М. Улевіч (Польща); доктор інженер, доцент А. Ліс (Польща); доктор інженер, доцент А. Уйма (Польща); докт. техн. наук, професор О. Токмаджян (Вірменія); докт. техн. наук, професор А. Маргарян (Вірменія); докт. техн. наук, доцент В. Токмаджян (Вірменія); доктор Г. Глінцерер (Австрія).

Рекомендовано до випуску Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 29 березня 2021 року, протокол № 39.

Адреса редакційної колегії: Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теплогазопостачання і вентиляції та кафедра теплотехніки, Повітрофлотський просп., 31, м. Київ, 03037, Україна.  
тел. +380(44)245-48-33

## ЗМІСТ

<i>До відома авторів</i> .....	5
В. П. Корбут, В. О. Мілейковський, В. Г. Дзюбенко, І. А. Саченко <i>Використання взаємодії опуклих напівобмежених струмин при вентиляції зі змінною витратою повітря</i> .....	7
Б. І. Басок, Б. В. Давиденко, Л. М. Кужель, О. М. Лисенко, Г. М. Веремійчук <i>Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі</i> .....	13
О. В. Шаповал, Н. В. Чепурна, М. А. Кириченко <i>Аналіз ефективності роботи повітряного теплового насоса залежно від коливань температури зовнішнього повітря</i> .....	24
А. Уйма <i>Аналіз польських норм щодо опору теплопередачі й теплового комфورتу при використанні підлогового опалення (російською мовою)</i> .....	31
П. М. Гламаздін, Е. Сірохіна <i>Енергоефективна оптимізація системи теплопостачання нафтотерміналу</i> .....	42
Т. М. Ткаченко, І. О. Прокопенко <i>Оздоровлення повітряного середовища закритих приміщень за допомогою фітодизайну фітонцидними рослинами</i> .....	54
К. М. Предун, В. А. Коновалюк, Ю. Й. Франчук <i>Удосконалення системи обліку природного газу в одиницях енергії</i> .....	62

## CONTENTS

<i>Information for the Authors</i> .....	5
V. Korbut, V. Mileikovskiy, V. Dziubenko, I. Sachenko <i>The use of the interaction of convex wall jets for ventilation with variable air flow (in Ukrainian)</i> .....	7
B. Basok, B. Davydenko, L. Kuzhel, O. Lysenko, A. Veremiichuk <i>Experimental studies of burning plant pellets in a domestic boiler (in Ukrainian)</i> .....	13
O. Shapoval, N. Chepurna, M. Kirichenko <i>An analysis of effectiveness of air heat pump operation dependent on change of external air temperature (in Ukrainian)</i> .....	24
A. Ujma <i>Analysis of Polish norms on thermal resistance and thermal comfort for underfloor heating (in Russian)</i> .....	31
P. Hlamazdin, E. Sirokhina <i>Energy efficient optimization of heat supply system for oil terminal (in Ukrainian)</i> .....	42
T. Tkachenko, I. Prokopenko <i>Improvement of the indoor air environment using phytodesign by phytoncidal plants (in Ukrainian)</i> .....	54
K. Predun, V. Konovalyuk, Yu. Franchuk <i>Improvement of the natural gas metering system in energy units (in Ukrainian)</i> .....	62

## **До відома авторів**

Шановні автори та рецензенти статей науково-технічного збірника “Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання”.

Продовжуємо публікацію статей за матеріалами Другої Міжнародної науково-практичної конференції “Довкілля, ресурси, енергія” ERE-2021 факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури.

Звертаємо увагу на неухильне дотримання вимог до рукописів, розміщених на сайті <http://vothp.knuba.edu.ua/about/submissions>.

Кількість слів анотації має бути суворо 100...250 українською і російською мовами та не менше 1800 знаків англійською мовою, якщо стаття написана українською або російською мовою. Якщо стаття написана англійською, то кількість слів анотації має бути 100...250 англійською і російською мовами та не менше 1800 знаків українською мовою.

Рисунки мають чітко читатися після внесення до тексту. Фактичний розмір шрифту на рисунках має бути 9...12 пт. Треба уникати світлих кольорів на діаграмах і графіках, особливо жовтого та світло-сірого.

## **Information for the Authors**

Dear authors and reviewers of articles of the Scientific and Technical Collection “Ventyliatsiia, Osvitlennia ta Teplohozopostachannia” (“Ventilation, Illumination and Heat and Gas Supply”).

In the issue, we continue publication of articles on the materials of the Second International scientific and practical conference “Environment, Resources, Energy” ERE-2021 of Engineering Systems and Ecology Department, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Pay attention to the strict adherence to the Requirements for manuscripts, placed on the site <http://vothp.knuba.edu.ua/about/submissions>.

The number of words of the annotation should be strictly 100...250 in Ukrainian and Russian languages and at least 1800 characters in English, if the article is written in Ukrainian or Russian. If the article is written in English, then the number of annotation words should be 100...250 in English and Russian, and at least 1800 in Ukrainian.

Figures should be clearly read after insertion into the text. The actual size of the font on the figures should be 9...12 pt. Avoid light colours on charts, especially yellow and light grey.

# ВЕНТИЛЯЦІЯ ДЛЯ ПОБУТОВОГО СЕГМЕНТУ

**Сучасне житло** - це про комфорт, безпеку та енергоефективність за замовчуванням. Вентиляція в квартирі / приватному будинку - це турбота про здоров'я мешканців. Вона забезпечує добре самопочуття і міцний сон.

Система вентиляції підтримує необхідний рівень кисню в повітрі і контролює вміст CO<sub>2</sub>. Захищає від пилу і бруду. Фільтри дозволяють подавати в приміщення тільки очищений свіже повітря з вулиці.



## ПІДТРИМУЄ ОПТИМАЛЬНУ ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ

Забезпечує правильний водний баланс шкіри і волосся, ніякої сухості. Зникає статична напруга поверхонь і практично відсутній пил в квартирі.



## ПЕРЕШКОДЖАЄ УТВОРЕННЮ НАДЛИШКОВОЇ ВОЛОГІСТІ

Висока теплоізоляція сучасних будинків призводить до накопичення вологості і алергенів. Підвищена вологість призводить до зростання грибка, цвілі і розмноження пилових кліщів.



## ПРОВІТРЮВАННЯ - НЕ АЛЬТЕРНАТИВА ВЕНТИЛЯЦІЇ

Воно не забезпечить комфортний клімат і необхідні параметри повітря. Відкриті вікна - джерело шуму, пилу, неприємних запахів і комах з вулиці, холодні протяги, а найголовніше - причина тепловтрат.

## Що ви отримаєте?



Тихе обладнання, яке не заважатиме роботі або відпочинку.



За рахунок максимально енергоефективних комплектуючих ви економите на рахунках за електроенергію.



Устаткування поставляється в компактному корпусі, легко адаптується під інтер'єр.



Легке в монтажі і налаштуванні обладнання, тому що воно поставляється з системою «включи і користуйся» (Plug-and-Play);



Всі установки оснащені вбудованим Wi-fi модулем, який дозволить вам управляти основними параметрами устаткування Aerostar за допомогою смартфона з будь-якої точки світу.



Всі установки ви отримуєте вже з вбудованою автоматикою. Контролери і всі елементи управління налаштовані і готові до роботи.



УДК 697.92

## Використання взаємодії опуклих напівобмежених струмин при вентиляції зі змінною витратою повітря

В. П. Корбут<sup>1</sup>, В. О. Мілейковський<sup>2</sup>, В. Г. Дзюбенко<sup>3</sup>, І. А. Саченко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [predsedatel@emw.kiev.ua](mailto:predsedatel@emw.kiev.ua),  
ORCID: 0000-0002-4560-5463

<sup>2</sup> д.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [v\\_mil@ukr.net](mailto:v_mil@ukr.net),  
ORCID: 0000-0001-8543-1800

<sup>3</sup> к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [vdziubenko@gmail.com](mailto:vdziubenko@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-2468-2555

<sup>4</sup> к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [ilay19@ukr.net](mailto:ilay19@ukr.net),  
ORCID: 0000-0002-3716-0249

*Анотація.* Підтверджено високу стабільність схеми організації повітрообміну з подачею повітря над робочою зоною опуклими напівобмеженими струминами, які взаємодіють між собою в умовах змінної витрати повітря. Ця схема доцільна у випадках, якщо неможливо подати повітря безпосередньо до робочої зони. Виконано математичне моделювання організації повітрообміну з подачею повітря над робочою зоною у виставковій залі при вентиляції зі змінною витратою в усьому можливому діапазоні регулювання продуктивності. Завдяки силі розрідження, що втримує струмину на поверхні настилення, вплив сил гравітації значно зменшується. Це дозволяє уникнути автоматизації повітророзподільних пристроїв задля непорушення схеми циркуляції повітря в приміщенні гравітаційними силами. Достатньо встановити клапани з приводами на відгалуженнях мережі повітроводів. Отже, підтверджується економічна вигода системи як на етапі створення, так і під час експлуатації.

*Ключові слова:* вентиляція, кондиціонування повітря, опукла напівобмежена струмина, організація повітрообміну.

**Вступ.** Сталий розвиток [1] передбачає ощадне та ефективне споживання ресурсів, серед яких енергетичні. Закон України “Про енергетичну ефективність будівель” [2] робить енергоефективність пріоритетом державної політики. Методика [3] визначення енергоефективності будівель враховує, що системи формування мікроклімату є одним з визначальних споживачів енергії. Адже на них припадає понад 30 % енергетичного балансу держави та понад 60 % енергетичного балансу будівель. Забезпечення мікроклімату займає 50 % витрат енергії Європейського Союзу [4]. Тому розроблення енергоефективних систем формування мікроклімату є першочерговим завданням розвитку будівництва.

**Актуальність дослідження.** Підвищення ефективності організації повітрообміну дозволяє суттєво знизити витрати енергії на обробку та переміщення вентиляційного повітря. Це підвищує загальну енергоефективність будівель і є актуальною задачею.

**Останні дослідження та публікації.** Споживання енергії системами вентиляції та кондиціонування повітря визначається двома компонентами: ефективна обробкою повітря (припливно-витяжні вентиляційні установки, кондиціонери, повітроводи тощо) та ефективна організація повітрообміну.

Організувати повітрообмін можливо за однією з типових схем [5]. Однак, особливості

різних приміщень (форма, розподілення надлишків шкідливостей тощо) не дозволяє застосувати ці схеми в усіх випадках і вимагає нестандартних підходів.

Прикладом є великі виставкові зали для комерційних виставок. Різноманітне розташування виставкових стендів обмежує подачу повітря до робочої зони. Повітророзподільники може бути затулено виставковими стендами. Отже, найбільш ефективною буде подача повітря якомога ближче до робочої зони [6].

У цій роботі розглянуто створений на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції повітророзподільник ПЕС-Д (рис. 1), що подає повітря над робочою зоною струминками, які настилаються на опуклу циліндричну поверхню і взаємодіють між собою. Після відриву затухання струмини інтенсифікується диском.

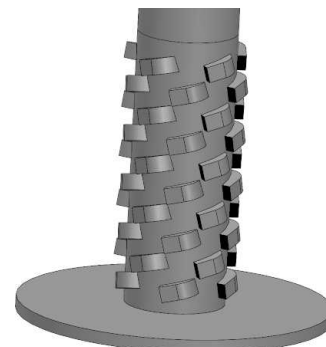


Рис. 1. Повітророзподільник ежекційний сопловий з диском ПЕС-Д [6]

У роботі розглянуто схему організації повітрообміну (рис. 2) для виставкової зали Міжнародного виставкового центру в місті Києві. Площа підлоги становить  $5258 \text{ м}^2$ , висота дорівнює  $19 \text{ м}$ , витрата зовнішнього повітря відповідає мінімальній і становить  $L_{ext} = 21,667 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $78000 \text{ м}^3/\text{год}$ ).

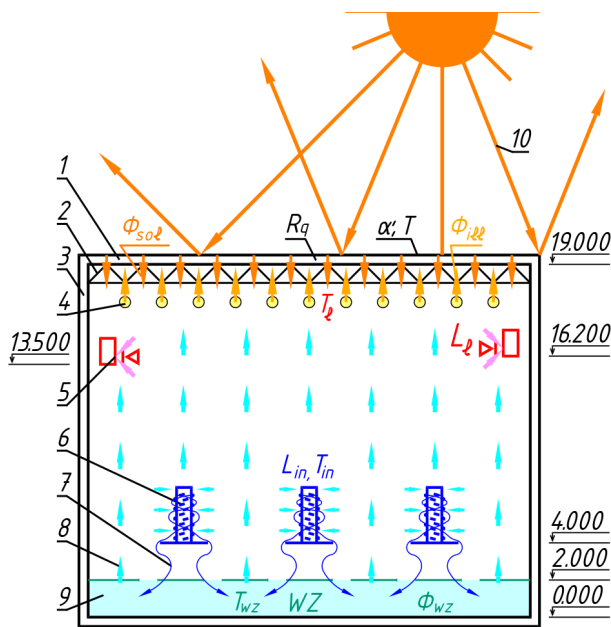


Рис. 2. Пропонована схема організації повітрообміну виставкової зали [6]:

1 – дах будівлі; 2 – ферма; 3 – стіни приміщення; 4 – світлодіоди; 5 – витяжні решітки; 6 – припливні повітророзподільники; 7 – припливні струміни; 8 – потоки повітря в приміщенні; 9 – робоча зона; 10 – сонячна радіація:

$\Phi_{sol}$  – теплота надходження від сонячної радіації, Вт;  
 $\Phi_{lit}$  – теплота надходження від штучного освітлення, Вт;  
 $R_q$  – опір теплопередачі покрівлі,  $(\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$ ;  $\alpha'$  – коефіцієнт поглинання сонячної радіації;  $T$  – температура поверхні, К;  
 $L_{t,up}$  та  $L_{t,mid}$  – витрата витяжного повітря з верхньої та середньої зони,  $\text{м}^3/\text{с}$

На відмітці  $4,0 \text{ м}$  (для розміщення виставкових конструкцій заввишки до  $3,5 \text{ м}$ ) розміщено 24 рівномірно повітророзподільники ПЕС-Д-8-10/15-0,9 діаметром циліндричної поверхні та вхідного патрубку  $8 \text{ дм}$  ( $800 \text{ мм}$ ). Він має 10 рядів сопел під кутом  $\pi/12$  ( $15^\circ$ ) до горизонту. Загальна площа виходу повітря дорівнює  $0,9$  площі перерізу вхідного патрубку.

У роботі [6] було доведено високу ефективність такої схеми порівняно з використанням закручених струмін. Однак, за можливості слід додатково підвищувати енергоефективність.

Серед найбільш енергоефективних рішень вентиляції та кондиціонування повітря є системи [7,8] зі змінною витратою повітря (Variable Air Volume – VAV). Основною проблемою [7] є занадто високі капітальні вкладення. Це призводить до завищеного терміну окупності – біля 10 років. При всіх екологічних та експлуатаційних перевагах інвестиційна

привабливість цих систем дуже низька. Тому зменшення вартості систем без погіршення експлуатаційних характеристик є важливим завданням.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є дослідження ефективності організації повітрообміну у виставкових залах з подачею повітря опуклими напівобмеженими струминами при регулюванні витрати повітря.

**Основна частина.** Найбільш енергоефективним є режим роботи систем вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою повітря залежно від потреб приміщення. У більшості систем повітророзподілення зменшення витрати призводить до зміни схеми руху повітря в приміщенні.

Для уникнення порушення циркуляції повітря використовують повітророзподільники змінної геометричної форми [8] з приводами та контролером. Настилання струмини на опуклу поверхню призводить до стабілізації її розвитку завдяки додатковому розрідженню. Це призводить до розширення діапазону регулювання витрати без порушення схеми руху повітря. У результаті усувається потреба автоматичної зміни геометричної форми повітророзподільника.

Відсутність рухомих елементів, приводів і контролерів знижує капітальні вкладення, підвищує надійність системи та зменшує витрати електроенергії на автоматизацію

Розглянемо можливість регулювання витрати в запропонованій схемі організації повітрообміну (рис. 2). Для цього дослідимо режими експлуатації зали при витраті повітря  $50\%$  від номінальної.

Витраті повітря  $50\%$  відповідає  $39,77\%$  від розрахункової кількості людей з урахуванням незмінної мінімальної витрати повітря на одиницю площі зали. Теплота надходження до робочої зони зменшуються відповідним чином.

Як показало моделювання, схема циркуляції повітря в приміщенні залишається коректною (рис. 3). Повітря верхньої зони (хоча і у незначній кількості) підмішується до струмини. Тому температура на виході з сопел має бути знижена до  $285,15 \text{ К}$  ( $12^\circ \text{C}$ ). При витісняючій вентиляції ця температура була б вищою через менше перемішування. Температура та швидкість повітря в робочій зоні відповідають вимогам [9]. При цьому геометрична форма і розміри повітророзподільника залишилися без змін порівняно з даними [6].

Розглянемо режим найменших потреб у холоді – незначна кількість людей і відсутність теплота надходжень від сонячної радіації. Тоді теплота надходження до робочої зони не враховуються.

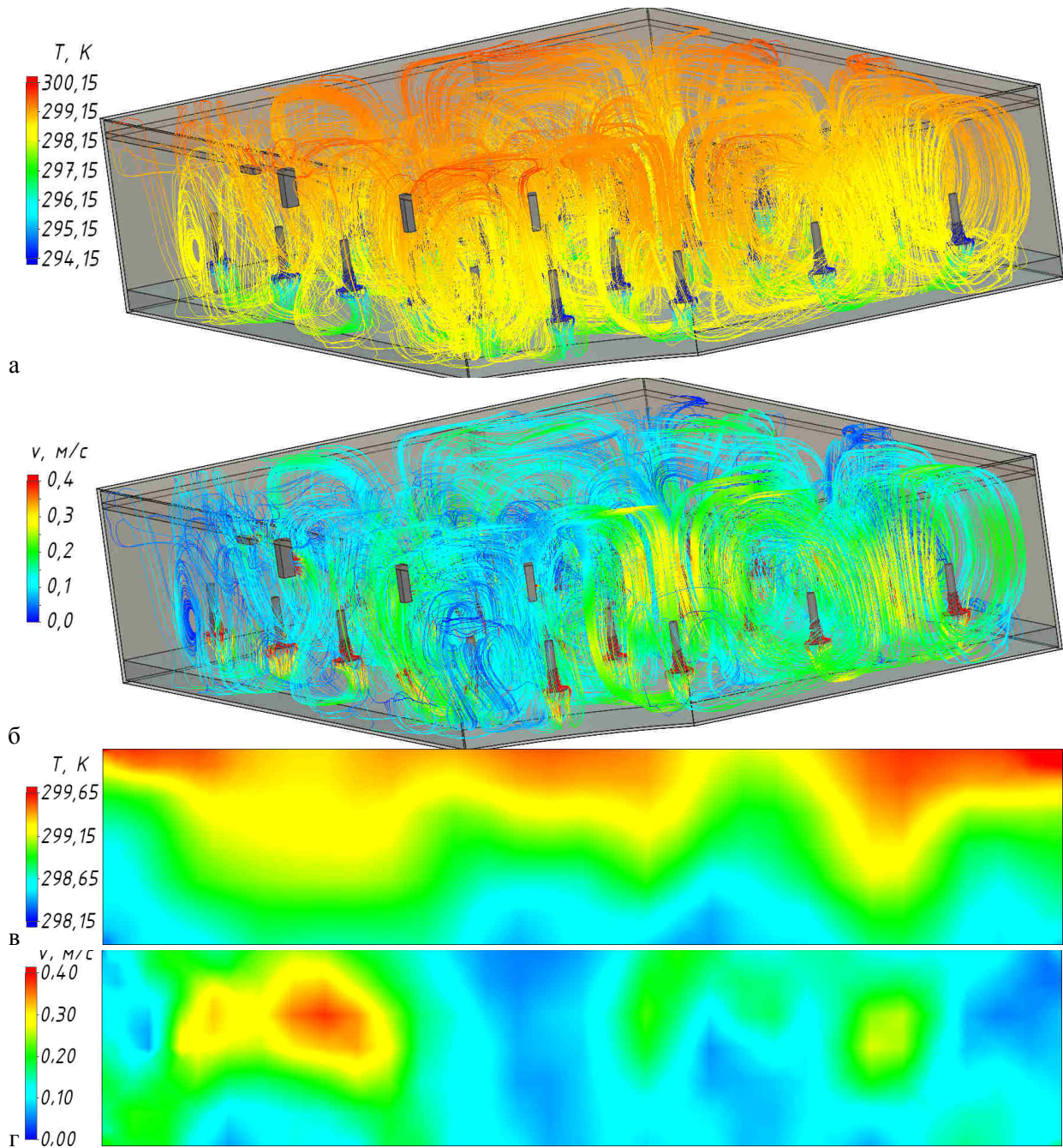


Рис. 3. Результати моделювання при витраті повітря 50 % розрахункової:  
а, б – лінії течії; в – поле температури  $T, K$ , у розрізі; г – те ж швидкості  $v, m/c$

За вимогами [9] повітрообмін має підтримуватися на рівні 25 % або  $5,4175 \text{ m}^3/\text{с}$  ( $19500 \text{ m}^3/\text{год}$ ). Температура припливного повітря має бути знижена до  $284,45 \text{ K}$  ( $11,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ). За результатами моделювання (рис. 4) схема циркуляції повітря в приміщенні залишається незмінною порівняно з рис. 3 без зміни геометричної форми повітророзподільних пристроїв.

Отже, настилення на опуклу поверхню дозволяє стабілізувати струмину завдяки протидії сил тиску архімедовим силам. Це надає широкі можливості використання подібних струмін при

енергоефективних вентиляції та кондиціонуванні повітря зі змінною витратою для подачі повітря до робочої зони або над нею. У такому разі достатнім є центральне регулювання вентилятора та, за потреби, регулювання відгалужень.

**Висновки.** Повітророзподільники типу ПЕС-Д дозволяють глибоко регулювати витрату повітря (мінімум до 25 %) без порушення циркуляції повітря. Це дозволяє мінімізувати потреби в автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою повітря.

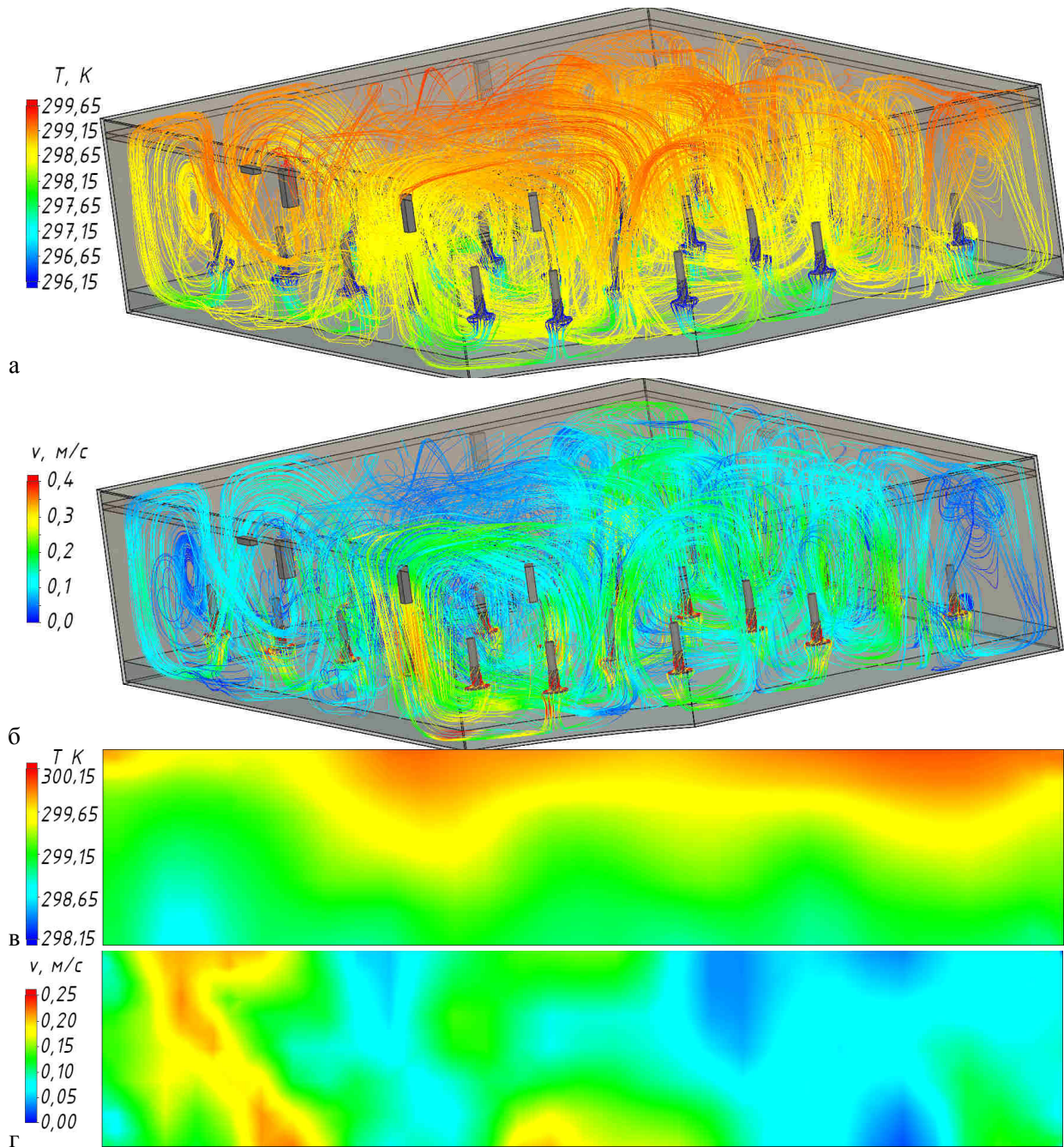


Рис. 4. Результати моделювання за відсутності людей:  
а, б – лінії течії; в – поле температури  $T$ , К, у розрізі; г – те ж швидкості  $v$ , м/с

### Література

1. Цілі сталого розвитку: Україна: Національна доповідь 2017 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Київ: United Nations Ukraine, 2017. 174 с. URL: [https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs\\_nationalreportua\\_web](https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs_nationalreportua_web)
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Відомості Верховної Ради. 2017. №33. С. 359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
4. New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector [Electronic Resource]. December 5, 2019. URL: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/>
5. Bennis A. Experiments and Large-Eddy Simulations of Lobed and Swirling Turbulent Thermal Jets for HVAC's Applications / A. Bennis, H. Fellouah, A. Khelil., L. Loukarfi, H. Naji // Journal of applied fluid mechanics. – 2020. – Vol. 13. – No. 1. – pp. 103-117. <https://doi.org/10.29252/jafm.13.01.29970>

6. Корбут В. П. Повітродозподілення опуклими напівобмеженими струминами при вентиляції з постійною витратою повітря / В. П. Корбут, В. О. Мілейковський // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2021. – Вип. 36. – С. 34-47.
7. Москвітінна А. С. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування використання систем зі змінною витратою повітря для адміністративних будівель / А. С. Москвітінна, М. О. Шишина, М. С. Корчмінський // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2021. – Вип. 37. – С. 45-62.
8. Szczepanik-Scislo T., Schnotale J. An Air Terminal Device with a Changing Geometry to Improve Indoor Air Quality for VAV Ventilation Systems // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – ArticleID: 4947. – 20 p. <https://doi.org/10.3390/en13184947>
9. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 01.01.2014]. Київ: Укрархбудінформ, 2013. V, 141 с. (Державні будівельні норми України).

#### References

1. *Tsili staloho rozvytku: Ukraina: Natsionalna dopovid 2017* / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy. Kyiv: United Nations Ukraine, 2017. 174 с. URL: [https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs\\_nationalreportua\\_web](https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs_nationalreportua_web)
2. *Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII*. Vidomosti Verkhovnoi Rady. 2017. №33. С. 359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. *Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 11.07.2018 № 169*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
4. *New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector* [Electronic Resource]. December 5, 2019. URL: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/>
5. Bennia A., Fellouah H., Khelil A., Loukarfi L., Naji H. ‘Experiments and Large-Eddy Simulations of Lobed and Swirling Turbulent Thermal Jets for HVAC’s Applications.’ *Journal of applied fluid mechanics*. Vol. 13. No. 1. pp. 103-117. URL: <https://doi.org/10.29252/jafm.13.01.29970>
6. Korbut V. P., Mileikovskiy V. O. ‘Povitrorozpodilennia opuklymy napivobmezhenymy strumynamy pry ventyliatsii z postiinoiu vytratou povitria.’ *Ventylitsiia, osviltennia ta teplohapostachannia*. 2021. Vyp. 36. P. 34-47
7. Moskvitina A. S., Shyshyna M. O., Korchminskiy M. S. ‘Tekhniko-ekonomichne ta ekolohichne obgruntuvannia vykorystannia system zi zminnoiu vytratou povitria dlia administratyvnykh budivel.’ *Ventylitsiia, osviltennia ta teplohapostachannia*. 2021. Vyp. 37. С. 45-62
8. Szczepanik-Scislo T., Schnotale J. ‘An Air Terminal Device with a Changing Geometry to Improve Indoor Air Quality for VAV Ventilation Systems.’ *Energies*. 2020. Vol. 13. ArticleID: 4947. 20 p. URL: <https://doi.org/10.3390/en13184947>
9. *Opalennia, ventylitsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhбудінформ, 2013.

УДК 697.92

## Использование взаимодействия выпуклых полуограниченных струй при вентиляции с переменным расходом воздуха

В. П. Корбут<sup>1</sup>, В. А. Милейковский<sup>2</sup>, В. Г. Дзюбенко<sup>3</sup>, І. А. Саченко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [predsedatel@emw.kiev.ua](mailto:predsedatel@emw.kiev.ua), ORCID: 0000-0002-4560-5463

<sup>2</sup> д.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [v\\_mil@ukr.net](mailto:v_mil@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8543-1800

<sup>3</sup> к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [vdziubenko@gmail.com](mailto:vdziubenko@gmail.com), ORCID: 0000-0003-2468-2555

<sup>4</sup> к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [vdziubenko@gmail.com](mailto:vdziubenko@gmail.com), ORCID: 0000-0002-3716-0249

*Аннотация. Подтверждена высокая стабильность схемы организации воздухообмена с подачей воздуха над рабочей зоной выпуклыми полуограниченными струями, которые взаимодействуют между собой, в условиях переменного расхода воздуха. Эта схема целесообразна в случаях, если невозможно подать воздух непосредственно в рабочую зону. Выполнено математическое моделирование организации воздухообмена с подачей воздуха над рабочей зоной в выставочном зале при вентиляции с переменным расходом во всём возможном диапазоне регулирования производительности. Благодаря силе разрежения, удерживающей струю на поверхности настиления, влияние сил гравитации значительно уменьшается. Это позволяет избежать автоматизации воздухораспределительных устройств для соблюдения схемы циркуляции воздуха в помещении гравитационными силами. Достаточно установить клапаны с приводами на ответвлениях сети воздуховодов. Таким образом, подтверждается экономическая выгода системы как на этапе создания, так и во время эксплуатации.*

*Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование воздуха, выпуклая полуограниченного струя, организация воздухообмена.*

UDC 697.92

## The use of the interaction of convex wall jets for ventilation with variable air flow

V. Korbut<sup>1</sup>, V. Mileikovskiy<sup>2</sup>, V. Dziubenko<sup>3</sup>, I. Sachenko<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dr. Hab., Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [predsedatel@emw.kiev.ua](mailto:predsedatel@emw.kiev.ua),  
ORCID: 0000-0002-4560-5463

<sup>2</sup> Dr. Hab., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [v\\_mil@ukr.net](mailto:v_mil@ukr.net),  
ORCID: 0000-0001-8543-1800

<sup>3</sup> PhD., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [vdziubenko@gmail.com](mailto:vdziubenko@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-2468-2555

<sup>4</sup> PhD., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [ilay19@ukr.net](mailto:ilay19@ukr.net),  
ORCID: 0000-0002-3716-0249

*Abstract. The most energy efficient ventilation and air-conditioning is variable air flow (VAV) depending on the needs of a room. To avoid broken air circulation by gravitational forces, the most of air diffusers should change geometrical shape and sizes using additional automation of them. In contrast, high stability of a scheme of air exchange organization with air supply over a working zone by convex wall jets that interact with each other under conditions of variable air flow, is confirmed. This scheme is useful in cases where it is impossible to supply air directly to the working zone. Simulation of the air exchange organization in an exhibition hall of International Exhibition Centre in Kyiv with ventilation at a variable air volume (VAV) in the entire possible range of performance control has been performed. The floor area is 5258 m<sup>2</sup>, the height is 19 m. The outdoor air-flow at design conditions (100 % load) is 21.667 m<sup>3</sup>/s (78000 m<sup>3</sup>/h). The minimum load corresponds to the absence of solar radiation and only some people in the room. The minimum air-flow is 25 % of the design one. The proposal air scheme is single-zonal using 24 diffusers PES-D-8-10/15-0,9 4 m above the floor and air removal from the upper zone. The air distributor have a diameter of a cylindrical surface and an inlet branch pipe of 8 dm (800 mm). There are 10 rows of nozzles at an angle  $\pi/12$  (15 °) to the horizon on each distributor. The total area of the air outlet on them is equal to 0.9 of the cross-sectional area of the inlet pipes. Due to forces of the vacuum holding of jets on the wall surfaces, the influence of gravitational forces is significantly reduced. This avoids the automation of air distribution devices to stabilize the scheme of air circulation in the room by gravitational forces. It is enough to install valves with actuators on branches of a network of air ducts. Thus, the economic benefit of the system is confirmed both at the stage of installing and during operation.*

*Keywords: ventilation, air conditioning, convex wall jet, air exchange organization.*

*Надійшла до редакції / Received 04.01.2021*

УДК 620.9:662.6

## Експериментальні дослідження спалювання рослинних пелет у побутовому котлі

Б. І. Басок<sup>1</sup>, Б. В. Давиденко<sup>2</sup>, Л. М. Кужель<sup>3</sup>, О. М. Лисенко<sup>4</sup>, Г. М. Веремійчук<sup>5</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф., член-кор., зав. відділу НАН України, Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, [basok@itf.kiev.ua](mailto:basok@itf.kiev.ua), ORCID:0000-0002-8935-4248

<sup>2</sup>д.т.н., ст. наук. співробітник, гол. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, [bdavydenko@ukr.net](mailto:bdavydenko@ukr.net), ORCID:0000-0001-8738-7612

<sup>3</sup>к.т.н., ст. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, [kuzhel\\_liliya@ukr.net](mailto:kuzhel_liliya@ukr.net), ORCID:0000-0002-5481-4566

<sup>4</sup>к.т.н., ст. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, [lisenko\\_oks@ukr.net](mailto:lisenko_oks@ukr.net), ORCID:0000-0003-3981-9796

<sup>5</sup>асп., мол. наук. співробітник Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, [averemiichuk@gmail.com](mailto:averemiichuk@gmail.com), ORCID: 0000-0003-1893-3637

*Анотація. За останні роки в Україні все частіше почали використовувати біопаливо. Україна – агропромислова країна, що має великий потенціал для виготовлення та застосування пелет рослинного походження. Наша держава займає шосте місце у світі за виготовленням такого виду біопалива. Проте більша їхня частина (близько 85 %) експортується за кордон. Це пов'язано з низьким поптом на внутрішньому ринку. Солома зернових культур може застосовуватись у комунальній енергетиці. Кількість соломи, що залишається після збирання врожаю, є достатньою для її використання як палива. Таке біопаливо за своїм складом і тепловою здатністю наближається до таких традиційних видів як деревина та торф. Основним завданням даної роботи є експериментальні дослідження спалювання різних видів агропелет. Досліджено особливості спалювання пелет аграрного походження, а саме солом'яних (ячмінь, пшениця) та гранул з качанів кукурудзи. На основі побудованих графічних залежностей було визначено характерні особливості температурних режимів роботи побутового котла при спалюванні агропелет. Використання результатів можливе в комунальній та промисловій теплоенергетиці, соціально-бюджетній сфері та індивідуально-побутовому секторі.*

*Ключові слова: пелети, біопаливо, теплопостачання, пальник, відновлювані джерела енергії, спалювання агропелет, біоресурсний потенціал.*

**Вступ.** В Енергетичній Стратегії України на період до 2035 року одним з ключових завдань є подальший розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Очікується досягнення радикального прогресу у сфері ВДЕ через збільшення їхньої частки в кінцевому споживанні до 11 % (8 % від загального первинного постачання енергії) за рахунок проведення стабільної та прогнозованої політики у сфері стимулювання розвитку ВДЕ та у сфері залучення інвестицій.

Одним з головних напрямів підвищення енергоефективності економіки України має стати скорочення витрат енергії у системах транспортування та розподілу електричної й теплової енергії шляхом технічної, технологічної модернізації та концептуального перегляду схем енергозабезпечення. При цьому має бути враховано досягнення у сфері децентралізованого енергопостачання, зокрема за рахунок використання ВДЕ та управління енергоспоживанням [1].

На кінець 2019 року потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики в Україні становила майже 7000 МВт, серед яких 5000 МВт припадає на сонячні електростанції і лише близько 200 МВт – на біоенергетичні

установки. На відміну від сонячних і вітрових електростанцій, установки на біомасі та біогазі виробляють прогнозований обсяг електроенергії. Адже їхня робота не залежить від часу доби й погоди. Це не загрожує стабільній роботі енергосистеми.

Для роботи біоенергетичних електростанцій, зазвичай, необхідне стабільне постачання сировини. Сировиною для біоенергетики у більшості випадків виступають відходи інших виробництв. Прикладами є лушпиння соняшнику, відходи життєдіяльності тварин і птиці, органічні побутові відходи, а також стебла пшениці, кукурудзи та інших рослин, деревина. Цієї сировини в Україні з її потужним аграрним потенціалом на сьогодні і в майбутньому достатньо при правильному підході [2] до ведення господарства.

**Актуальність дослідження.** За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження близько 40 % аграрних відходів країни (близько 34 млн. т. соломи, відходів кукурудзи й соняшнику), використаних як паливо в біоенергетиці, дозволять замінити в еквіваленті до 10 мільярдів м<sup>3</sup> газу на рік. Це відповідає об'єму природного газу, який наша

країна змушена щороку імпортувати [2].

Підгрунтям для розвитку біопалива є законодавча база в даній галузі. Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження запропоновано положення до законодавчої політики щодо підтримання вирощування енергетичних рослин [3].

На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні поки залишаються на досить низькому рівні. З іншого боку, вона не становить загрози для стабільності вітчизняної енергосистеми і виглядає логічним продовженням розвинутого аграрного комплексу країни.

Потужність теплових станцій в біоенергетиці на сьогодні становить понад 5000 МВт. Це дозволяє замінити на рік понад 4 млрд. м<sup>3</sup> газу. Це є істотним показником, оскільки Україна щорічно споживає близько 30 млрд. м<sup>3</sup> газу.

Парадоксально, але тепла енергія з біомаси не стимулюється державою у вигляді високого «зеленого» тарифу. Навпаки, теплота з біомаси продається на 10 % дешевше, ніж теплота з природного газу [2]. І це при тому, що спалювання біопалива не порушує баланс парникових газів у атмосфері, як і інші відновлювані джерела. Вивільнюється лише та кількість CO<sub>2</sub>, яка була секвестрована рослинами в процесі зростання за один сезон.

Таким чином, актуальність досліджень щодо підвищення ефективності використання біопалива та стимулювання державних органів до підтримування даної галузі є надзвичайно актуальною задачею зміцнення енергетичної та екологічної безпеки й незалежності України.

**Останні дослідження та публікації.** Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства, біоенергетика стане одним з найперспективніших джерел енергії [4]. Ця галузь енергетики пов'язана з виробництвом і використанням екологічно безпечної, соціально прийнятної та економічно конкурентоспроможної енергії.

За оцінками експертів найближчими роками Україна може збільшити виробництво зернових і олійних культур до 100 млн. т. на рік [5]. Таким чином, країна має стабільно високі обсяги виробництва основних сільськогосподарських культур з перспективою подальшого зростання, що є потужним джерелом різних видів відходів та побічної продукції [6].

Було проведено оцінювання, яке показало, що на сьогодні біомаса аграрного походження залишається основною складовою енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Це – солома зернових культур та ріпаку, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно і

соняшника, а також соняшникове лушпиння

За даними 2017 р., економічний потенціал цих видів біомаси, доступний для виробництва енергії, становить майже 9 млн. т. н. е., що відповідає 43 % загального потенціалу біомаси (20,9 млн. т. н. е.). Повне використання енергетичного потенціалу агробіомаси може забезпечити близько 18 % кінцевого споживання енергії в Україні, яке у 2017 році становило 50,1 млн. т. н. е. [7].

В Інституті землеробства Національної аграрної академії наук України було проведено дослідження з метою виявлення найпродуктивніших видів трав'яних енергетичних культур для плантаційного вирощування на осушуваних органогенних ґрунтах Лісостепу та Полісся [8]. У довіднику [9] наведено інформацію щодо класифікації та ботаніко-біологічних особливостей енергетичних культур і методики проведення досліджень.

Залежно від врожайності основних сільськогосподарських культур, що вирощуються в країні, їхні запаси коливаються в межах 27...37 млн. т. у. п. на рік. Це відповідає 13...18 % споживання первинних видів палива в Україні [10, 11].

Станом на 2017 рік економічно доцільний потенціал біомаси для виробництва енергії становив 20,9 млн. т. н. е. на рік при зафіксованій потребі 11 млн. т. н. е. на рік [6, 12]. Отже, потрібно використовувати можливий потенціал агропелет задля заміщення споживання природного газу в комунальній енергетиці, ціни на який будуть продовжувати зростати (табл.).

При спалюванні агропелет виникає проблема через низьку температуру плавлення отриманої золи. Внаслідок цього відбувається закупорювання (заплавлення, закоксовування) подових колосникових решіток традиційних котлів об'ємного спалювання в класичній топці. Крім того, проблеми спричиняє склування золи. Тому такі властивості рослинних пелет потребують використання пальників і котлів, призначених саме для зазначеного виду палива.

Існують різні конструктивні рішення пелетних пальників для спалювання пелет з аграрної сировини, кожне з яких має свої переваги та недоліки [14-16]. Тому розроблення і дослідження технологій та устаткування для спалювання біопалива аграрного походження є актуальною задачею та вимагає детальнішого вирішення поставленої проблеми.

**Формулювання цілей статті.** Основним завданням даної роботи є проведення експериментальних досліджень спалювання різних видів агропелет.



Енергетичний потенціал біомаси в Україні  
(2015 та 2050 р.р.) [13]

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн.т.		Частка, доступна для енергетики, %		Потенціал, доступний для енергетики, млн.т.н.е.	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Солома зернових культур	35,14	52,7	30	30	3,65	5,48
Солома ріпаку	3,1	4,7	40	40	0,43	0,65
ПП виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	30,3	45,5	40	40	3,48	3,48
ПП виробництва соняшнику (стебла, к орзинки)	21,2	21,2	40	40	1,22	1,22
Вторинні відходи с/г (лушпиння соняшнику)	1,90	1,90	74	74	0,50	0,50
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,0	9,0	94	94	1,39	2,08
Деревна біомаса (сухостій, деревина з лісосмуг, обрізки)	8,8	8,8	41	41	1,03	1,03
Біодизель (з ріпаку)	-	-	-	-	0,19	0,19
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряку)	-	-	-	-	0,54	0,54
Біогаз із відходів та побічної продукції АПК	1,6*	11,2*	50	100	0,68	2,38
Біогаз із органічної частини твердих побутових відходів (ТПВ)	0,6*	5,8*	34	100	0,18	0,60
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0*	9,0*	23	100	0,19	0,39
Енергетичні культури:	-	-	-	-	-	-
– верба, тополя, міскантус (1,5 млн га у 2015 р., 3 млн га у 2050 р.)	17,25	51,8	90	90	6,58	19,74
– кукурудза на біогаз (0,5 млн га у 2015 р., 1 млн га у 2050 р.)	1,67*	6,68*	90	90	1,29	5,15
<b>Всього</b>	-	-	-	-	<b>20,19</b>	<b>43,42</b>

\* - млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>

**Основна частина.** Для спалювання пелет було розроблено та випробувано експериментальну установку (рис. 1) твердопаливного котла з пелетним пальником для опалення будинку пасивного типу Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (м. Київ, вул. Булаховського, 2) [17].

Вона працює наступним чином. З бункера завантаження 1, у якому знаходяться пелети, за допомогою шнека транспортування 2 біопаливо подається в пелетний пальник 3. В останньому

внутрішнім шнеком біопаливо транспортується до камери спалювання. У результаті цього на виході з камери виходить стійкий потужний факел полум'я в твердопаливному котлі 5.

Для інтенсифікації процесу розпалу та горіння, а також для гасіння, використовується вентилятор 4. Блок керування 6 призначений для автоматичної та безпечної роботи котла. Усі дані, отримані під час експерименту, фіксуються за допомогою вимірювальної установки.

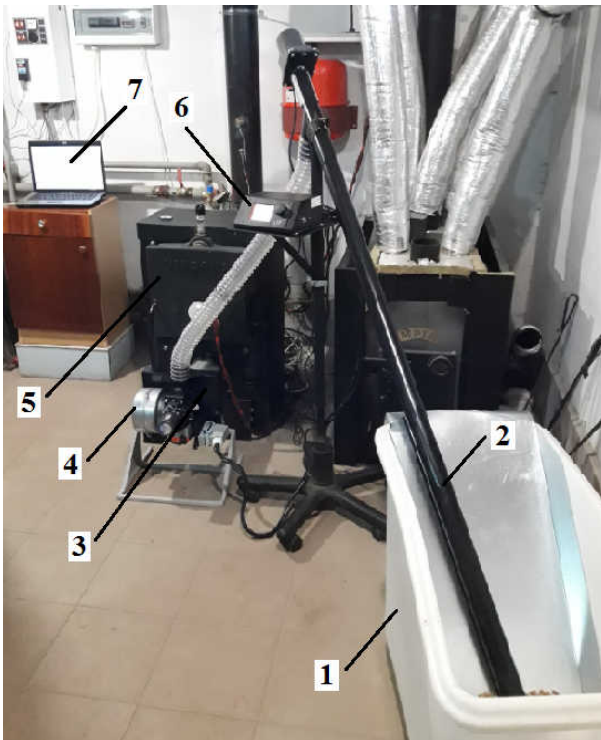


Рис. 1. Експериментальна установка для спалювання рослинних пелет:

1 – бункер завантаження; 2 – зовнішній шнек транспортування біопалива; 3 – пелетний пальник; 4 – вентилятор; 5 – твердопаливний котел; 6 – блок керування котлом; 7 – комп'ютер для запису отриманих експериментальних даних

До зазначеної установки входить комп'ютер 7 та гребінка з вісьмома хромель-алюмелевими (ХА) термопарами, які розташовано всередині котла.

Для запуску пелетного пальника до бункера спочатку завантажуються пелети. Витрата палива, кг/год, що надходить з бункера до камери згоряння, регулюється електронним блоком управління котлом. Цим же блоком проводиться налаштування й інших параметрів роботи котла, серед яких:

- температури котла, °С;
- часу роботи внутрішнього шнека, хв;
- часу роботи й паузи шнекового живильника, хв;
- максимальна і мінімальна потужність вентилятора, Вт;
- потужність роботи котла, Вт;
- параметри очищення пальника.

Після всіх необхідних налаштувань відбувається запуск пальника, шляхом вибору пункту меню “Розпалювання” в контролері. Коли пальник розгориться, контролер переходить у робочий режим і починає виконувати завдання щодо досягнення заданої температури, °С.

Важливим також є регулювання витрати повітря, кг/год, що надходить до камери згоряння ззовні завдяки вентилятору. На початковій

стадії камера згоряння ще не розігріта до достатньої температури, °С. Тому велика витрата зовнішнього холодного повітря, що надходить в камеру згоряння, може суттєво уповільнити процес горіння. Подача палива регулюється спеціальним пристроєм, що знаходиться між бункером та камерою згоряння.

До конструкції пальника входить також датчик температури, за показами якого автоматично припиняється подача палива з бункера до камери згоряння у випадку суттєвого перевищення температури, °С, відносно заданих показників. Така ситуація може виникнути при раптовому зменшенні тяги в димарі і зменшенні подачі зовнішнього повітря в камеру згоряння.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися зразки рослинних пелет (рис. 2-4).



Рис. 2. Експериментальні зразки пелет з соломи ячменю

При виконанні дослідів отримано зміну в часі, хв, температурного стану об'єму котла на стадії розпалу пелет рослинного походження, їхнього горіння та згасання.

При спалюванні пелет з соломи ячменю (рис. 5) протягом перших 11,5 хв. відбувалося розпалювання пелет від запальника. Після розпалювання пелети починають горіти, а значення температури, °С, в об'ємі котла починає поступово зростати. Найбільший приріст температури відбувається біля стінки котла, що протилежна до пальника.

На момент часу 19 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 870 °С (рис. 5, термопара №16). З 19-ої до 31-ої хв. експерименту відбувається стабільний процес горіння солом'яних пелет. Середня температура димових газів при цьому становить 270 °С.

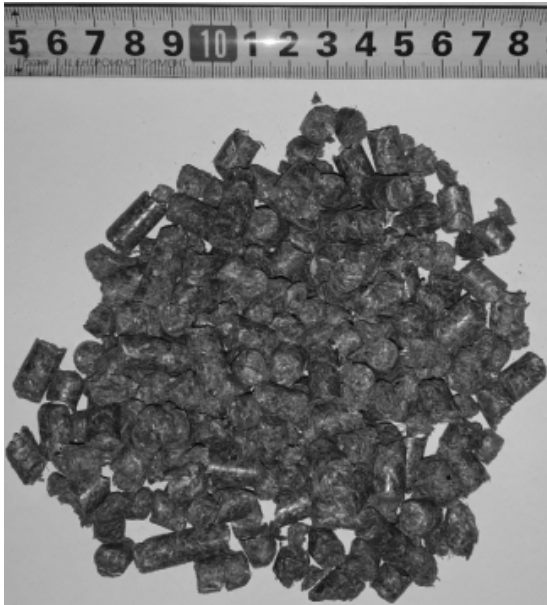


Рис. 3. Експериментальні зразки пелет із соломи пшениці



Рис. 4. Експериментальні зразки гранул із качанів кукурудзи

Протягом цього часу відбувалась автоматична періодична подача пелет з бункера за запрограмованим алгоритмом. При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 390...750 °С;
- термопарі №11 – 300...460 °С;
- термопарі №10 – в межах 280...400 °С.

Коливання температури відбуваються внаслідок періодичного вигорання порції біопалива в пальнику і надходження нової порції пелет з бункера.

Після 31-ої хв. від початку експерименту відбувається гасіння пальника, шляхом вибору пункту меню “Гасіння” в контролері. Як видно з графіка (рис. 5), починається поступове зниження температури, °С, в камері котла і димових газів. Після закінчення гасіння на дисплеї контролера з’являється відповідний символ. На завершення досліду було сфотографовано залишки палива (рис. 6).

У випадку пелет із соломи пшениці (рис. 7)

розпалювання відбулося дуже швидко – протягом 2 хв. Після розпалювання пелети починають горіти, а значення температури, °С, в об’ємі котла починають поступово зростати. Найбільший приріст температури відбувається біля тієї ж стінки котла, яка протилежна до пальника. На момент часу 10 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 785 °С (рис. 7, термопара №16).

З 10-ї до 18-ої хв. експерименту відбувається стабільний процес горіння пелет. Середня температура димових газів при цьому становить 270 °С. Протягом цього часу відбувалась автоматична періодична подача пелет з бункера за запрограмованим алгоритмом. При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 380...700 °С;
- термопарі №11 – у межах 300...430 °С;
- термопарі №10 – у межах 280...420 °С.

Причина коливання температури аналогічна попередньому випадку.

Після 18-ї хв. від початку експерименту відбувається гасіння пальника. Як видно з графіка (рис. 7), при цьому починалося поступове зниження температури в камері котла і димових газів, °С. Після появи на дисплеї контролера символу завершення гасіння було сфотографовано залишки палива (рис. 8).

При спалюванні гранул з качанів кукурудзи (рис. 9) розпалювання пелет від запальника відбулось протягом 7 хв. Процеси при розпалюванні і горінні аналогічні попереднім випадкам. На момент часу 18 хв. від початку експерименту температура біля протилежної стінки котла зростає до 840 °С (рис. 9, термопара №15).

З 18-ї по 22-у хв. експерименту відбувався процес горіння гранул. Середня температура димових газів при цьому становила 250 °С.

При цьому температура коливалась у таких межах:

- термопар №12-16 – 300...700 °С;
- термопарі №11 – 290...390 °С;
- термопарі №10 – у межах 250...330 °С.

Після 22 хв. від початку експерименту відбувалося гасіння пальника. Як видно з графіка (рис. 9) як і в попередніх випадках почалося поступове зниження температури, °С, у камері котла й димових газів.

Незначне підвищення температури при гасінні пояснюється тим, що в цей момент увімкнувся вентилятор для прискорення догоряння залишків палива.

Насамкінець, після появи на дисплеї контролера символу завершення гасіння було сфотографовано залишки палива (рис. 10).

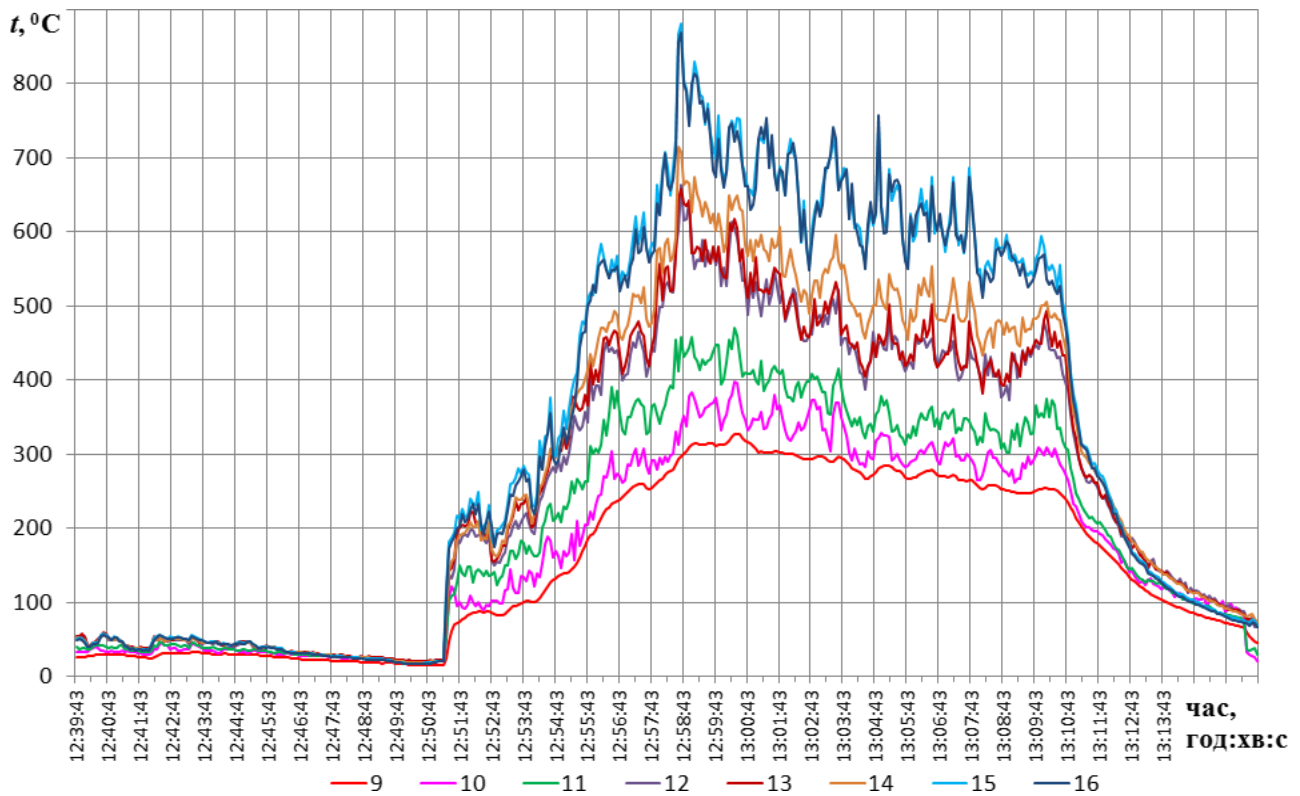


Рис. 5. Зміна у часі показників термопар при спалюванні соломи ячменю:  
9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 6. Залишки після спалювання пелет з соломи ячменю

**Висновки.** Розроблена і впроваджена в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України експериментальна установка на основі твердопаливного котла з пелетним пальником дозволяє успішно досліджувати особливості спалювання рослинних пелет для опалення будинку пасивного типу. Зокрема, досліджено спалювання солом'яних пелет (ячмінь, пшениця) та гранул з качанів ку-

курудзи. Найдовше розпалювання відповідає пелетам з соломи ячменю – 11,5 хв. Діапазон температури в топці становить 280...750 °С. Проміжне положення за швидкістю розпалювання займають гранули з качанів кукурудзи – 7 хв. Діапазон температури в топці нижчий – 250...700 °С. Пелети з соломи пшениці розпалюються дуже швидко – за дві хвилини. Діапазон температури займає проміжне положення – 280...700 °С. Температура димових газів при спалюванні пелет з ячменю і пшениці становить 270 °С. Спалювання гранул з кукурудзи дає нижчу температуру димових газів – 250 °С.

**Перспективи подальших досліджень.** Наведені в даній роботі результати можуть бути використані для подальшого дослідження процесів аеродинаміки горіння в котлах, призначених для спалювання рослинних та деревних культур. Використання результатів можливе в комунальній та промисловій теплоенергетиці, соціально-бюджетній сфері, індивідуально-побутовому секторі, а при спільному спалюванні із вугіллям – також і у великій електроенергетиці (зокрема на комунальних теплоелектроцентралях).

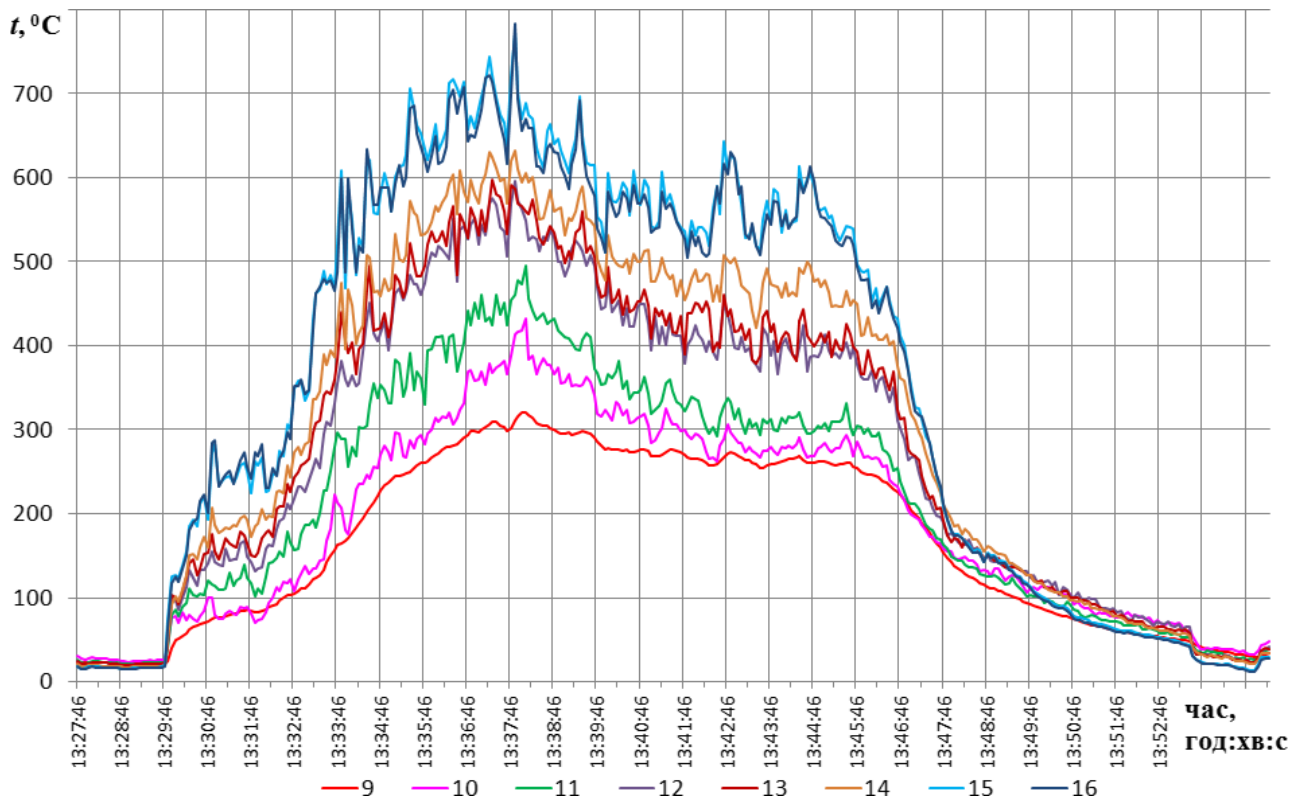


Рис. 7. Зміна у часі показників термопар при спалюванні соломи пшениці:  
9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 8. Залишки після спалювання  
пелет з соломи пшениці

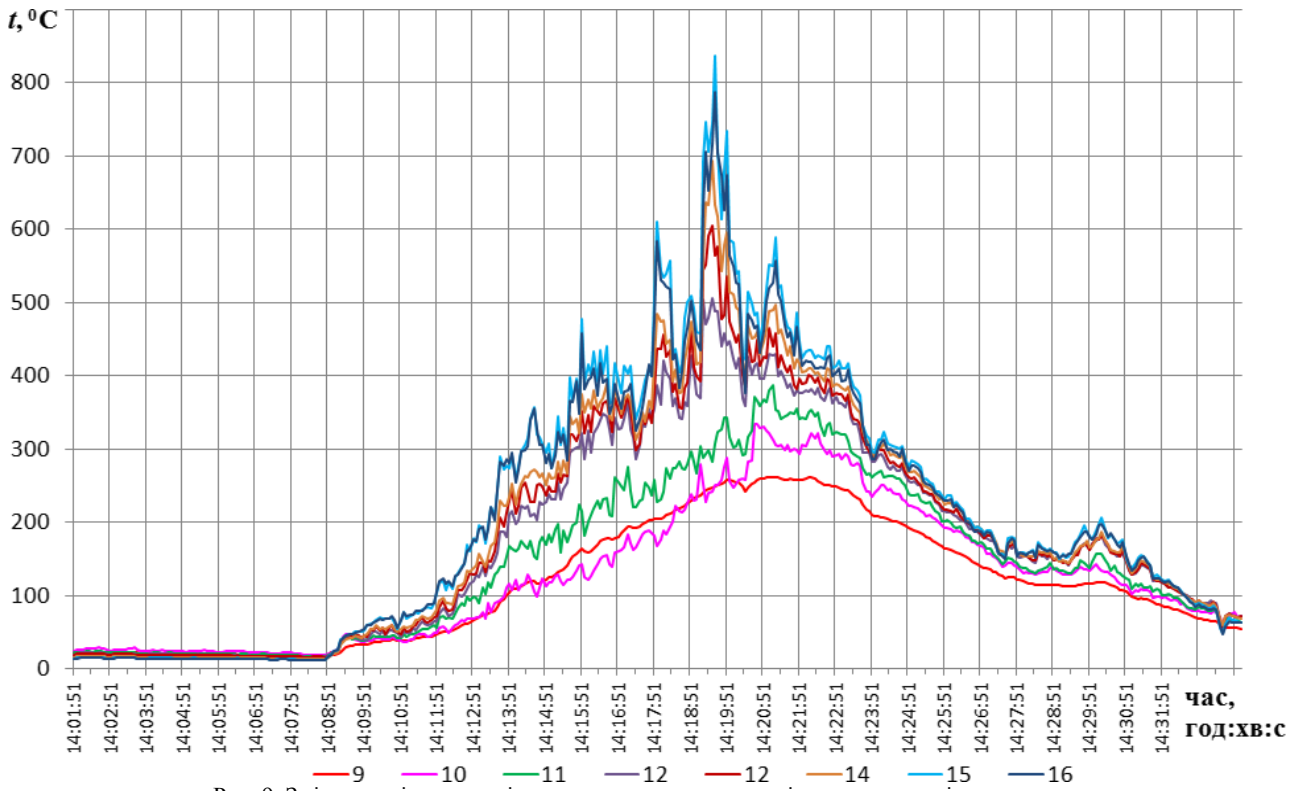


Рис. 9. Зміна у часі показників термопар при спалюванні гранул з качанів кукурудзи:  
9 – температура димових газів; 10-16 – температури гребінки термопар, що розташована над факелом



Рис. 10. Фото залишків після спалювання гранул з качанів кукурудзи

### Література

1. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентноспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
2. Энергия из отходов: сможет ли биоэнергетика сделать Украину энергонезависимой. URL: <https://www.unian.net/economics/energetics/energiya-iz-othodov-smozhet-li-bioenergetika-sdelat-ukrainu-energonezavisimoy-novosti-segodnya-11127413.html?fbclid=IwAR2EgSqZrIXRxp0HweVrbW43qhYoZ4AF9T2aMvgn2xGo6MZZZuSATiXKlg>.
3. Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин. Презентація «Законодавча політика щодо підтримки вирощування енергетичних рослин». URL: <http://sae.gov.ua/uk/documents/3504>.
4. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org>.
5. Україна до 2022 року може збільшити виробництво зернових і олійних до 100 млн. тонн. URL: <http://uga.ua/news/prezident-uza-ukrayina-2022-roku-mozhe-zbilshiti-virobnitstvo-zernovih-olijnih-100-mln-tonneksportuvati-blizko-70-mln-tonn/>.
6. Гелетуша Г. Г. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, С. В. Драгнев. – Аналітична записка БАУ № 21. – Біоенергетична асоціація України, 2019. – 41 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.
7. Енергетичний баланс України за 2017 рік. – Експрес-випуск ДССУ від 20.12.2018. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en\\_bal/arh\\_2012.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm)
8. Слюсар І. Т. Продуктивність трав'янистих енергетичних культур на осушуваних заплавах органогенних ґрунтах / І. Т. Слюсар, О. П. Соляник, В. О. Сербенюк, О. М. Гера // Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН". – 2017. – Вип. 4. – С. 109-118.
9. Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник / В. Л. Курило, М. І. Кулик. – Полтава, 2017. – 74 с.
10. Голуб Р. Т. Біоенергетика: сучасний стан, перспективи, зарубіжний досвід / Р. Т. Голуб // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2018. – № 3. – С. 74-79.
11. Риженко Н. В. Енергетичний потенціал біомаси в Україні. Соціальноекономічні наслідки участі пост-соціалістичних країн у процесах європейської інтеграції / Н. В. Риженко // Матеріали Міжнародної наук. конференції (м. Черкаси, 2 жовтня 2019 р.). – Черкаси: ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2019. – С. 25-29.
12. Олійник Є. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / Є. Олійник, В. Антоненко, С. Чаплигін, В.Зубенко. – Київ : «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.
13. Гелетуша Г. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу) / Г. Гелетуша, С. Драгнев, П. Кучерук, Ю. Матвеев. – Київ. 2017. – 37 с.
14. Пат. 45799 Україна МПК F23D 21/00. Пелетний пальник / Гордін А. Б. ; власник А. Б. Гордін. – № u2009 06217 ; заявл. 16.06.2009; опублік. 25.11.2009 бюл. №22. – 3 с.
15. Пат. 82429 Україна МПК F23D 1/00. Пелетний пальник / Дацюк Б. А. ; власник Б. А. Дацюк. – u2013 06494; заявл. 24.05.2013; опублік. 25.07.2013 бюл. №14. – 6 с.
- Пелетний пальник: пат. 82429 Україна: МПК F23D 1/00 № u2013 06494; заявл. 24.05.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.
16. Механізм для чищення пелетного пальника: пат. 83866 Україна: МПК F23D 1/00, F23H 15/00, F23H 11/00 № u2013 10082; заявл. 13.08.2013; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18.
17. Гончарук С. М. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії» / С. М. Гончарук, М. Ф. Калініна, І. К. Божко, Л. М. Кужель, О. М. Лисенко // Промислова теплотехніка. 2014. – Т. 36. – №3. – С.88-95.

### References

1. *Nova enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku: «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentnospromozhnist»*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
2. *Enerhiya iz otkhodov: smozhet li byoenerhetyka sdelat Ukrainu enerhonezavysymoi*. URL: <https://www.unian.net/economics/energetics/energiya-iz-othodov-smozhet-li-bioenergetika-sdelat-ukrainu-energonezavisimoy-novosti-segodnya-11127413.html?fbclid=IwAR2EgSqZrIXRxp0HweVrbW43qhYoZ4AF9T2aMvgn2xGo6MZZZuSATiXKlg>.
3. *Zakonodavcha polityka shchodo pidtrymky vyroshchuvannia enerhetychnykh roslyn. Prezentsiia «Zakonodavcha polityka shchodo pidtrymky vyroshchuvannia enerhetychnykh roslyn»*. URL: <http://sae.gov.ua/uk/documents/3504>.
4. *International Energy Agency*. URL : <https://www.iea.org>.
5. *Ukraina do 2022 roku mozhe zbilshyty vyrobnytstvo zernovykh i oliinykh do 100 mln.tonn*. URL: <http://uga.ua/news/prezident-uza-ukrayina-2022-roku-mozhe-zbilshiti-virobnitstvo-zernovih-olijnih-100-mln-tonneksportuvati-blizko-70-mln-tonn/>.

6. Heletukha H.H., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. *Analiz barrieriv dlia vyrobnytstva enerhii z biomasy v Ukraini. Analitichna zapyska BAU № 21*. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/position-paper-uabio-21-ua.pdf>.
7. *Enerhetychni balans Ukrainy za 2017 rik. Ekspres-vypusk DSSU vid 20.12.2018*. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en\\_bal/arh\\_2012.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm).
8. Sliusar I. T., Solianyuk O. P., Serbeniuk V. O., Hera O. M. "Produktyvnist travianystrykh enerhetychnykh kultur na osushuvanykh zaplavnykh orhanohennykh gruntakh." *Zbirnyk naukovykh prats NNTS "Instytut zemlerobstva NAAN"*. 2017. Vyp. 4. P. 109-118.
9. Kurylo V. L., Kulyk M. I. *Enerhetychni kultury dlia vyrobnytstva biopalyva: dovidnyk*, 2017.
10. Holub R. T. "Bioenerhetyka: suchasnyi stan, perspektyvy, zarubizhnyi dosvid." *Zemleustrii, kadastr i monitoryng zemel*. 2018. № 3. С. 74-79.
11. Ryzhenko N. V. "Enerhetychni potentsial biomasy v Ukraini. Sotsialnoekonomichni naslidky uchasti postsotsialistychnykh krain u protsesakh yevropeiskoi intehratsii." *Materialy Mizhnarodnoi nauk. konferentsii (m. Cherkasy, 2 zhovtnia 2019 r.)*. Cherkasy: CHNU im. B. Khmelnytskoho, 2019. P. 25-29.
12. Oliinyk Ye., Antonenko V., Chaplyhin S., Zubenko V. *Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoiu pry vyrobnytstvi teplovoi enerhii v Ukraini. Praktychnyi posibnyk. Polihraf plus», 2016*.
13. Heletukha H., Drahnev S., Kucheruk P., Matvieiev Yu. *Praktychnyi posibnyk z vykorystannia biomasy v yakosti palyva u munitsypalnomu sektori Ukrainy (dlia predstavnykh ahropromyslovoho kompleksu)*. 2017.
14. Peletnyi palnyk: pat. 45799 Ukraina: MPK F23D 21/00 № u2009 06217; zaiavl. 16.06.2009; opubl. 25.11.2009, Biul. № 22.
15. Peletnyi palnyk: pat. 82429 Ukraina: MPK F23D 1/00 № u2013 06494; zaiavl. 24.05.2013; opubl. 25.07.2013, Biul. № 14.
16. Mekhanizm dlia chyshennia peletnogo palnyka: pat. 83866 Ukraina: MPK F23D 1/00, F23H 15/00, F23H 11/00 № u2013 10082; zaiavl. 13.08.2013; opubl. 25.09.2013, Biul. № 18.
17. Honcharuk S. M., Kalinina M. F., Bozhko I. K., Kuzhel L. M., Lysenko O. M. "Stvorennia eksperymentalnoho enerhoefektyvnoho budynku pasyvnoho typu «nul enerhii»". *Promyslova Teplotekhnika*. 2014, T. 36, №3. P. 88-95.

УДК 620.9:662.6

## Экспериментальные исследования сжигания растительных пеллет в бытовом котле

Б.И. Басок<sup>1</sup>, Б.В. Давыденко<sup>2</sup>, Л.Н. Кужель<sup>3</sup>, О.Н. Лысенко<sup>4</sup>, А.Н. Веремийчук<sup>5</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф., член-кор. НАН Украины, зав. отдела Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, [basok@itf.kiev.ua](mailto:basok@itf.kiev.ua), ORCID:0000-0002-8935-4248

<sup>2</sup>д.т.н., ст. науч. сотрудник, гл. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, [bdavydenko@ukr.net](mailto:bdavydenko@ukr.net), ORCID:0000-0001-8738-7612

<sup>3</sup>к.т.н., ст. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, [kuzhel\\_liliya@ukr.net](mailto:kuzhel_liliya@ukr.net), ORCID:0000-0002-5481-4566

<sup>4</sup>к.т.н., ст. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, [lisenko\\_oks@ukr.net](mailto:lisenko_oks@ukr.net), ORCID:0000-0003-3981-9796

<sup>5</sup>асп., мл. науч. сотрудник Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев, Украина, [averemiichuk@gmail.com](mailto:averemiichuk@gmail.com), ORCID: 0000-0003-1893-3637

*Аннотация. За последние годы в Украине в качестве топлива все чаще стали использовать биотопливо. Украина – агропромышленная страна, имеющая большой потенциал для изготовления и применения пеллет растительного происхождения. Наше государство занимает шестое место в мире по изготовлению такого вида биотоплива. Однако большая их часть (около 85 %) экспортируется за границу. Это связано с низким спросом на внутреннем рынке. Солома зерновых культур может применяться в коммунальной энергетике. Количество соломы, остающейся после уборки урожая, является достаточным для её использования в качестве топлива. Такое биотопливо по своему составу и теплотворной способности приближается к таким традиционным видам топлива как древесина и торф. Основной задачей данной работы являются экспериментальные исследования сжигания различных видов агропеллет. Исследованы особенности сжигания пеллет аграрного происхождения, а именно соломенных (ячмень, пшеница) и гранул из початков кукурузы. На основе построенных графических зависимостей были определены характерные особенности температурных режимов работы бытового котла при сжигании агропеллет. Использование результатов возможно в коммунальной и промышленной теплоэнергетике, социально-бюджетной сфере и индивидуально-бытовом секторе.*

*Ключевые слова: пеллеты, биотопливо, теплоснабжение, горелка, возобновляемые источники энергии, сжигание агропеллет, биоресурсный потенциал.*



UDC 620.9:662.6

## Experimental studies of burning plant pellets in a domestic boiler

B. Basok<sup>1</sup>, B. Davydenko<sup>2</sup>, L. Kuzhel<sup>3</sup>, O. Lysenko<sup>4</sup>, A. Veremiichuk<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Sc.D, professor, Corresponding member NAS of Ukraine, Head of Department, Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, [basok@ittf.kiev.ua](mailto:basok@ittf.kiev.ua), ORCID:0000-0002-8935-4248

<sup>2</sup>Sc.D, Senior Researcher, Chief Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine [bdavydenko@ukr.net](mailto:bdavydenko@ukr.net), ORCID:0000-0001-8738-7612

<sup>3</sup>PhD, Senior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine [kuzhel\\_liliya@ukr.net](mailto:kuzhel_liliya@ukr.net), ORCID:0000-0002-5481-4566

<sup>4</sup>PhD, Senior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine [lisenko\\_oks@ukr.net](mailto:lisenko_oks@ukr.net), ORCID:0000-0003-3981-9796

<sup>5</sup>Post-graduate student, Junior Researcher Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine [averemiichuk@gmail.com](mailto:averemiichuk@gmail.com), ORCID: 0000-0003-1893-3637

*Abstract. In recent years, biofuels have increasingly been used as fuel in Ukraine. Ukraine is an agro-industrial country with great potential for the production and use of pellets of plant origin. Our country ranks 6th in the world for the production of such biofuels as pellets, but most of them (about 85 %) are exported abroad. This is due to the low demand for pellets in the domestic market. Cereal straw can be used in municipal energy. The amount of straw left after harvest is sufficient for its use as fuel. This biofuel in its composition and calorific value is close to such traditional fuels as wood and peat. Also, raw materials for bio-pellets can be sunflower husks and energy crops. The main objectives of this work are experimental studies of the combustion of different types of agropellets. An experimental installation of a solid fuel boiler with a pellet burner was developed and implemented at the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine to study the peculiarities of pellet combustion. With the help of the developed measurement system based on a comb with thermocouples, which is located above the torch in the boiler, the temperature regime in the boiler volume was studied and the peculiarities of the pellet burning process in the burner were determined. As a result of the work, experimental studies of the peculiarities of burning pellets of agricultural origin, namely straw (barley, wheat) and pellets from corn cobs were carried out. On the basis of the constructed graphic dependences the characteristic features of temperature modes of work of a household copper at burning of agropellets were defined. The use of the results is possible in the communal and industrial heat energy, social and budgetary sphere and individual household sector.*

*Keywords: pellets, biofuel, heat supply, burner, renewable energy sources, agropellet combustion, bio-resource potential*

Надійшла до редакції / Received 31.10.2020

УДК 621.57

## Аналіз ефективності роботи повітряного теплового насоса залежно від коливань температури зовнішнього повітря

О. В. Шаповал<sup>1</sup>, Н. В. Чепурна<sup>2</sup>, М. А. Кириченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>асп. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [shapoval.o.v@ukr.net](mailto:shapoval.o.v@ukr.net),  
ORCID: 0000-0003-4349-4971

<sup>2</sup>к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [chepurnayanv@ukr.net](mailto:chepurnayanv@ukr.net),  
ORCID: 0000-0001-8044-7563

<sup>3</sup>к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [kirichenko-m@ukr.net](mailto:kirichenko-m@ukr.net),  
ORCID: 0000-0002-3651-3153

*Анотація.* На даний час все більш широко використовуються теплові насоси типу «повітря-вода», які завдяки високому коефіцієнту перетворення теплоти зменшують енергоспоживання та негативний вплив на навколишнє середовище. Робота присвячена вирішенню актуальної задачі визначення ефективності роботи повітряних теплових насосів при низькій температурі зовнішнього повітря взимку. Однією з головних проблем повітряного теплового насоса є зменшення продуктивності при зниженні температури зовнішнього повітря в зимовий період. У даній роботі було проаналізовано ефективність роботи теплового насоса "повітря-вода" LG Thermo V для забезпечення квартири опаленням та гарячим водопостачанням. На базі отриманих результатів побудовано графіки ефективності роботи теплового насоса залежно від температури навколишнього середовища та теплоносія. Найбільш ефективними є низькотемпературні системи опалення в яких температура води не перевищує 45 °С. При температурі зовнішнього повітря не нижче мінус 7 °С тепловий насос залишається ефективним при більшій температурі теплоносія на виході – до 55 °С.

*Ключові слова:* тепловий насос, енергозбереження, низькотемпературна система опалення, кондиціонування повітря, гаряче водопостачання, енергоефективність.

**Вступ.** Вирішення питань підвищення енергоефективності є важливими на даний момент. Використання теплових насосів є одним з перспективних напрямків серед джерел нетрадиційної енергетики завдяки можливості використовувати поновлювану енергію з навколишнього середовища. Використання теплових насосів дозволяє обмежити споживання вичерпних видів палива, зменшити негативний вплив на довкілля та покращити якість теплопостачання [1, 2].

При застосуванні теплового насоса, який використовує низькопотенційну енергію повітря, можна в комплексі забезпечити будинок опаленням, кондиціонуванням повітря та гарячим водопостачанням [3]. За рахунок високого коефіцієнта перетворення теплоти (COP – Coefficient of Performance) досягається максимальна економічність порівняно з традиційними системами опалення.

Перевагами використання теплового насоса є безпечність, екологічність, економічність і зменшує залежність від зростання цін на природні енергоносії [4, 5, 6].

**Актуальність дослідження.** Ефективність роботи теплових насосів "повітря-вода" суттєво залежить від температури зовнішнього повітря та температури води на виході. Актуальним є питання підвищення ефективності роботи повітряного теплового насоса при від'ємній температурі, °С, взимку. Це дозволить відмови-

тися від резервного джерела теплоти та використовувати повітряний тепловий насос як єдине джерело теплопостачання.

**Останні дослідження та публікації.** Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів є важливою світовою проблемою на даний момент. Одним із основних шляхів для її вирішення є застосування нових енергозберігаючих технологій, які використовують відновлювані джерела енергії.

Згідно з даними міжнародного енергетичного агентства (IEA) близько 20 млн. теплових насосів було продано за 2019 рік [7]. З кожним роком використання теплових насосів у світі збільшується.

Аналіз сучасного використання різних джерел енергії у 2019 році та перспектив розвитку до 2025 року (рис. 1) показує, що до 2025 року передбачається значне зменшення використання традиційних джерел енергії та збільшення використання теплових насосів на 11 %.

Повітряний тепловий насос є досить ефективним та екологічним засобом використання відновлювальної енергії навколишнього середовища [8].

У роботі розглянуто реверсивний тепловий насос LG Thermo V на 12 кВт (рис. 2), що відбирає розсіяну теплоту з навколишнього середовища та переносить її в опалювальний контур приміщення.

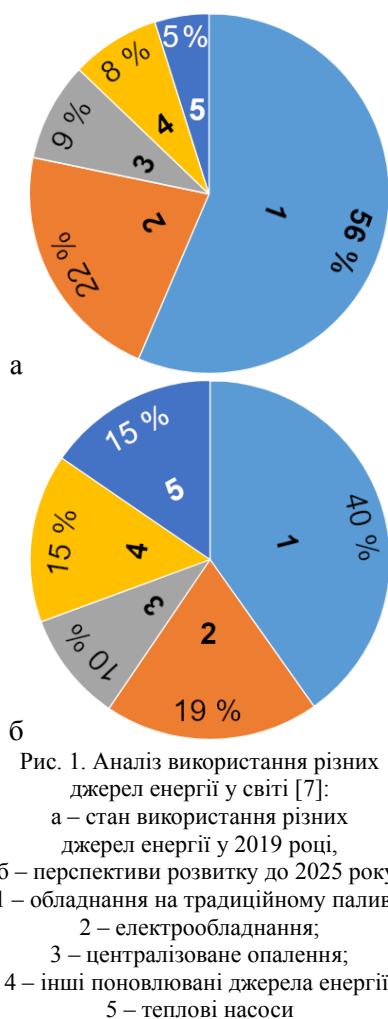


Рис. 1. Аналіз використання різних джерел енергії у світі [7]:  
 а – стан використання різних джерел енергії у 2019 році,  
 б – перспективи розвитку до 2025 року:  
 1 – обладнання на традиційному паливі;  
 2 – електрообладнання;  
 3 – централізоване опалення;  
 4 – інші поновлювані джерела енергії;  
 5 – теплові насоси

Спочатку холодоагент R410A в газоподібному стані потрапляє до компресора 18, де збільшується його тиск та температура. Нагрітий холодоагент під високим тиском потрапляє до конденсатора 12 або 13 залежно від режиму роботи. У ньому відбувається передача теплоти, у результаті чого холодоагент охолоджується та конденсується.

Після конденсатора встановлено електронний розширювальний клапан EEV який знижує тиск холодоагента. Далі холодоагент потрапляє до випарника 13 або 12, де він кипить і відбирає теплоту. Режим роботи (напрямок руху теплоносія) вибирається чотириходовим клапаном 16.

Потім цикл роботи теплового насоса повторюється знову. У результаті залежно від положення клапана 16 теплота передається:

- від зовнішнього повітря до теплоносія (режим нагріву);
- від теплоносія до зовнішнього повітря (режим охолодження).

Використання атмосферного повітря як нижнього джерела енергії для теплового насоса є перевагою, тому що воно є безкоштовним і необмеженим джерелом. Воно може за-

стосовуватися на будь-яких об'єктах. Основним недоліком такої системи є втрата потужності та ефективності по мірі зниження температури зовнішнього повітря [1, 9, 10].

Теплові насоси в яких джерелом енергії є повітря дуже залежать від температури зовнішнього повітря в порівнянні з тепловими насосами які черпають енергію з ґрунту чи водоєм. Також ефективність теплового насоса залежить від температури до якої потрібно нагріти теплоносії [11].

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є дослідження коефіцієнта ефективності теплового насоса типу «повітря-вода» компанії “LG” та аналіз ефективності його використання залежно від температури зовнішнього повітря, °C, для м. Києва.

**Основна частина.** LG Therma V на 12 кВт – це спліт-система яка складається з внутрішнього та зовнішнього блоків. Особливістю даної моделі теплового насоса є сучасний компресор R1 та можливість працювати на опалення при низькій температурі – до мінус 25 °C.

Майже 90 % споживаної потужності припадає на компресор. Від споживаної потужності залежить ефективність та продуктивність теплового насоса. Компресори повинні бути енергоефективними і малошумними.

Компресор LG R1 це перша в світі гібридна спіральна конструкція з наскрізним валом яка ефективно поєднує “метод стиснення” спірального компресора і “конструкцію механізму” роторного компресора, усуваючи при цьому недоліки і недосконалості кожного типу [12].

Для виконання досліджень у тепловому насосі встановлено датчики 1 тиску, Па, та датчики 2-5, 9 і 10 температури, °C. Також додано датчик 6 температури, °C, зовнішнього повітря та дистанційний датчик 11 температури внутрішнього повітря, °C. Крім цього, вимірювалась електрична потужність теплового насоса  $PI$ , кВт.

З отриманих даних від датчиків залежно від температури зовнішнього повітря  $t_{ext}$ , °C, і води на виході  $t_w$ , °C, підраховано теплову продуктивність  $TC$ , кВт, та коефіцієнт перетворення теплоти  $COP$  (табл., рис.3) та зафіксовано споживану потужність  $PI$ , кВт (табл., рис. 4).

Отримані дані на рис. 3 показують, що найвигідніше використовувати тепловий насос з системами, де температура теплоносія на виході не перевищує 45 °C [13, 14, 15]. При температурі зовнішнього повітря не нижче мінус 7 °C тепловий насос залишається ефективним при більшій температурі теплоносія на виході – до 55 °C.

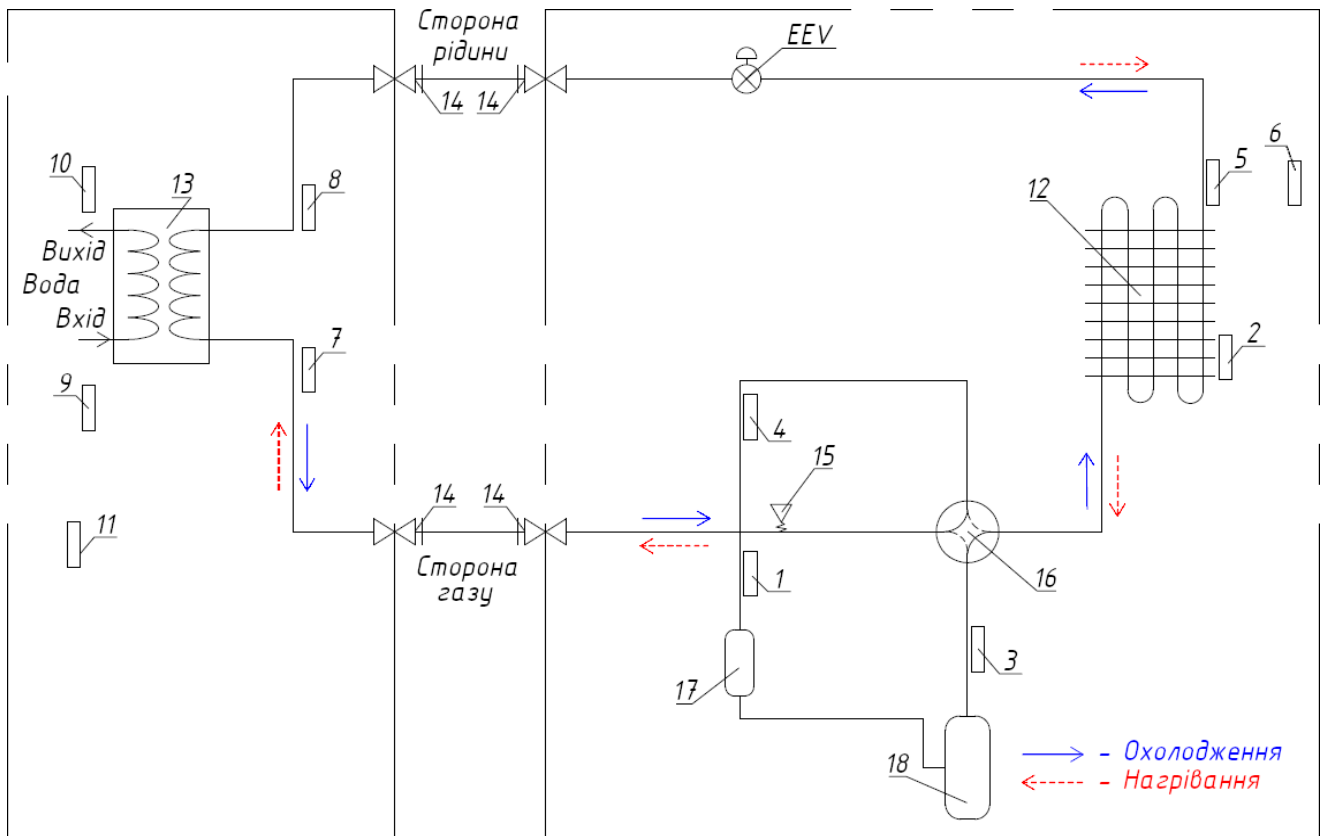


Рис. 2. Принципова схема повітряного теплового насоса LG Therna V:

1 – датчик тиску; 2 – середній датчик температури конденсатора; 3 – датчик температури на виході з компресора; 4 – датчик температури труби всмоктування компресора; 5 – датчик температури конденсатора; 6 – датчик температури зовнішнього повітря; EEV – електронний розширювальний клапан; 7 – датчик температури випарника на виході; 8 – датчик температури випарника на вході; 9 – датчик температури води на вході; 10 – датчик температури води на виході; 11 – дистанційний датчик температури повітря; 12 – теплообмінник зовнішнього боку; 13 – пластинчатий теплообмінник внутрішнього боку; 14 – сервісний триходовий клапан; 15 – датчик тиску; 16 – чотириходовий клапан; 17 – накопичувач; 18 – компресор; EEV – електронний розширювальний клапан

Таблиця

Результати визначення теплової продуктивності  $TC$ , кВт, споживаної потужності  $PI$ , кВт, та коефіцієнта перетворення теплоти  $COP$  теплового насоса LG на 12 кВт залежно від температури,  $^{\circ}C$ , навколишнього повітря  $t_{ext}$  і теплоносія на виході  $t_w$

$t_{ext}, ^{\circ}C$	$t_w, ^{\circ}C$																	
	30			35			40			45			50			55		
	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$	$TC$ , кВт	$PI$ , кВт	$COP$
-25	11,25	4,81	2,34	10,95	4,95	2,21	10,22	4,99	2,05	9,85	5,24	1,88	—	—	—	—	—	—
-22	11,7	4,11	2,85	11,17	4,15	2,69	10,62	4,20	2,53	10,13	4,71	2,15	—	—	—	—	—	—
-20	12,0	3,75	3,2	11,32	3,76	3,01	10,9	3,82	2,85	10,32	4,43	2,33	—	—	—	—	—	—
-15	12,0	3,33	3,6	11,66	3,57	3,27	11,45	3,84	2,98	11,16	4,50	2,48	11,13	5,33	2,09	—	—	—
-10	12,0	3,13	3,84	11,87	3,47	3,42	11,8	3,86	3,06	11,69	4,53	2,58	11,67	5,26	2,22	—	—	—
-7	12,0	3,01	3,99	12,0	3,41	3,52	12,0	3,87	3,1	12,0	4,55	2,64	12,0	5,19	2,31	11,24	5,56	2,02
-4	12,0	2,96	4,06	12,0	3,37	3,56	12,0	3,83	3,13	12,0	4,44	2,7	12,0	5,06	2,37	11,98	5,65	2,12
0	12,0	2,74	4,38	12,0	3,20	3,75	12,0	3,67	3,27	12,0	4,27	2,81	12,0	4,90	2,45	12,00	5,36	2,24
2	12,0	2,64	4,54	12,0	3,12	3,85	12,0	3,59	3,34	12,0	4,18	2,87	12,0	4,80	2,5	12,00	5,19	2,31
7	12,0	1,94	6,2	12,0	2,64	4,55	12,0	2,61	4,59	12,0	3,38	3,55	12,0	3,86	3,11	12,00	4,38	2,74

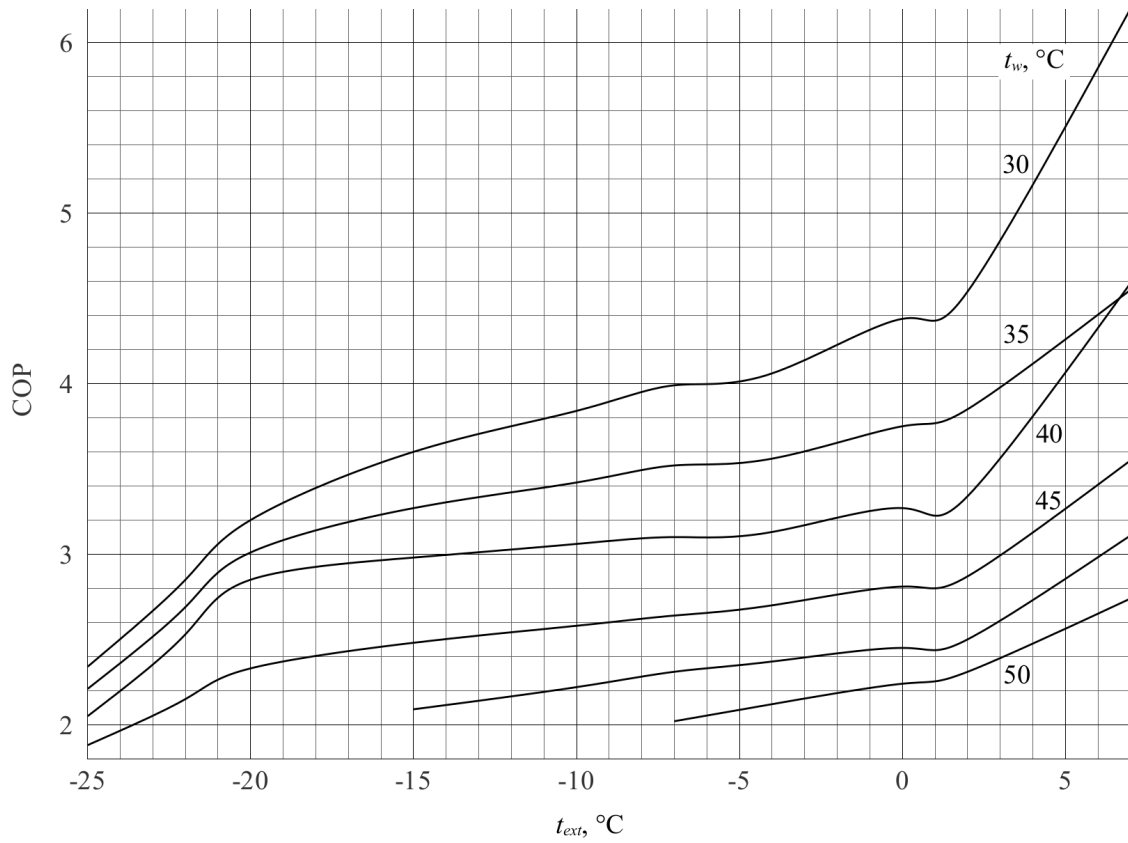


Рис. 3. Залежність коефіцієнт перетворення COP від температури зовнішнього повітря  $t_{ext}$ , °C, та температури води на виході,  $t_w$ , °C

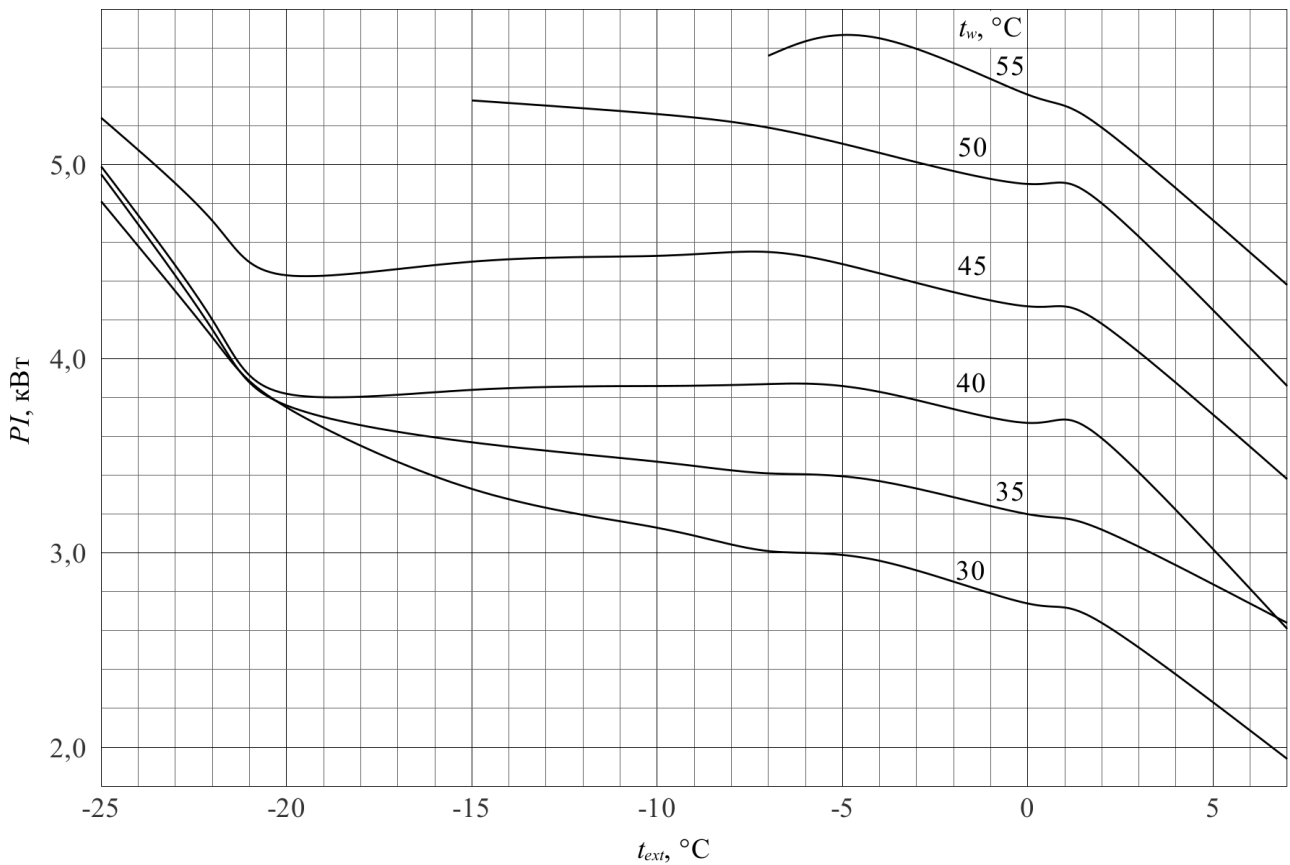


Рис. 4. Залежність споживаної потужності  $P$ , кВт, від температури зовнішнього повітря  $t_{ext}$ , °C, та температури води на виході  $t_w$ , °C

Для безперебійного забезпечення споживача гарячою водою в конструкції теплових насосів передбачено електричний нагрівач потужністю 6 кВт. Він дозволяє догрівати воду до необхідної температури  $t_w$ , °С при низькій температурі  $t_{ext}$ , °С.

Електронагрівач працює, коли зовнішній блок переходить у режим відтавання. Крім цього, він автоматично вмикається при  $t_{ext} < -15$  °С. Останнє гарантує більш надійну роботу системи при цих умовах.

Перспективною і ефективною є робота теплового насоса з низькотемпературними системами опалення [16, 17].

При роботі теплового насоса на "теплу підлогу" температура теплоносія в зоні постійного перебування людей повинна бути не більше + 30 °С. Така температура на виході значно підвищує ефективність використання теплового насоса.

Вибір системи опалення більше впливає на ефективність теплового насоса, ніж температура зовнішнього повітря. При від'ємній температурі  $t_{ext}$ , °С, використання теплового насоса з високотемпературними системами опалення неефективне. Натомість при заміні традиційних систем опалення на низькотемпературні ефективність теплових насосів різко зростає. Тому при проектуванні систем опалення з використанням теплового насоса необхідно обов'язково враховувати і цей фактор [18].

Через постійне зростання цін на електроенергію та природний газ завдяки високому коефіцієнту COP використання теплових насосів призведе до підвищення енергоефективності порівняно з традиційними системами опалення. При використанні теплових насосів важливе значення має зменшення втрат енергії у самих машинах, оскільки це суттєво збільшує коефіцієнт перетворення [19].

**Висновки.** Використання теплових насосів з високим коефіцієнтом перетворення теплоти (COP) дозволяє значно зменшити затрати енергії на опалення. Ефективність теплового насоса суттєво залежить від температури зовнішнього повітря та температури теплоносія. Найбільш ефективними є низькотемпературні системи опалення, у яких температура води не перевищує 45 °С. При температурі зовнішнього повітря не вище мінус 7 °С тепловий насос залишається ефективним при більшій температурі теплоносія на виході – до 55 °С.

**Перспективи подальших досліджень.** Доцільно провести експериментальні дослідження та математичне моделювання роботи теплового насоса при від'ємних значеннях температури, °С, навколишнього повітря. На базі отриманих результатів слід розробити алгоритм підбору теплових насосів для м. Києва та запропонувати шляхи підвищення ефективності при низькій температурі.

### Література

1. Безродний М. К. Ефективність теплонасосних систем опалення з використанням теплоти попередньо підігрітого атмосферного повітря / М. К. Безродний, Н. О. Прутула // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5(8). – С. 24-28.
2. Безродний М. К. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення / М. К. Безродний, М. А. Галан // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2011. – № 6. – С. 30-35.
3. Козак Ф. В. Шляхи заміщення природного газу в системах теплопостачання / Ф. В. Козак, Л. Ю. Козак // Нафтогазова енергетика. – 2014. – № 1. – С. 112-118.
4. Крижанівський Є. І. Зниження обсягів споживання природного газу для теплопостачання шляхом використання теплових насосів. / Є. І. Крижанівський, Ф. В. Козак, Л. Ю. Козак // Нафтогазова енергетика. – 2009. – № 1(10). – С. 88-93.
5. Палійчук У. Ю. Економічні особливості використання енергії відновлюваних джерел в індивідуальних господарствах. / У. Ю. Палійчук // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2013. – Вип. № 2(35). – С. 242-250.
6. Басок Б. І. Аналіз енергетичної ефективності комплексної модернізації типової радіаторної системи теплопостачання будівлі на базі автономного використання теплового насоса типу "повітря-вода" / Б. І. Басок, О. М. Недбайло, О. В. Тутова, М. В. Ткаченко, І. К. Божко // ScienceRise. – 2018. – № 9. – С. 43-48.
7. Heat Pumps [Electronic Resource] / IEA. – Access Mode: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>. – Access Date: 11.03.2021.
8. Басок Б.І. Укрупнена оцінка теплової потужності та обсягів виробництва відновлюваної енергії тепловими насосами в Україні. / Б.І. Басок, С.В. Дубовський // Теплові насоси в Україні. – 2019. – №1. – С. 2-6.
9. Безродний М. К. Аналіз ефективності теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти атмосферного повітря і сонячної енергії / М. К. Безродний, Н. О. Прутула, Т. О. Місюра // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 4. – С. 47-57.
10. Бугай В. С. Техніко-економічний аналіз режимів відпуску теплової енергії для опалення від гібридного джерела теплоти "котел-тепловий насос" / В. С. Бугай, С. Л. Ліberman // Науковий вісник будівництва. – 2017. – Т. 88, № 2. – С. 207-212.
11. Безродний М. К. Термодинамічна ефективність теплонасосних схем теплопостачання / М. К. Безродний, Н. О. Прутула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №3. – С. 39-45.
12. LG Electronics. Total HVAC solution provider. Engineering product data book. Therma V. P/No.:

MFL66101118, Seoul, Korea, 2020.

13. Rusev D. Analysis of the operation of airwater heat pump unit in winter mode / D. Rusev, A. Kirov, P. Zlateva, N. Trizlova, D. Genov // Proceedings of the annual symposium with international participation SISOM & ACOUSTICS. – 2012. – P. 203-208.

14. Zlateva P. Experimental study of heat pump type air-water for heating system performance / P. Zlateva, K. Yordanov // E3S Web Conf. TE-RE-RD. – Vol. 112. – 2019 DOI: 10.1051/e3sconf/201911201007

15. Xinhui Zhao. Experimental Study on Heating Performance of Air - source Heat Pump with Water Tank for Thermal Energy Storage / Xinhui Zhao, Enshen Long, Yin Zhang, Qinjian Liu, Zhenghao Jin, Fei Liang // Procedia Engineering 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2017, 19-22 October 2017, Jinan, China. – 2017. – Vol. 205. – P. 3027–3034. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.087

16. Босий М. В. Тепловий насос з використанням низькопотенційного джерела теплоти повітря / М. В. Босий // Наукові записи : зб. наук. пр. – Кіровоград : КНТУ, 2014. – Вип. 16. – С. 3-7.

17. Кулінко Є. О. Теплові насоси як джерела низькотемпературного теплопостачання / Є. О. Кулінко, І. Т. Кузицький, О. Г. Погосов // Energy-efficiency in civil engineering and architecture. – 2017. – No. 9. - С. 132-136.

18. Калініченко А.В. Ефективність використання теплового наносу типу "повітря-вода" у системах теплопостачання. / А.В. Калініченко, В.М. Калініченко // Технічні науки, Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – №1. – С. 158-162.

19. Яковчук П. Є. Тепловий насос як елемент енергозбереження / П. Є. Яковчук, В. Б. Цяпа, В. І. Комаров, Б. І. Крохмальний // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2008. – № 615. – С. 194-198.

### References

1. Bezrodnyi M. K., Prytula N. O. "Efektyvnist teplonasosnykh system opalennia z vykorystanniam teploty poperedno pidihritoho atmosfernoho povitria" *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*, 2013. pp. 24-28.

2. Bezrodnyi M. K., Halan M. A. "Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh system povitrianoho opalennia". *Naukovi visti National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*, 2011. no. 6. pp. 30-35.

3. Kozak F. V., Kozak L. Yu. "Shliakhy zamishchennia pryrodnoho hazu v systemakh teplopostachannia." *Naftohazova enerhetyka*, 2014, no. 1, pp. 112-118.

4. Kryzhanivskiy Ye. I., Kozak F. V., Kozak L. Yu. "Znyzhennia obsiahiv spozhyvannia pryrodnoho hazu dlia teplopostachannia shliakhom vykorystannia teplovykh nasosiv." *Naftohazova enerhetyka*, 2009, no. 1(10), pp. 88-93.

5. Paliichuk U. Yu. "Ekonomichni osoblyvosti vykorystannia enerhii vidnovliuvanykh dzherel v indyvidualnyi hospodarstvakh." *Naukovyi visnyk IFNTUOG*, 2013, no. 2(35), pp. 242-250.

6. Basok B. I., Nedbailo O. M., Tutova O. V., Tkachenko M. V., Bozhko I. K. "Analiz enerhetychnoi efektyvnosti kompleksnoi modernizatsii typovoi radiatornoi systemy teplopostachannia budivli na bazi avtonomnoho vykorystannia teplovoho nasosu typu "povitria-voda". *ScienceRise*, 2018, no. 9, pp. 43-48.

7. Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>.

8. Basok B.I., Dubovskiy S.V. "Ukrupnena otsinka teplovoi potuzhnosti ta obsiahiv vyrobnytstva vidnovliuvanoi enerhii teplovymy nasosamy v Ukraini." *Teplovi nasosy v Ukraini*, 2019, no. 1. pp. 2-6.

9. Bezrodnyi M. K., Prytula N. O., Misiura T. O. "Analiz efektyvnosti teplonasosnoi skhemy opalennia z vykorystanniam teploty atmosfernoho povitria i soniachnoi enerhii." *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 2017, no. 4, pp. 47-57.

10. Buhai V. S., Liberman S. L. "Tekhniko-ekonomichniy analiz rezhymiv vidpusku teplovoi enerhii dlia opalennia vid hibrydnoho dzherela teploty "kotel-teplovyy nasos"." *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 2017, no. 2, pp. 207-212.

11. Bezrodnyi M. K., Prytula N. O. "Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopostachannia." *Visnyk Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2013. no. 3, pp. 39-45.

12. LG Electronics. Total HVAC solution provider. Engineering product data book. Therma V. P/No.: MFL66101118, Seoul, Korea, 2020.

13. Rusev D., Kirov A., Zlateva P., Trizlova N., Genov D. "Analysis of the operation of airwater heat pump unit in winter mode". *Proceedings of the annual symposium with international participation SISOM & ACOUSTICS*, 2012. P. 203-208.

14. Zlateva P., Yordanov K. "Experimental study of heat pump type air-water for heating system performance". *E3S Web Conf. TE-RE-RD*. Vol. 112, 2019 DOI: 10.1051/e3sconf/201911201007

15. Xinhui Zhao, Enshen Long, Yin Zhang, Qinjian Liu, Zhenghao Jin, Fei Liang. "Experimental Study on Heating Performance of Air - source Heat Pump with Water Tank for Thermal Energy Storage". *Procedia Engineering 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2017, 19-22 October 2017, Jinan, China*. 2017. Vol. 205. P. 3027–3034. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.087

16. Bosyi, M. V. Teplovyi nasos z vykorystanniam nyzkopotentsiinoho dzherela teploty povitria. *Naukovi zapysy : Zbirnyk naukovykh prats, Kirovohrad National Technical University*, Iss. 16, , 2014, pp. 3-7.

17. Kulinko Ye. O., Kuzyt'skyi I. T., Pohosov O. H. "Teplovi nasosy yak dzherela nyzkotemperaturnoho teplopostachannia." *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*, 2017, no. 9, pp. 132-136.

18. Kalinichenko A. V., Kalinichenko V. M. "Efektyvnist vykorystannia teplovoho nanosu typu "povitria-voda" u systemakh teplopostachannia." *Tekhnichni nauky, Visnyk Poltava State Agrarian Academy*, 2011, no. 1. pp. 158-162.

19. Yakovchuk P. Ye., Tsiapa V. B., Komarov V. I., Krokhmalnyi B. I. "Teplovyi nasos yak element enerhozberzhennia." *Visnyk Lviv Polytechnic National University*, 2008, no. 615. pp. 194-198.

УДК 621.57

## Анализ эффективности работы воздушного теплового насоса в зависимости от колебаний температуры наружного воздуха

А. В. Шаповал<sup>1</sup>, Н. В. Чепурная<sup>2</sup>, М. А. Кириченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>асп. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [shapoval.o.v@ukr.net](mailto:shapoval.o.v@ukr.net),  
ORCID: 0000-0003-4349-4971

<sup>2</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [chepurnayanv@ukr.net](mailto:chepurnayanv@ukr.net),  
ORCID: 0000-0001-8044-7563

<sup>3</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [kirichenko-m@ukr.net](mailto:kirichenko-m@ukr.net),  
ORCID: 0000-0002-3651-3153

*Аннотация. В настоящее время всё более широко используются тепловые насосы типа "воздух-вода", которые благодаря высокому коэффициенту преобразования теплоты уменьшают энергопотребление и негативное воздействие на окружающую среду. Работа посвящена решению актуальной задачи повышения эффективности работы воздушных тепловых насосов при низкой температуре наружного воздуха зимой. Одной из главных проблем воздушного теплового насоса является уменьшение производительности при снижении температуры наружного воздуха. В данной работе была проанализирована эффективность работы теплового насоса "воздух-вода" LG Therma V для обеспечения квартиры отоплением и горячим водоснабжением. На базе полученных результатов построены графики эффективности работы теплового насоса в зависимости от температуры наружного воздуха и теплоносителя. Наиболее эффективными являются низкотемпературные системы отопления, в которых температура воды не превышает 45 °С. При температуре наружного воздуха не ниже минус 7 °С тепловой насос остаётся эффективным при большей температуре теплоносителя на выходе – до 55 °С.*

*Ключевые слова: тепловой насос, энергосбережение, низкотемпературная система отопления, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение, энергоэффективность.*

UDC 621.57

## An analysis of effectiveness of air heat pump operation dependent on change of external air temperature

O. Shapoval<sup>1</sup>, N. Chepurna<sup>2</sup>, M. Kirichenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [shapoval.o.v@ukr.net](mailto:shapoval.o.v@ukr.net),  
ORCID: 0000-0003-4349-4971

<sup>2</sup>PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [chepurnayanv@ukr.net](mailto:chepurnayanv@ukr.net),  
ORCID: 0000-0001-8044-7563

<sup>3</sup>PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [kirichenko-m@ukr.net](mailto:kirichenko-m@ukr.net),  
ORCID: 0000-0002-3651-3153

*Abstract. Currently, air-to-water heat pumps are more widely used, which due to the high coefficient of performance reduce energy consumption and negative impact on the environment. They decrease the dependency on costs of energy resources. The work is devoted to solving the urgent problem of improving the efficiency of air heat pumps at low temperature of outdoor air in winter. One of the main problems of an air heat pump is the reduction of productivity when the outdoor air temperature decreases in winter. In this paper, the effectiveness of LG Therma V air-to-water heat pump to provide apartments with heating and hot water supply was analyzed. The heat pump is reversible, which can cool or heat a heat carrier. A four-way valve swithes the coolant flows between air exchangers. On the basis of the obtained results, plots of effectiveness of the heat pump dependent on outdoor air temperature are built. It is shown that the effectiveness of the heat pump significantly depends not only on the outside temperature but also on the water temperature at the outlet of the heat pump. The use of heat pumps with a high coefficient of performance can significantly reduce energy costs. The most effective are low-temperature heating systems, in which the water temperature does not exceed 45 °C. The example is floor heating, which requires very low temperature of the floor surface – up to 30 °C. At outdoor air temperature not less than minus 7 °C the heat pump is effective at higher temperature off heat carrier at output – up to 55 °C. To provide the uninterrupted heat supply, an additional air heater is included. It covers heat load during defrosting and very low outdoor air temperature. On the basis of the conducted researches, the directions of the further experimental and field researches are planned.*

*Keywords: heat pump, energy saving, low temperature heating system, air conditioning, hot water supply, energy efficiency.*

Надійшла до редакції / Received 28.12.2020



УДК 694.6

## Анализ польских норм по сопротивлению теплопередачи и тепловому комфорту при использовании подпольного отопления

А. Уйма<sup>1</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., Ченстоховский политехнический университет, г. Ченстохова, Польша, [adam.ujma@pcz.pl](mailto:adam.ujma@pcz.pl),  
ORCID: 0000-0001-5331-6808

***Аннотация.** В работе проанализированы требования к сопротивлению теплопередачи полов с подпольным отоплением. Оно максимально соответствует физиологии человека, создаёт комфортные условия при меньшей температуре внутреннего воздуха, уменьшает поднятия пыли за счёт уменьшения конвективных потоков, позволяет использовать низкопотенциальные теплоносители, особенно от вторичных и возобновляемых энергоресурсов, не занимает места в помещении, минимально влияет на интерьер. Однако, температура нагревательных элементов значительно превышает температуру воздуха в помещении. При этом требования к теплоизоляции под нагревательными элементами должны быть выше, чем к конструкциям без подогрева. Как показал анализ нормативных документов, действующих в Польше, это не всегда соблюдено. Во многих случаях сопротивление теплопередачи оказывается меньше на 42...181 %. При вступлении в силу новых норм в 2021 году эта разница достигнет 215 %. Также нормативные ограничения по температуре поверхности пола не всегда позволяют обеспечить нормативный уровень комфорта. Таким образом, для обеспечения энергоэффективности и комфорта необходимо привести нормативные документы в соответствие друг другу.*

*Ключевые слова:* теплообмен, тёплый пол, подпольное отопление, тепловой комфорт

**Введение.** С точки зрения эффективного энергопотребления и создания комфортных условий одним из наиболее рациональных решений является использование системы радиационного отопления, встроенного в конструкцию здания, в частности, напольного отопления. Снижение уровня потребления теплоты для эксплуатационных нужд уменьшает выбросы в окружающую среду продуктов сгорания топлива, включая CO<sub>2</sub> и другие вредные вещества. Это имеет особое значение в случае использования для выработки теплоты угля. Последний обладает очень высокими показателями выбросов вредных веществ при сгорании.

Система радиационного отопления достигает высокой эффективности в результате отдачи теплоты с большой площади, а не точечно на отдельные нагреватели в случае применения традиционных радиаторов и конвекторов. Это позволяет снизить температуру теплоносителя, используя низкотемпературные системы с возобновляемыми источниками энергии из земли, солнечной радиации и пр.

Система радиационного отопления по сравнению с традиционным радиатором даёт более равномерным распределением температуры в отапливаемом пространстве. Повышение температуры излучающей поверхности в помещении позволяет сохранить комфортное тепловое ощущение при понижении температуры внутреннего воздуха. Благодаря этому возможно снижение температуры воздуха в помещении даже на 2...3 К по сравнению с традиционной системой отопления.

Использование напольного отопления уста-

навливает температуру на уровне ног человека выше, чем на уровне головы, что является предпочтительным из соображений физиологии.

В отличие от воздушного отопления напольное позволяет избежать эффекта сквозняка, из-за того, что теплота передаётся в окружающую среду, прежде всего, благодаря явлению теплового излучения. Ослабление конвективного воздушного потока над поверхностью пола снижает эффект подъёма пыли с этой поверхности. Это благоприятно сказывается на самочувствии людей с аллергическими проблемами, а также заболеваниями дыхательных путей.

К преимуществам данной системы относится, в частности, его встраивание в конструкцию пола. Это исключает необходимость выделения места в помещении на дополнительное оборудование, а также минимизирует влияние на интерьер.

Встраивание в пол иногда указывается как недостаток. Оно создаёт ограничения в области решения функционирования помещений. В частности, уже перед проектированием системы отопления необходимо расставить мебель и другое оборудование в помещениях так, чтобы они не закрывали поверхность нагрева. Рекомендуются также использовать мебель на ножках для обеспечения циркуляции воздуха над поверхностью тёплого пола.

Полы с подогревом могут быть изготовлены по мокрой, сухой или смешанной технологии. Это относится к выполнению как конструктивных слоёв, так и выравнивающих. В выравнивающем слое обогреваемых полов, выполнен-

ных по мокрой технологии, затапливаются нагревательные провода. Благодаря этому отопительный элемент становится плоским. В сухой технологии нагревательные провода помещаются непосредственно под пол. Они соединены с пластинчатыми элементами, выполненными из алюминиевого листа, которые создают рёбра нагревательных элементов. Провода могут быть размещены в также в пространстве под полом.

**Актуальность исследований.** Проектирование отопления выполняется согласно действующим нормам. Совершенство нормативной базы является одним из определяющих факторов энергопотребления страны. Поэтому анализ действующих нормативных документов является актуальной задачей.

**Анализ теоретических и экспериментальных исследований.**

**Требования к теплоизоляции полов без нагревательных элементов.** Некоторые параметры, связанные с тепловыми ощущениями и теплообменом в полах без отопительных элементов и тёплых полах были представлены в статье [1].

Основным параметром, характеризующим теплоизоляцию пола, является коэффициент теплопередачи  $U_c$ , Вт/(м<sup>2</sup> К). Требования к этому параметру, приведённые в технических строительных требованиях, сформулированы для конструкций с обычными полами. Однако, поскольку тёплые полы могут выполнять роль наружных ограждающих конструкций, необходимо обеспечивать требуемую теплоизоляцию между нагревательным элементом и

- внешним пространством
- неотапливаемым помещением
- отапливаемым помещением с более низкой температурой.

В соответствии с действующими строительными нормами [2] независимо от типа здания, требуемый уровень теплоизоляции конструкций с полами, приведён в табл. 1.

В случае складских, сельскохозяйственных и других производственных зданий могут быть приняты более высокие значения  $U_c$ , Вт/(м<sup>2</sup> К), если это оправдано экономической эффективностью инвестиционного проекта, охватывающего строительные и эксплуатационные расходы. Для этого необходимо провести анализ затрат в течение определённого, технического жизненного цикла инвестиций. Это своего рода энергоаудит здания и его наружных ограждений. Однако в нормативных актах не указывается форма и методика проведения указанного анализа.

Направление развития стандартов теплоизоляции наружных ограждений зданий в Польше определяется указаниями, разработанными для пассивных и энергосберегающих зданий. В Польше действуют требования (табл. 2) к программе финансовой реализации пассивных и энергоэффективных зданий типа NF 15 и NF 40. Числа 15 и 40 – это значения удельного энергопотребления на отопление помещений проектируемого здания, кВт·ч/(м<sup>2</sup> год). К сожалению, эта программа была закрыта, но все разработанные для неё указания могут быть использованы в проектной деятельности.

Таблица 1.

Максимальное значение коэффициента теплопередачи для ограждений с полом, Вт/(м<sup>2</sup> К), согласно [2]

Температура в помещении $t_i$ или разница температуры воздуха между помещениями $\Delta t_i$ , °С	Максимальный коэффициент теплопередачи $U_{c(max)}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К) / минимальное сопротивление теплопередачи $R_{q min}$ , м <sup>2</sup> К/Вт	
	с 01.01.2017 г.	с 01.01.2021г.
Пол на грунте:		
$t_i \geq 16$	0,30 / 3,33	0,30 / 3,33
$8 \leq t_i < 16$	1,20 / 0,83	1,20 / 0,83
$t_i \leq 8$	1,50 / 0,67	1,50 / 0,67
Перекрытие над проездами в зданиях, при температуре в помещении:		
$t_i \geq 16$	0,18 / 5,56	0,15 / 6,67
$8 \leq t_i < 16$	0,30 / 3,33	0,30 / 3,33
$t_i \leq 8$	0,70 / 1,43	0,70 / 1,43
Перекрытие над неотапливаемым помещением или закрытым пространством под полом:		
$t_i \geq 16$	0,25 / 4,00	0,25 / 4,00
$8 \leq t_i < 16$	0,30 / 3,33	0,30 / 3,33
$t_i \leq 8$	1,00 / 1,00	1,00 / 1,00
Перекрытие над отапливаемым помещением или междуэтажное перекрытие:		
$\Delta t_i \geq 8$	1,00 / 1,00	1,00 / 1,00
$\Delta t_i < 8$	без требований	без требований

Допустимые значения коэффициента теплопередачи  $U_{c(oon)}$ , Вт/(м<sup>2</sup> К) для полов в пассивных зданиях типа NF 15 и энергосберегающих зданиях типа NF 40

Тип внешней ограждающей конструкции	Пассивные здания	Односемейные здания		Многоквартирные здания	
		NF15	NF40	NF15	NF40
	Допустимый коэффициент теплопередачи $U_{c(oon)}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)				
Пол на грунте, перекрытие над неотапливаемым помещением и закрытым пространством под полом	0,10... ...0,15	0,12	0,25	0,15	0,25
Перекрытие над проездом			0,15		0,18

В соответствии с Правилами [2] при проектировании ограждающих конструкций на грунте следует учитывать и другое требование, касающееся теплоизоляционных свойств. В жилых и общественных зданиях, а также в производственных, складских и хозяйственных по периметру пола на грунте в отапливаемом помещении следует применить слой теплоизоляции с сопротивлением теплопередачи не менее 2,0 м<sup>2</sup>К/Вт.

Проблемой является отсутствие требований к ширине теплоизоляционной полосы. Принимая во внимание требования предыдущей нормы по теплоизоляции зданий, можно предположить, что ширина изоляционной полосы, размещённой горизонтально в полу или вертикально на фундаменте или стене фундамента, должна быть не менее 1 м.

**Теплоизоляция в тёплых полах.** Требования к теплоизоляции слоя под нагревательными элементами в тёплых полах (табл. 3) приведены в

- N-EN 1264-4:2009 [3];
- PN-EN ISO 11855-5:2015-10 [4].

В ограждающих конструкциях со слоем теплоизоляции под нагревательными элементами в полу должны обеспечиваться минимальные теплотери от нагревательных элементов. В этом типе конструкций тёплых полов следует особым способом подходить к обеспечению теплоизоляции под нагревательным слоем.

В этих конструкциях требования к сопротивлению теплопередачи [2] относятся к этому слою, а не ко всей конструкции. Такой подход целесообразен, поскольку нагревательный элемент может иметь температуру 35...55 °С. Это значительно выше, чем температура воздуха в обогреваемом помещении (обычно 16-24 °С).

**Оценка комфортности микроклимата в помещениях с тёплым полом.** Норматив [3] определяет основные параметры температуры и плотности теплового потока для тёплых полов (табл. 4). Тепловые свойства полов также влияют на ощущения теплового комфорта людей, находящихся в помещении. Оценивает их можно на основе показателей, включённых

в норматив PN-EN ISO 7730:2006 [5].

В ней приводится классификация помещений по категориям *A*, *B* и *C*, определяющим помещения с точки зрения тепловых ощущений.

- категория *A* – самые высокие требования к тепловому комфорту из-за присутствия в помещениях особенно чувствительных людей, в т. ч. детей, инвалидов, больных или пожилых людей: помещения в яслях, детских садах, больницах, домах для пожилых людей и социальной помощи, а также ван-ные комнаты, бассейны и т. д.;
- категория *B* – средние требования в области ощущений теплового комфорта, которым должны удовлетворять помещения в строящихся зданиях, с другими функциями, кроме перечисленных в категории *A*, в т. ч. жилые помещения, школьные, офисные и т. д.;
- категория *C* – наихудшие приемлемые условия, как правило, в существующих зданиях, например, в офисных помещениях со пониженным стандартом, промышленные здания.

Категории помещений по комфортности описываются рядом показателей, таких как:

- *PMV* (*Predicted Mean Vote*) – показатель прогнозируемого среднего ощущения комфорта;
- *PPD* (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) – процент людей, недовольных тепловыми условиями, ощущаемыми организмом; процентные показатели числа людей, испытывающих дискомфорт, вызванный различными факторами;
- *DR* (*Draught Rating*) – ощущение сквозняка;
- *PD<sub>V</sub>* (*Percentage of Dissatisfied from Vertical air temperature difference between head and feet*) – процент неудовлетворённых вертикальной разницей температуры между головой и ступнями;
- *PD<sub>F</sub>* (*Percentage of Dissatisfied caused by warm or cold Floor*) – процент неудовлетворённых теплым или холодным полом,
- *PD<sub>Δ</sub>* (*Percentage of Dissatisfied from radiant asymmetry*) – асимметрия радиационной температуры.

Таблиця 3.

Минимальное значение сопротивления изоляции ниже труб в поверхностных системах отопления в соответствии со стандартами [3, 4]

Вид среды на противоположной стороне помещения с тёплым полом	Минимально допустимое сопротивление теплоизоляции, м <sup>2</sup> К/Вт	
Отапливаемое помещение	0,75	
Постоянно или временно неотапливаемое помещение	1,25	
Грунт под полом или за наружной стеной	1,25	
Наружное пространство с расчётной температурой воздуха $t_e$ , °C	$t_e \geq 0^\circ\text{C}$	1,25
	$0^\circ\text{C} > t_e \geq -5^\circ\text{C}$	1,50
	$-5^\circ\text{C} > t_e \geq -15^\circ\text{C}$	2,00

Таблиця 4.

Максимальные значения температуры поверхности и плотности теплового потока для тёплых полов согласно PN EN 1216-4

Место применения тёплого пола	Расчётная температура воздуха в помещении	Максимальная температура поверхности пола	Допустимая плотность теплового потока
	°C	°C	Вт/м <sup>2</sup>
Зона пола, удаленная от внешних стен	20	29	100
Береговая зона, вдоль наружных стен	20	35	175
Пол в ванной комнате	24	33	100

В табл. 5 обобщены требуемые значения показателей, выражающих приемлемый уровень чувств пользователей помещения, в зависимости от категории теплового комфорта. Как видно находятся там также параметры, связанные со свойствами тёплого пола.

Местный дискомфорт, выраженный индексом  $PD_F$ , вызванный ощущениями, связанными с температурой холодного или тёплого пола, определяется по формуле:

$$PD_F = 100 - 94 e^{-1,387 + 0,118 \theta_{F,m} - 0,0025 \theta}, \quad \% \quad (1)$$

где  $\theta_{F,m}$  – средняя температура поверхности пола, °C;  $\theta$  – температура воздуха в помещении, °C; 0,118 и 0,0025 – размерные коэффициенты, °C<sup>-1</sup>.

Местный дискомфорт выраженный показателем  $PD_V$  определяется по формуле:

$$PD_V = \frac{100}{1 + e^{5,76 - 0,856 \Delta t_V}}, \quad \% \quad (2)$$

где  $\Delta t_V$  – вертикальная разница температуры

воздуха между головой и стопой человека, К, 0,856 – размерный коэффициент, К<sup>-1</sup>.

**Формулировка целей статьи.** Целью данной работы является сравнительный анализ различных требований польских норм теплоизоляции полов с нагревательными элементами и без них.

**Основная часть.**

**1. Анализ норм теплоизоляции в тёплых полах.**

В нормативах [3, 4] требования к теплоизоляционным слоям оказываются очень мягкими, далёкими от общих технических строительных требований. Простое сравнение вышеуказанных требований с требованиями, касающимися теплоизоляции ограждений в отапливаемых зданиях, показывает, что первые недостаточны (табл. 6).

Расчётные минимальные значения сопротивления теплопередачи слоя теплоизоляции по [2] рассчитаны по формуле

$$R_q = \frac{1}{U_{C(max)}} - R_{si} - R_{se}, \quad \text{м}^2 \text{К/Вт}, \quad (3)$$

Таблиця 5.

Перечень требуемых значений показателей, используемых для оценки соответствующего класса помещений в зависимости от параметров, определяющих условия теплового комфорта, на основе стандарта PN-EN ISO 7730: 2006 [5]

Категория помещения	Термическое состояние организма в целом, выраженное показателями		Ощущение комфорта, выраженное показателями, %			
	$PPD$ , %	$PMV$	$DR$	$PD_V$	$PD_F$	$PD_\Delta$
A	< 6	$-0,2 < PMV < 0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < 0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < 0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Таблиця 6

Расчётное значение минимального сопротивления теплопередачи теплоизоляционных слоёв под нагревательными элементами, рассчитанное в соответствии с требованиями стандартов [3, 4] и в соответствии со строительными требованиями [2], а также процентная разница между этими значениями для различных типов ограждений

Температура в помещении $t_i$ , °C, или разница температуры воздуха между помещениями $\Delta t_i$ , °C	Допустимое минимальное значение сопротивления теплопередачи слоя теплоизоляции согласно нормативам [3, 4] $R_{q,34}$ , м <sup>2</sup> К/Вт	Минимальное сопротивление теплопередачи $R_{q,2}$ , м <sup>2</sup> К/Вт, слоя теплоизоляции исходя из строительных требований [2] по формуле (1) / относительная недостача сопротивления [2] при выполнении норм [3,4], %	
		с 01.01.2017	с 01.01.2021
Пол на грунте – ПнГ:			
$t_i \geq 16$	1,25	3,00 / 141	3,00 / 141
$8 \leq t_i < 16$		0,50 / —	0,50 / —
$t_i \leq 8$		0,35 / —	0,35 / —
Перекрытие над проездами в зданиях - ПнП:			
$t_i \geq 16$	2,00	5,20 / 160	6,30 / 215
$8 \leq t_i < 16$		3,00 / 42	3,00 / 42
$t_i \leq 8$		1,10 / —	1,10 / —
Перекрытие над неотапливаемым помещением или закрытым пространством под полом - ПнПП:			
$t_i \geq 16$	1,25	3,50 / 181	3,50 / 181
$8 \leq t_i < 16$		2,80 / 127	2,80 / 127
$t_i \leq 8$		0,50 / —	0,50 / —
Перекрытие над отапливаемым помещением или междуэтажное перекрытие:			
$\Delta t_i \geq 8$	0,75	0,50 / —	0,50 / —
$\Delta t_i < 8$		без требований	без требований

\* с 01.01.2019 г. для зданий местных и государственных органов или являющихся их собственностью

где  $R_{si}$  и  $R_{se}$  – сопротивление теплопередачи внутренних и наружных слоёв кроме теплоизоляционного на уровне 0,15 м<sup>2</sup> К/Вт.

Особенно большие диспропорции между общими строительными требованиями и требованиями из нормативов [3, 4] выявлены для перекрытия над:

- проездом или проходом в помещениях с температурой  $t_i \geq 8$  °C;
- неотапливаемым помещением в помещениях с температурой  $t_i \geq 8$  °C;
- замкнутым пространством под полом в помещениях с температурой  $t_i \geq 8$  °C;
- полом на грунте, в помещениях с температурой  $t_i \geq 16$  °C.

Процентная разница требований к перекрытию над проходами в помещениях с температурой воздуха 16 °C и выше составляет 160 %.

Она достигнет 215 %, по требованиям, которые будут применяться с 2021 г.

В случае перекрытий над неотапливаемыми помещениями процентная разница между требованиями достигает 181 % по сравнению с требованиями нормативов [3, 4].

На основании значений минимального сопротивления теплопередачи в табл. 6 определена минимальная толщина слоя теплоизоляции по указаниям нормы [3, 4] и строительным требованиям [2], для трёх вариантов (табл. 7) коэффициента теплопроводности теплоизоляции 0,035; 0,030; 0,025 Вт/(м К).

Из сравнения полученных результатов следует, что по указаниям норм [3, 4] толщина теплоизоляции, в частности, для перекрытий над проездами и неотапливаемыми помещениями с внутренней температурой выше 8 °C, суще-

ственно занижена по сравнению с рассчитанной на основании [2]. Это обстоятельство имеет особое значение в настоящее время, когда ужесточаются требования к наружным ограждающим конструкциям с точки зрения энергоэффективности зданий.

Использование только указанных норм [3, 4], в области тепловой изоляции конструкции с тёплым полом будет приводить к дополнительным потерям теплоты.

Особенно велики будут теплопотери в случае теплоизоляции тёплого пола в перекрытиях над проездами, аркадами и т. д. и над неотапливаемыми помещениями.

Из расчётов следует, что для этого типа конструкции необходимо принимать толщину теплоизоляции не менее 190 и 130 мм при использовании теплоизоляционного материала с теплопроводностью 0,035 Вт/(м К).

С 2021 года это значение возрастёт до 230 мм (перекрытие над проездом). Из нормативных требований достаточно было бы использовать изоляционные слои толщиной 50...70 мм.

Только в случае теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности равным 0,025 Вт/(м К) минимальная толщина слоя тепловой изоляции в перекрытиях над проездами, аркадами и т. д. и над неотапливаемыми помещениями составляет 130 и 90 мм. С 2021 года толщина возрастёт до 160 мм (перекрытие над проездом).

Отдельные требования в области термических свойств формулируются для слоёв, находящихся над нагревательными элементами. Сопротивление слоев грунта и пола не должно превышать 0,15 м<sup>2</sup>К/Вт, для пола, только с функцией отопления и 0,10 м<sup>2</sup>К/Вт, для пола с функцией обогрева зимой и охлаждения летом.

**2. Обеспечение комфортных тепловых ощущений с помощью тёплого пола.** Результаты расчёта показателя  $PD_F$  в зависимости от температуры поверхности пола, характеризующие тёплый пол, указаны на рис. 1.

Минимальные значения принимает показатель дискомфорта при температуре поверхности пола, близкой к 23,5 °С. Этому значению соответствует максимальный комфорт.

Благоприятные температурные условия, связанные с этими ощущениями, могут быть обеспечены тёплым полом с температурой поверхности:

- до 28 °С для помещений категорий А и В
- немного выше 30 °С в случае помещения категории С.

Это не вполне соответствует указаниям норматива PN-EN 1264-4, в котором допускает-

ся температура поверхности пола, в некоторых помещениях до 33...35 °С. Такие параметры пол обеспечит только когда система отопления работает.

В период охлаждения, когда система отопления не работает, показатель дискомфорта может принимать другие, менее благоприятные значения.

Выполнено сравнение результатов расчёта показателя  $PD_V$  с допустимыми уровнями для различных категорий тепловых ощущений (рис. 2). Для соответствия критерию  $PD_V$  для разница по вертикали температуры воздуха на уровне головы и голеностопных суставов человеческой ноги не должна превышать:

- 2,7 К для помещений категории А;
- 3,3 К для категории В;
- 4,2 К для категории С.

Из характеристики линии показателя дискомфорта  $PD_V$  следует, что с увеличением разницы температуры между уровнем головы и ногами человека тепловые ощущения ухудшаются. При разнице в 5...6 К значение показателя увеличивается до 20...35 %.

В этом случае заметна определённая аналогия с ранее представленной характеристикой. Она свидетельствует о том, что нельзя превышать температуру поверхности пола выше определённой величины.

Если температура в помещении составляет 25 °С на уровне головы, то на уровне голеностопных суставов на ногах человека она не должна быть выше чем 28 °С.

**Выводы.** При анализе нормативных документов по подпольному отоплению выявлена очень большая разница в требованиях различных норм по теплоизоляции слоёв под нагревательными элементами. Эта разница достигает 181 %. Она возрастёт до 215 % при вступлении в силу новых положений в 2021 году. В помещениях категорий А и В температура поверхности пола должна находиться в диапазоне от 20 до 28 °С, а в случае категории С не превышать 30 °С. Наиболее благоприятные условия достигаются при температуре поверхности пола, близкой к 23,5 °С. Это не вполне соответствует указаниям норматива PN-EN 1264-4, в котором допускается температура поверхности пола в некоторых помещениях до 33...35 °С. В случае критерия  $PD_V$  для помещений категории А, вертикальная разница температуры воздуха между головой и голеностопными суставами человека не должна превышать 2,7 К, для категории В – 3,3 К и для категории С – 4,2 К. Таким образом, для обеспечения энергоэффективности и комфорта необходимо привести нормативные документы в соответствие друг другу.

Таблиця 7.

Предполагаемая толщины слоя теплоизоляции, которая должна быть принята в соответствии с указаниями норм [3, 4] и строительными требованиями [1] для разных типов ограждений

Вид документа с требованиями, касающимися теплоизоляции	Дата действия документа	Вид ограждения	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м К)	Минимальная толщина теплоизоляции, мм, (округлённая до 10 мм) при температуре воздуха в помещении, °С		
				$t_i \geq 16$	$8 \leq t_i < 16$	$t_i \leq 8$
Нормативы: PN-EN 1264-4:2009, PN-EN ISO 11855:2015 [3, 4]		ПнГ	0,035	50		
			0,030	40		
			0,025	40		
		ПнП	0,035	70		
			0,030	60		
			0,025	50		
		ПнПП	0,035	50		
			0,030	40		
			0,025	40		
Строительные требования [2]	с 01.01.2017	ПнГ	0,035	110	20	20
			0,030	90	20	10
			0,025	80	20	10
		ПнП	0,035	190	110	40
			0,030	160	90	40
			0,025	130	80	30
		ПнПП	0,035	130	100	20
			0,030	110	90	20
			0,025	90	80	20
	с 01.01.2021	ПнГ	0,035	110	20	20
			0,030	90	20	10
			0,025	80	20	10
		ПнП	0,035	230	110	40
			0,030	190	90	40
			0,025	160	90	30
		ПнПП	0,035	130	100	20
			0,030	110	90	20
			0,025	90	80	20

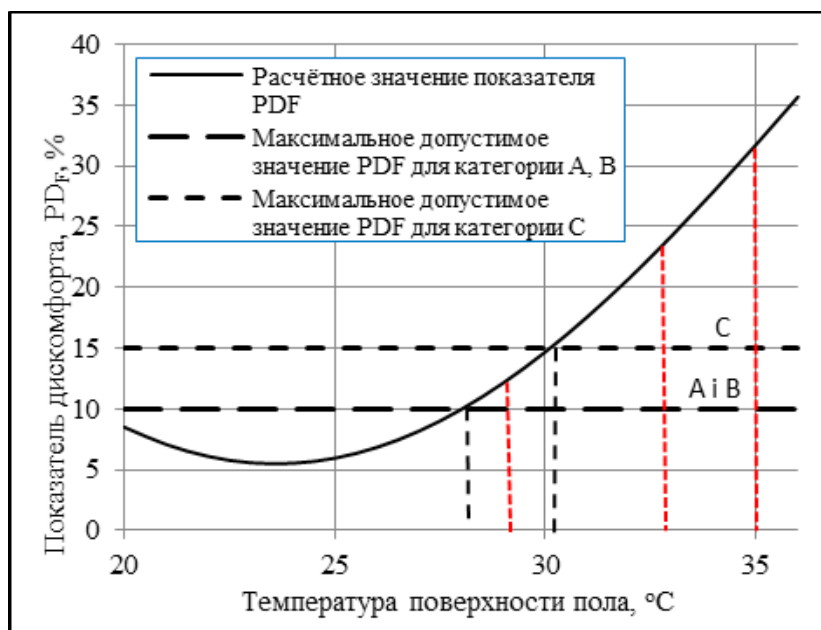


Рис. 1. Характер изменения показателя теплового комфорта  $PD_f$  в зависимости от температуры поверхности пола, в сопоставлении с допустимыми уровнями этого показателя для различных категорий помещений и максимальными значениями температуры поверхности в соответствии с нормой PN-EN 1264-4

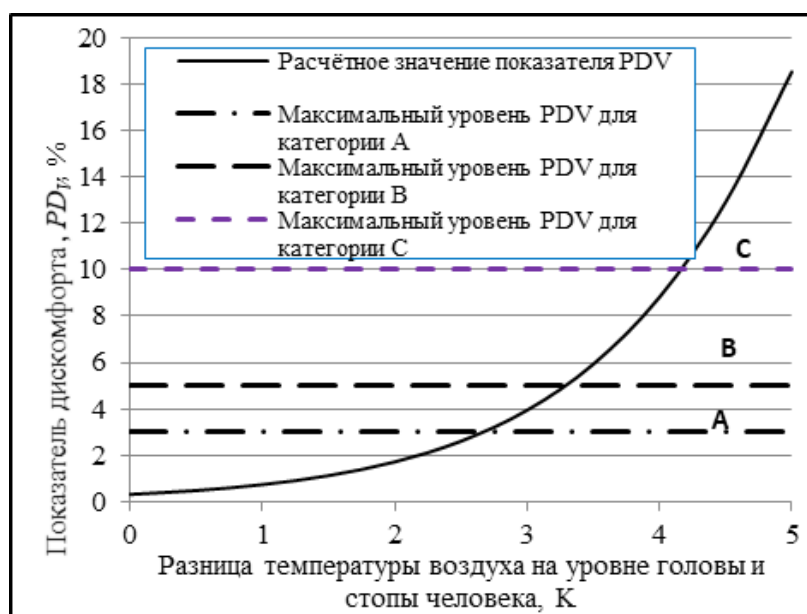


Рис. 2. Характер изменения показателя теплового дискомфорта  $PD_v$  от вертикальной разницы температуры, по сравнению с уровнями допустимыми для разных категорий помещений

### References

1. Ujma A. "Analiza wybranych parametrów cieplnych podłóg nieogrzewanych i ogrzewanych". *Izolacje*, 2018, nr 11/12, P. 86-90
2. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. z 7 czerwca 2019r., poz. 1065
3. PN-EN 1264-4:2009. Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 4: Instalowanie.
4. PN-EN ISO 11855-5:2015-10: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 5: Instalacja.
5. PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia. Środowisko termiczne umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.



УДК 694.6

## Аналіз польських норм щодо опору теплопередачі й теплового комфорту при використанні підлогового опалення

А. Уйма<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., Ченстоховський політехнічний університет, Ченстохова, Польща, [adam.ujma@pcz.pl](mailto:adam.ujma@pcz.pl), ORCID: 0000-0001-5331-6808

*Анотація.* У роботі проаналізовано вимоги до опору теплопередачі підлог з підлоговим опаленням. Воно максимально відповідає фізіології людини, створює комфортні умови при меншій температурі внутрішнього повітря, зменшує підняття пилу за рахунок зменшення конвективних потоків, дозволяє використовувати низькопотенційні теплоносії, особливо від вторинних і поновлюваних енергоресурсів, не займає місця в приміщенні, мінімально впливає на інтер'єр. Однак, температура нагрівальних елементів значно перевищує температуру повітря в приміщенні. При цьому вимоги до теплоізоляції під нагрівальними елементами повинні бути вищими, ніж до конструкцій без підігріву. Як показав аналіз чинних у Польщі нормативних документів це не завжди дотримано. У багатьох випадках опір теплопередачі виявляється менше на 42...181%. При набутті чинності нових норм у 2021 році ця різниця досягне 215%. Також нормативні обмеження щодо температури поверхні підлоги не завжди дозволяють забезпечити нормативний рівень комфорту. Таким чином, для забезпечення енергоефективності та комфорту необхідно узгодити нормативні документи.

*Ключевые слова:* теплообмін, тепла підлога, підлогове опалення, тепловий комфорт

UDC 694.6

## Analysis of Polish norms on thermal resistance and thermal comfort for underfloor heating

A. Ujma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PhD, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland, [adam.ujma@pcz.pl](mailto:adam.ujma@pcz.pl), ORCID: 0000-0001-5331-6808

*Abstract.* In the paper, there is an analysis of the requirements for the thermal resistance of floors with underfloor heating. It corresponds to the human physiology as much as possible, creates comfortable conditions at a lower temperature of the internal air, reduces the rise of dust by reducing convective flows, allows the use of low-grade heat carriers, especially from secondary and renewable energy resources, does not take up space in the room, minimally affects the interior. However, the temperature of the heating elements is significantly higher than the room temperature. At the same time, the requirements for thermal insulation under the heating elements should be higher than for structures without heating. As the analysis of the regulations in force in Poland has shown, this is not always observed. In many cases, the heat transfer resistance is lower by 42-181%. The percentage difference in requirements for floors over aisles in rooms with an air temperature of 16 °C and above is 160%. It will reach 215%, according to the requirements that will be applied from 2021. In the case of floors over unheated rooms, the percentage difference between the requirements reaches 181%. By the new norms in 2021, this difference will reach 215%. Also, the normative limitation on the temperature of the floor surface does not always allow providing the normative level of comfort. In rooms of categories A and B, the surface temperature of the floor must be 20-28 °C. In the case of category C it should not exceed 30 °C. The most favorable conditions are achieved when the floor surface temperature is close to 23.5 °C. PN-EN 1264-4 standard allows the temperature of the floor surface in some rooms up to 33...35 °C. Thus, to ensure energy efficiency and comfort, it is necessary to harmonize the regulations with each other.

*Keywords:* heat exchange, underfloor heating, underfloor heating, thermal comfort

Надійшла до редакції / Received 23.11.2020

# Вентиляція для побутового сегменту

## CROSSSTAR MINI



### ВИД УСТАНОВКИ

енергозберігаюча припливно-витяжна установка з роторним рекуператором



### ПРОДУКТИВНІСТЬ

до 1600 м<sup>3</sup> / год



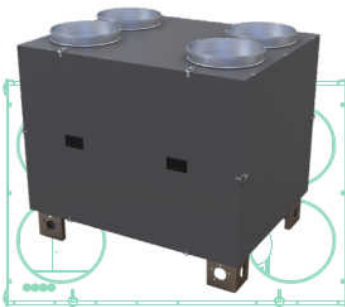
### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

невеликі приміщення, такі як: дитячі сади, офіси, банки, ресторани, магазини та інші, де важлива економія за рахунок найнижчого рівня споживання електроенергії.

### ДОДАТКОВІ ОПЦІЇ

- ⊕ Водяний нагрів
- ⊕ Електронагрів
- ⊕ Водяне охолодження
- ⊕ Фреонове охолодження
- ⊕ Підкл. датчика якості повітря / датчика вологості

## ECOSTAR



\* ЕКО-РІШЕННЯ ДЛЯ СУЧАСНОГО ЖИТЛА



### ВИД УСТАНОВКИ

енергозберігаюча припливно-витяжна установка з пластинчастим рекуператором



### ПРОДУКТИВНІСТЬ

до 1400 м<sup>3</sup> / год



### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

комплексне рішення для локальної вентиляції малих, середніх житлових і адміністративних приміщень.

### ДОДАТКОВІ ОПЦІЇ

- ⊕ Водяний нагрів
- ⊕ Електронагрів
- ⊕ Водяне охолодження
- ⊕ Фреонове охолодження
- ⊕ Байпас
- ⊕ Підкл. датчика якості повітря / датчика вологості

## SKYSTAR MINI



### ВИД УСТАНОВКИ

компактні підвісні припливні установки.



### ПРОДУКТИВНІСТЬ

до 1400 м<sup>3</sup> / год



### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

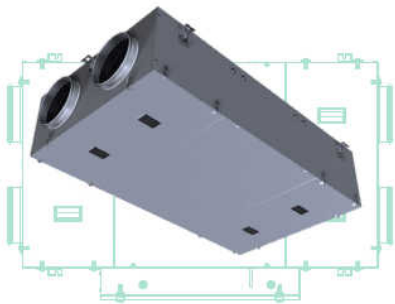
адміністративні будівлі, торговельні та інші приміщення з обмеженим простором.

### ДОДАТКОВІ ОПЦІЇ

- ⊕ Фреонове охолодження
- ⊕ Підкл. датчика якості повітря / датчика вологості

# Вентиляція для побутового сегменту

## SLIMSTAR



### ДОДАТКОВІ ОПЦІЇ

- ⊕ Водяний нагрів
- ⊕ Електронагрів
- ⊕ Водяне охолодження
- ⊕ Фреонове охолодження
- ⊕ Байпас
- ⊕ Парозволоження
- ⊕ Підкл. датчика якості повітря / датчика вологості



#### ВИД УСТАНОВКИ

стельова багатофункціональна компактна припливно-втяжна установка з пластинчастим рекуператором



#### ПРОДУКТИВНІСТЬ

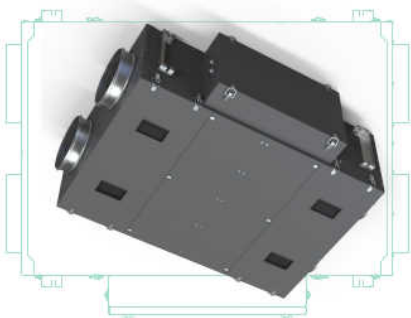
до 2400 м<sup>3</sup> / год



#### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

будь-які типи приміщень, такі як: приватні будинки, квартири, ресторани, салони, майстерні, школи, адміністративні будівлі і навіть "чисті" приміщення з високими вимогами до повітря.

## SLIMSTAR PAP



#### ВИД УСТАНОВКИ

компактна припливно-втяжна вентиляційна установка з пластинчастим рекуператором



#### ПРОДУКТИВНІСТЬ

до 1000 м<sup>3</sup> / год



#### СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

для вентиляції повітря невиробничих об'єктів: офісів, житлових будинків, освітніх установ.



### ДОДАТОК AEROSTAR APP - управління кліматичним обладнанням з мобільного телефону

Часто установки монтують в важкодоступних вентиляційних камерах.

Додаток дозволяє швидко змінювати налаштування і не прив'язується до географічного положення: можна контролювати роботу установки, як із сусіднього приміщення, так і з будь-якої точки світу, що особливо актуально в разі форс-мажорів.



для **IOS**  
ПРИСТРОЇВ



для **ANDROID**  
ПРИСТРОЇВ

За допомогою Aerostar App обладнанням можна управляти самостійно, без спеціальних знань.



УДК 62-6

## Енергоефективна оптимізація системи теплопостачання нафтотерміналу

П. М. Гламаздін<sup>1</sup>, Е. Сірохіна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> студентка, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [s.evel4063@ukr.net](mailto:s.evel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Анотація. В умовах необхідності розвитку транспортної інфраструктури України та диверсифікації джерел постачання в країну енергоносіїв, серед яких нафти та нафтопродуктів, постає проблема розвитку нафтотерміналів. Дана робота присвячена оптимізації структури теплопостачання нафтотерміналів і в цьому сенсі є актуальною. У результаті проведених досліджень показано можливість використання високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) для теплопостачання нафтотерміналів; показано переваги в ефективності, екологічності та надійності систем з ВОТ проти систем з використанням водяної пари як теплоносія; показано, що на відміну від парових систем теплопостачання нафтотерміналів системи з ВОТ можливо улаштувати не тільки централізованими але й децентралізованими. Це дає додаткові економічні переваги: зменшує довжину внутрішньомайданчикових теплових мереж в нафтотерміналі, а завдяки цьому зменшуються тепловтрати в них і підвищується надійність системи. Проведено вартісну оцінку капітальних вкладень порівнюваних варіантів улаштування системи теплопостачання. Показано перевагу децентралізованої системи. Отримано нижчу вартість експлуатації також для децентралізованої системи за рахунок зменшення питомої витрати палива та електроенергії. Отримані в результаті дослідження матеріали можна використовувати як рекомендації до проектування систем теплопостачання нафтотерміналів з використанням ВОТ.*

*Ключові слова:* важкий нафтопродукт, нафтотермінал, теплопостачання, високотемпературний органічний теплоносіїв

**Вступ.** Особливістю деяких сортів нафти та важких нафтопродуктів (мазут, гудрон) є сильне зниження в'язкості, Па·с, при зростанні температури, °С. При цьому для зменшення в'язкості до значень, при яких ці нафтопродукти стають придатними до спорожнення посудин, наповнення резервуарів та транспортування трубопроводами, потрібна достатньо висока температура. Для мазуту марки 100 – це 60 °С [1], а для гудрону – понад 100 °С. Температура для розігріву сирової нафти коливається в широкому діапазоні і залежить від складу останньої [2].

На даний час для розігріву важких нафтопродуктів і сирової нафти в основному використовуються парові системи [1-3]. Як і всім іншим паровим системам, їм притаманний ряд недоліків, які роблять їх занадто енергоємними, не дуже надійними і дорогими в експлуатації [4]. Тому виникає задача пошуку більш надійних та енергоефективних варіантів теплопостачання.

**Актуальність роботи.** Останнім часом для перевалювання нафтопродуктів почали використовувати системи їхнього нагрівання за допомогою високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) [5]. Однак робіт, присвячених використанню ВОТ в нафтотерміналах, вкрай мало. Проектианти без доступу до спеціальних знань в цій галузі зазвичай проектують

парові системи теплопостачання нафтотерміналів. Це обумовлює актуальність досліджень енергоефективності та надійності систем теплопостачання нафтотерміналів з ВОТ.

**Останні дослідження та публікації.** Інформації щодо підвищення енергоефективності систем теплопостачання нафтотерміналів у технічній літературі вкрай обмаль, як і стосовно влаштування подібних систем взагалі. В основному, крім спеціального підручника [2], вона стосується систем зберігання і подавання мазуту до парових котлів теплових електростанцій [1,3,6,7], хоча може бути використана і при проектуванні нафтотерміналів.

У всіх зазначених джерелах мова йде про парові системи нагріву нафтопродуктів. В останніх публікаціях у технічних журналах, присвячених цій галузі, мова йде також про інтенсифікацію процесів у цих системах.

У статті [8] пропонується підтримувати тиск пари до 0,6...0,8 МПа і температуру до 200 °С. Як більш прогресивний циркуляційний метод запропоновано нагрівання мазуту в спеціальних теплообмінниках – конденсаторах пари, а далі під тиском мазут подається до резервуара.

У статті [9] пропонується заміна традиційних кожухотрубних теплообмінників-конденсаторів з водяною парою для нагрівання мазуту замінити на теплообмінники типу

«труба в трубі». У роботі [10] пропонується на нафтобазах багатоступенева система отримання водяної пари, що насамкінець іде на підтримання необхідної температури в резервуарах з нафтопродуктами. У першому ступені використовується сонячна енергія, надалі пропонується використовувати тепловий насос, а далі – звичайна парова система. Роботоздатність та доцільність такої системи викликає сумніви.

В останніх публікаціях з'являється інформація щодо можливості використання ВОТ у системах теплопостачання нафтотерміналів. Так, у роботі [11] наведено теплову схему системи теплопостачання нафтобази з ВОТ та з блоковою котельною для нагрівання останнього. Однак, схема надана дуже спрощено і з недоліками, а розрахунок блокового підігрівача нафти з ВОТ відсутній, хоча й задекларований у назві.

У роботі [12] декларується перевага ВОТ перед водяною парою для систем опалення морських суден, особливо льодового класу, через невеликий тиск теплоносія при підвищеній температурі. Згадується, що Правилами Російського морського реєстру дозволяється використання ВОТ на морських судах. Крім того, наведено інформацію щодо наявності в північних районах трьох морських нафтотерміналів з використанням ВОТ у системах теплопостачання. Проте подробиць щодо їхнього обладнання й досвіду експлуатації не наводиться.

У роботі [13] наводяться дані щодо використання ВОТ у судових системах життєзабезпечення. Наводиться інформація відносно започаткування використання ВОТ у 30-х роках минулого сторіччя в хімічних технологіях. На морських судах вони використовуються з 60-х років минулого сторіччя. Наводиться коротке порівняння з паровими системами, для яких виділено основні недоліки:

- високий тиск у системах;
- необхідність систем хімводоочищення;
- високий ступінь корозійної загрози.

Без обґрунтування декларуються витрати теплоносія-води в системі на рівні 5 % загального об'єму теплоносія. Наведено застарілу інформацію щодо виробників котлів для нагрівання ВОТ.

Більше інформації щодо використання ВОТ у системах теплопостачання нафтотерміналів не було знайдено. Однак, є достатньо великий обсяг інформації щодо досвіду використання ВОТ у хімічних технологіях [14].

В СРСР ВОТ широко використовувались у хімічних технологіях. Цю інформацію викладено у відповідних монографіях. Було видано

три видання монографії Четкіна А.В., останнє в 1971 році [15]. Крім того, є монографія Н. П. Долініна [16]. Але в них загалом мова йде про суто хімічні технології, у яких використовується в основному ВОТ у паровій фазі.

Відома також монографія, присвячена можливостям використання ВОТ для отримання електроенергії в паросиловому циклі Ренкіна [17] – так званому органічному циклі Ренкіна (ORC). Відома монографія Вагнера [18], що має також два видання. Вона містить різноманітну інформацію щодо можливостей використання ВОТ. У ній також відсутня інформація щодо особливостей використання ВОТ для таких об'єктів як нафтотермінали або нафтобази та інші, які мають великі відстані між споживачами теплоти.

У роботі [19] пропонується використовувати ORC для отримання електроенергії для забезпечення елементів портової інфраструктури. Однак, стосовно системи теплопостачання портів інформації немає.

Окремі міркування щодо використання систем теплопостачання з ВОТ у портах наведені в роботі [20]. Для проектування будівель котельні з котлами для нагрівання ВОТ деякі особливі вимоги задекларовано в «Правилах будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів» НПАОП 0.00-1.08-94. Але там наведено тільки вимоги щодо розташування елементів котельні в будівлях.

Таким чином, проблема використання ВОТ для заміни водяної пари в системах теплопостачання нафтотерміналів на сьогодні не розроблена в достатній мірі і потребує подальших досліджень. Проведений огляд інформаційних джерел показує, що наразі необхідно поглиблене формулювання проблеми з подальшим дослідженням шляхів її вирішення

**Порівняльний аналіз парових систем та систем з ВОТ.** Для з'ясування конкретних переваг систем теплопостачання з ВОТ перед системами з водяною парою проведено техніко-економічний аналіз цих систем. Для проведення аналізу використано деякі принципи системного аналізу [21]. Першими аналіз виконано для парових систем.

Всі парові системи теплопостачання мають низку недоліків незалежно від об'єкту теплопостачання. Для поглиблення і конкретизації аналізу виконано декомпозицію системи (рис.1).

Структурна схема системи, отримана за допомогою декомпозиції, дозволяє провести прискіпливий аналіз витрат і втрат теплоти і теплоносія в системі. Вся система складається з трьох підсистем:

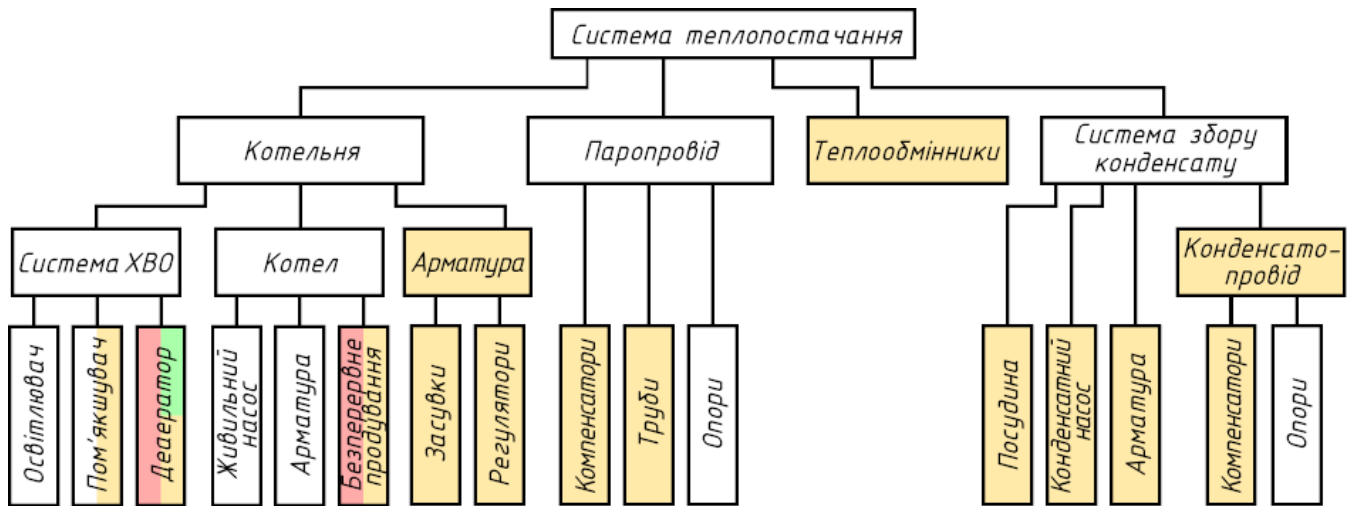


Рис.1. Структурна схема парової системи теплопостачання:

червоний колір – джерело втрат теплоносія;

жовтий колір – джерело втрат теплоти;

зелений колір – споживач технологічної теплоти;

XBO – хімічне водоочищення

- джерело теплоти – парова котельня;
- паропровід;
- система збору і повернення конденсату.

Серце системи – парова котельня, яка у свою чергу складається з самого котла або декількох котлів, системи хімічного водоочищення (ХВО) та редуційно-охолоджувальної установки (РОУ), необхідної для підтримання постійних, стабільних параметрів пари на вході до паропроводу. Кожен з цих елементів є в свою чергу підсистемою зі своєю структурою (рис. 1). Майже в кожному елементі цих підсистем наявні технологічні витрати теплоти, втрати теплоти та/або теплоносія – води.

Технологічні витрати теплоти притаманні самій паровій котельні і необхідні для її функціонування. Прямим споживачем теплоти є система хімічного водоочищення. Теплоту для функціонування споживають деаератор та катіонітові фільтри пом'якшення сирової води. Крім того, в системі є втрати води в деаераторі з випаром (разом з теплою). Згідно з даними [22] витрати пари в деаераторі можуть сягати 2...3 % від паропроодуктивності котельні. Крім того, теплота втрачається крізь поверхні всіх трубопроводів, арматури та устаткування.

У самому котлі також мають місце втрати теплоти та води. Втрати води мають місце з безперервним продуванням котла. Вони можуть досягати 2...3 % від паропроодуктивності котла залежно від якості підготовки живильної води. При цьому разом з продувною водою втрачається і теплота.

Втрати теплоти мають місце в РОУ та в трубопроводах, а також з дренажами при пусках та зупинках котлів. За даними [22] ККД парової котельні в середньому не перевищує

86 %.

Паропроводи від котельні до об'єктів споживання пари є джерелом втрат теплоти. При цьому втрати в паропроводі більше, ніж в трубопроводах з рідинними теплоносіями через конденсацію пари в трубах при можливому охолодженні їхніх стін нижче за температуру насичення [23].

Нарешті система збирання конденсату після споживачів і повернення його до котельні також є джерелом втрат теплоти. Вони відбуваються через поверхні резервуарів для збирання конденсату і трубопроводів для транспортування останнього та необхідної арматури.

Для порівняння необхідно розглянути аналогічну структурну схему теплопостачання з ВОТ (рис. 2, табл. 1). З першого погляду видно, що в схемі менше елементів. Відповідно, в ній менше втрат як теплоти, так і теплоносія разом з теплою.

Загалом у системі з водяною парою наявні втрати теплоносія:

- технологічні – з випаром у деаераторі;
- у процесі безперервного продування котла.

У котельні з ВОТ теж є технологічна втрата, а саме невеликий відсоток переходу частини евтектичної рідини до газового стану. Але величина цієї втрати незрівняно мала відносно технологічних втрат води в паровій системі – десь 0,1% проти 5%.

Для парової котельні характерні великі витрати теплоти на власні потреби – деаерацію та пом'якшення води, а в котельні з ВОТ такі витрати відсутні. Нарешті втрати теплоти в трубопроводах з ВОТ менші порівняно з паровими системами. Тому ККД котельні з ВОТ досягає 93...94 %.

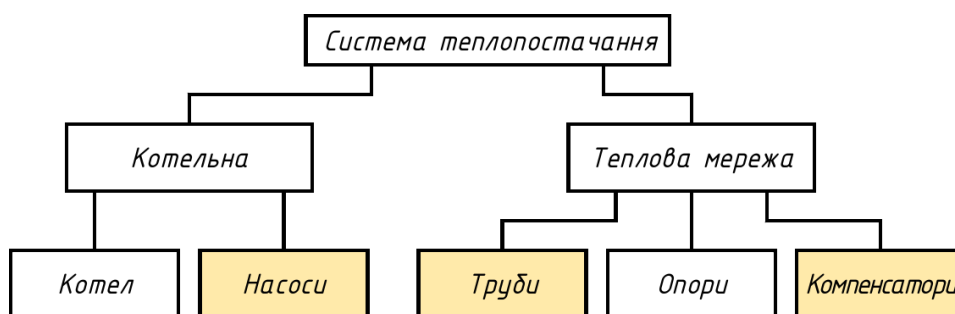


Рис.2. Структурна схема системи теплопостачання з ВОТ:

жовтий колір – джерело втрат теплоти

Таблиця 1.

Вихідні дані для порівняльного аналізу парових систем та систем з ВОТ.

№	Вид обладнання	Обладнання парової котельні	Обладнання котельні з ВОТ
1	Котли	Парові котли	Котли для ВОТ
2	Водо-підготовки	Система хімічного водоочищення в складі: - механічні фільтри-освітлювачі; - двоступеневе пом'якшення; - деаераційно-живильна установка - допоміжні теплообмінники (охолоджувачі випара, ін.)	Відсутня
3	Продування	Обладнання для безперервного та періодичного продування	Відсутнє
4	Насоси теплоносія	Живильні насоси	Колекторний насос Циркуляційні насоси для ВОТ
6	Технологічні посудини	Солерозчинювач; Бак запасу пом'якшення води;	Колекторна ємність; Розширювальна ємність;
7	Колодязі	Продувний колодязь	Відсутні
8	Конденсаційне господарство	Ємність збору конденсату; Конденсатопроводи; Конденсаційний насос; Арматура	Відсутнє

Надійність розглянутих систем дещо різниться. Загальне правило теорії надійності стверджує, що чим більше елементів у технічній системі, тим більше ймовірність відмови одного з них – і відтоді менша надійність системи [24].

Аналіз структурних схем показує, що система з водяною парою менш надійна через більшу кількість складових та складність їхніх зв'язків. Крім того, для парових систем характерні гідравлічні удари, ерозійний знос теплообмінників і, що найважливіше, велика корозійна загроза [25]. Але не дивлячись на явні переваги, системи з ВОТ ще не набули широкого розповсюдження. Цьому є низка причин.

Для початку треба підкреслити, що ця галузь від тридцятих років минулого сторіччя пройшла великий шлях розвитку. Використання ВОТ стримувалося через декілька не-

сприятливих факторів.

Високотемпературні органічні теплоносії – це евтектичні суміші декількох речовин. Ці суміші були недостатньо стабільними. З часом вони розкладалися з вивільненням певних речовин у формі твердих коксових частинок та пари. Термін їхньої експлуатації не перевищував три роки, після чого їх треба було міняти. Також перші евтектики були шкідливими для людини.

ВОТ має великий термічний коефіцієнт розширення. Тому необхідно використовувати спеціальну посудину для прийняття розширеної рідини при робочій температурі.

На сьогодні більшість подібних теплоносіїв цих вад уже не мають. Термін їхньої експлуатації сягає 10 років і більше. Майже всі вони не токсичні, виділення газової фази незначні [18, 26]. Однак попередження щодо можливості коксування при значній різниці температури

стінок теплообмінника та ВОТ залишається, хоча і не таке суворе, як для перших евтектиків.

На сьогодні не всі високотемпературні теплоносії є органічними. Натомість з'явилась велика група синтетичних речовин, а їхня верхня межа застосування досягає 400 °С і вище.

Загальний порівняльний аналіз парових систем теплопостачання та систем теплопостачання з ВОТ показав, що останні є без сумніву більш енергоефективними та надійними в експлуатації. Системи теплопостачання з ВОТ у силу своєї простої структури з малою кількістю елементів можуть бути виконані у вигляді централізованих і децентралізованих систем.

У централізованій системі використовується одна котельня для всіх споживачів теплоти. Вона має розгалужену теплову мережу. У децентралізованій системі біля кожного споживача знаходиться своє джерело теплоти. Протяжність трубопроводів між джерелом теплоти та споживачем мінімальна. Можливі і помірно децентралізований варіант.

Для парових систем децентралізація неприйнятна. Вона передбачає крім теплової мережі ще й мережу водопостачання до кожного джерела теплоти і мережу каналізації, що в стиснених умовах нафтотерміналів надто складно організувати. До того і джерело водопостачання може бути віддалено. Крім того з'являється плата за воду та прийняття каналізаційних стоків.

Через ці фактори парові децентралізовані системи у подальшому не розглядатимуться. Для аналізу залишається два варіанти системи з ВОТ: централізований і децентралізований.

Для конкретного дослідження вибрано нафтотермінал заводу з переробки нафти для розвантаження сирової нафти з залізничних цистерн у резервуари для її зберігання об'ємом 5000 м<sup>3</sup>. Вибраний термінал можна віднести до терміналів малої потужності. При збільшенні потужностей терміналу масштаби розбіжностей характеристик систем теплопостачання будуть збільшуватися.

Це – нафтотермінал нафтопереробного заводу малої потужності з реальним генпланом і розташуванням естакади та резервуарів. Завод використовував легку нафту, яку не було необхідності підігрівати. На даний час він переходить на парафіністу нафту. Її необхідно нагрівати для зливу з цистерн, а при зберіганні тримати при температурі не менше 30 °С.

На естакаді є два блоки для зливу нафти одночасно з трьох цистерн. Час зливу нафти з цистерн згідно з завданням на проектування становить дві години. Об'єм цистерн становить 60 тонн. Початкова температура нафти 0 °С,

температура, необхідна для зливу, становить – 30 °С. Для забезпечення зливу нафти з цистерн на естакаді необхідно надати в блоки зливу 0,46 МВт теплоти за дві години. Температура, за якої нафта буде зберігатись у резервуарі, становить 30 °С.

Приймається, що розрахунковий діапазон температури для запобігання остиганню та парафінізації нафти в резервуарі, становить від мінус 27 до плюс 30 °С.

Розглянуто два варіанти влаштування системи теплопостачання з високотемпературними органічними теплоносіями. Обидві системи передбачають використання високотемпературного теплоносія BAYER Diphyl DT [18] що має робочий діапазон температури 30...300 °С.

Централізований варіант передбачає влаштування однієї котельні з двома контурами теплопостачання до споживачів, а саме

- установки розігріву нафти в цистернах для її зливу на естакадах;
- установка для розігріву нафти в резервуарах до фіксованої температури та подальшому підтриманні її при цій температурі в резервуарі.

Трубопроводи прокладено над землею. Монтажну схему теплопостачання побудовано згідно з ДБН В.2.5-39:2008 «Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі» [27].

Корпус котельні виконано з 4-х морських контейнерів. У кожному з них вирізано одну стіну і частково у двох підлога та стіна. Контейнери з'єднано між собою попарно вирізаними стінками задля утворення загального просторового об'єму.

Отримані об'єми встановлюються один над одним. У результаті отримано дворівневий корпус з двосвітним об'ємом в середині. На першому рівні розташовується два котли для нагрівання ВОТ горизонтально й паралельно один одному. Тут же розміщено газове обладнання пальників. Кожний котел обладнано одним пальником з власним газорегуляторним приладом (газовою рампою). Також тут розміщується силовий електричний щит, суміщений зі щитом автоматики.

На верхньому рівні розміщується насосна група, яка складається з двох блоків циркуляційних насосів – по одному блоку на котел. В кожному блоці два насоси – робочий та резервний з відповідною арматурою та давачами. Таким чином забезпечується автоматичний перехід насосів з одного режиму до іншого для збереження однакового моторесурсу, а також у випадку відмови робочого насоса (АВР).

Також тут розміщено блок балонів з азотом



для забезпечення автоматичного пожежогасіння та створення азотної подушки в розширювальному баку для забезпечення захисту ВОТ в ньому від окиснення при контакті з повітрям.

На другому рівні розміщено систему вентиляції та пристрій для автоматичного перемикачання електричних споживачів з одного джерела на інше.

Зв'язок між рівнями забезпечується наявністю внутрішніх сходів, розміщених у середині котельні (рис. 3).

Природне освітлення здійснюється за рахунок ліхтарів у верхньому перекритті другого рівня. Ці ж ліхтарі слугують легкоскидною конструкцією у випадку вибуху газу в котельні.

Вхід до котельні здійснюється:

- на першому рівні через штатні двері;
- через окремі двері в бічній стінці на другому рівні завдяки спеціальному майданчику на відмітці, яка відповідає висоті перекриття між нижнім та верхнім рівнями.

Вхід на майданчик здійснюється спеціальними зовнішніми сходами. На ньому розміщено розширювальний бак об'ємом 7 м<sup>3</sup>. Бак з'єднується з основною системою трубопроводів та котлами, а також з блоком азотних баків. Він оснащений відповідною арматурою і контрольно-вимірювальними приладами.

Крім цього, розширювальний бак з'єднується з дренажним баком об'ємом 25 м<sup>3</sup>. Останній розміщено в спеціальній підземній камері з окремим трубопроводом для швидкого аварійного зливу ВОТ. Камера має чотири люки, розміщені по краям перекриття.

Перекриття камери знімне, виготовлене з армованого залізобетону. Вхід в цю камеру передбачається через люк завдяки вертикальним металевим драбинам, закріпленим на стінці камери.

Дренажний бак виконує дві функції – через нього виконується:

- заповнення системи;
- аварійний злив ВОТ або злив ВОТ для його заміни.

Бак з'єднано окремими трубопроводами

- з кожним з котлів;
- з піддонами для блоків насосів;
- з розширювальною ємністю;
- з колекторами для подачі ВОТ до контурів теплопостачання;
- газовідокремлювачем для прискорення зливу ВОТ з системи.

Альтернативна концепція передбачає улаштування двох окремих котельень в контейнерному виконанні біля кожного споживача. Таке технологічне рішення, дозволяє вирішити проблеми зайвих капітальних вкладень та експлуа-

таційних витрат.

Згідно з цією концепцією передбачається влаштувати дві котельні (рис. 5, табл. 2) однакової потужності та різного розміру:

- біля естакади для зливу нафти з цистерн;
- біля резервуару з сировою нафтою.

Основні недоліки централізованого варіанту пов'язані зі схемою теплової мережі. Від котельні виходять контури теплопостачання: завдовжки 251 м до естакади та 175 м до резервуару з нафтою. Температура ВОТ достатньо висока. Це примушує використовувати (табл. 2) дорогу теплову ізоляцію і проектувати декілька додаткових компенсаторів температурних подовжень з відповідними додатковими елементами (нерухомими та рухомими опорами).

Велика довжина теплової траси навіть при якісній тепловій ізоляції обумовлює досить вагомі теплові втрати – 62 кВт. Для їхньої компенсації доведеться витратити додаткове паливо котельні. Втрати теплоти розраховані згідно з СНиП 2.04.14-88\* Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [28].

Для централізованого варіанту характерна велика кількість місцевих опорів за рахунок компенсаторів температурних подовжень. Це призводить до великого гідравлічного опору теплових трас. Відповідно, необхідні насоси з великим вихідним тиском і потужними двигунами та великим споживанням електроенергії при їх експлуатації (табл. 3).

Об'єм теплоносія, що заповнює систему, сягає 33 м<sup>3</sup>. Наслідками є

- збільшення об'єму зливного бака;
- зростання розмірів камери для його розташування;
- збільшення об'єму розширювальної ємності;
- зростання розмірів будівельних конструкцій для розміщення останньої;
- зростання об'єму азоту для створення азотної «подушки» в розширювальній ємності, також великого об'єму.

Таким чином, зазначена концепція характеризується великими капітальними та експлуатаційними витратами. Для децентралізованої системи довжина трубопроводів зменшується. При цьому котельні розташовано на відстані 50 м від естакади та 70 м від резервуарного парку.

Відстані при новому проектуванні могли би бути ще зменшені. Проте умови наявного об'єкту зі сталим генпланом не дали змоги зменшити їх ще більше.

Зменшення довжини трубопроводів призвело до зменшення тепловтрат до сумарної величини 15 кВт.

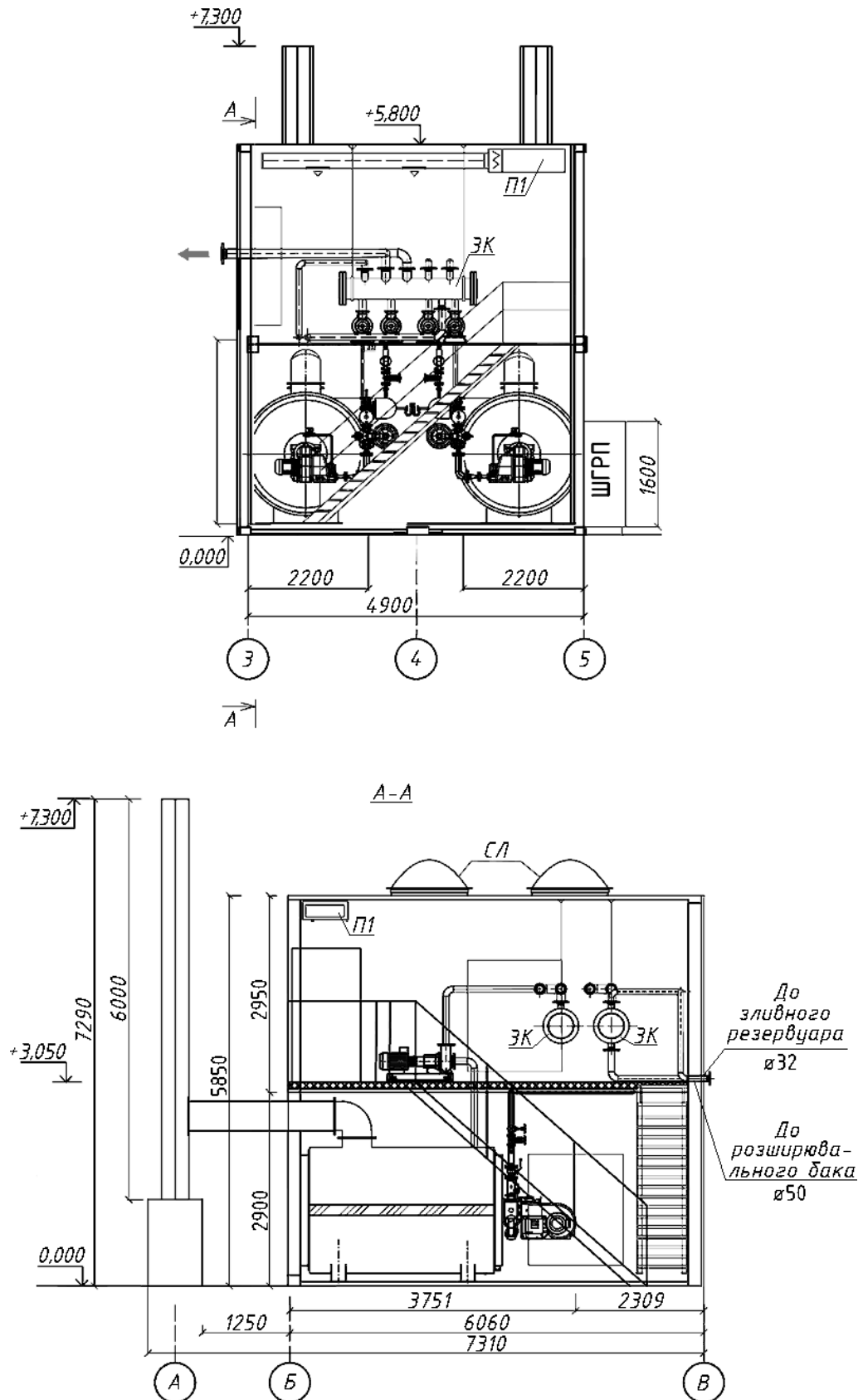


Рис. 3. Котельня для централізованої системи тепlopостачання:  
 П1 – припливна установка;  
 ЗК – збірний колектор;  
 СЛ – світлові ліхтарі

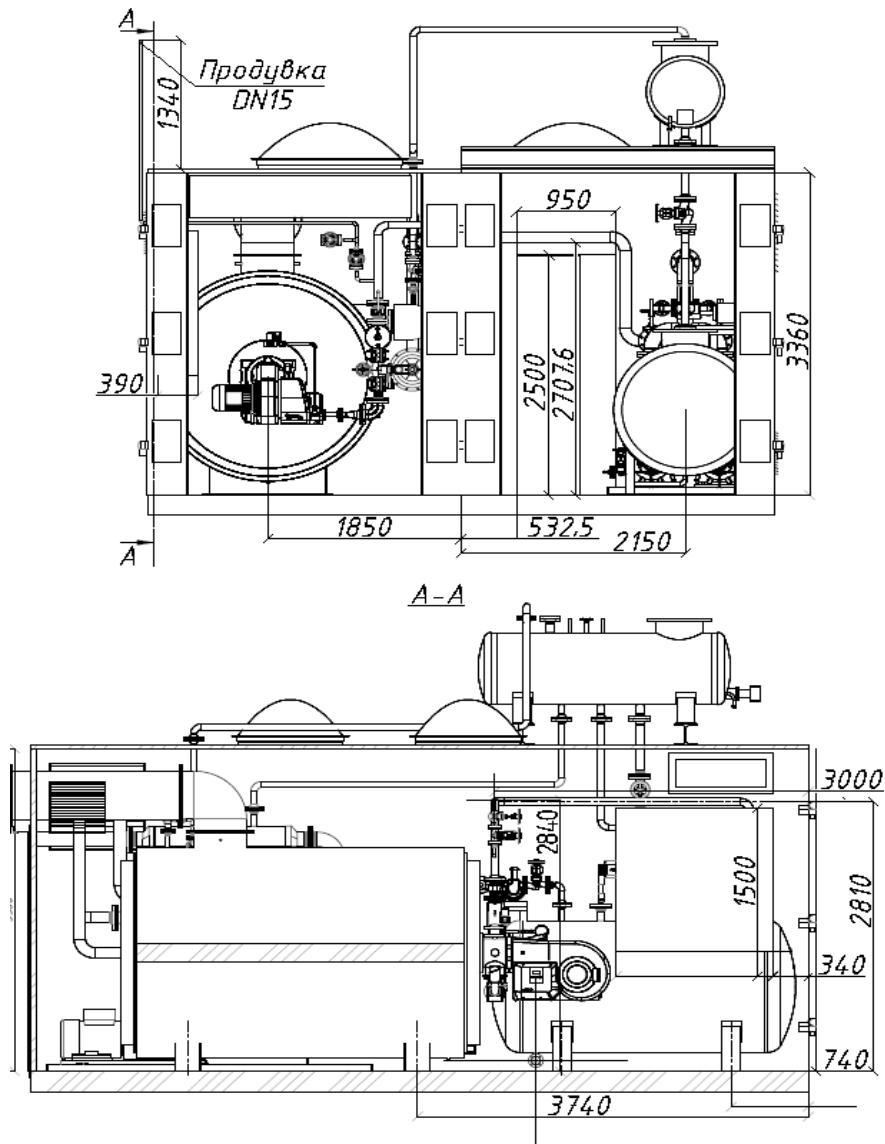


Рис. 4. Котельня для децентралізованої системи тепlopостачання

Таблиця 2.

Порівняльна характеристика систем централізованого та децентралізованого тепlopостачання.

№	Елементи системи	Децентралізована концепція	Централізована концепція
1	Довжина трубопроводів, м:		
	– до естакади $\Sigma l_1$	100	251
	– до резервуару $\Sigma l_2$	70	175
2	Об'єм в системі ВОГ, м <sup>3</sup>	10,75	33
3	Діаметр трубопроводів, мм	159/219	159/219
4	Об'єм розширювального бака, м <sup>3</sup>	3,5	8
5	Об'єм зливного бака, м <sup>3</sup>	14,5	33
6	Товщина ізоляції, мм	90	120
7	Кількість опор	12	34
8	Кількість теплообмінників у споживачів	2 або 1	2

Порівняльна характеристика експлуатаційних витрат систем централізованого та децентралізованого теплопостачання.

Характеристика	Централізована концепція		Децентралізована концепція	
	До естакади	До резервуару	До естакади	До резервуару
Питомі втрати тиску на ділянці, Па/м	10	12	2,66	5,47
Втрати теплоти, Вт	35000	27150	7000	8000
Електроенергія на привід насосів, кВт	57		21	

Загальна кількість опор зменшилася до 12 проти 34 в централізованому варіанті.

Улаштування двох котелень не призводить до збільшення кількості використаних контейнерів для приміщень. Адже для кожної котельні меншої потужності необхідно всього два контейнери, а для однієї центральної котельні – чотири.

Більше того, котли для нагрівання ВОТ можна встановлювати просто неба при використанні контрольно-вимірювальних приладів та автоматики у відповідному виконанні. При цьому котли для економії місця може бути розташовано вертикально з пальником, розміщеним згори.

Єдине, що зростає при децентралізованому варіанті, це довжина газопроводу. Проте газопровід є найдешевшим елементом всієї системи.

Як і слід очікувати (табл. 4), капітальні вкладення для улаштування децентралізованої системи теплопостачання з ВОТ менші ніж для централізованої. Витрати на електроенергію для насосів та питомі витрати газу для котелень для децентралізованого варіанту також менші (табл. 3).

Крім того, для обігріву резервуарів можна використовувати не тільки циркуляційну схему з винесеним теплообмінником, а й схему з улаштуванням трубчастого змійовика, що гріє, в самому резервуарі. Це спрощує схему і дозволяє вилучити зі схеми один насос та кож-

хотрубний теплообмінник, а ВОТ подавати з котла безпосередньо до змійовика. Для централізованого варіанту використання такої схеми проблематично.

Оцінку вартості обладнання виконано в першому наближенні. Не розраховувався кошторис на монтажні роботи. Проте вочевидь вартість монтажних робіт зменшиться зі зменшенням їхнього обсягу.

**Висновки.** На даний час широких досліджень використання високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) у спеціалізованих системах теплопостачання, зокрема теплопостачання нафтопродуктів, не ведеться. Проведений порівняльний техніко-економічний аналіз показав, що системи теплопостачання нафтопродуктів з ВОТ більш енергоефективні та надійні в експлуатації за парові. Використання ВОТ дозволяє істотно скоротити витрати води, яка останнім часом є дефіцитним ресурсом, при експлуатації нафтопродуктів. Системи теплопостачання з ВОТ на відміну від парових можливо виконувати децентралізованими, що дає змогу зменшити капітальні витрати на їхнє спорудження і зробити їх експлуатацію більш економічною. Використання ВОТ як теплоносія дозволяє організувати не тільки теплопостачання але й одночасну генерацію електроенергії для відокремлених від розвинутої інфраструктури об'єктів.

Порівняння вартісних показників концепцій влаштування системи тепlopостачання з ВОТ

Обладнання	Вартість, грн	
	Двох котельнь для де-централізованої системи	Котельні для централізованої
Контейнерна котельня	3885960	4960630
Розширювальний бак	64000 (2 шт.)	82000
Група азотної подушки	12000 (2 шт.)	10000
Зливний бак для ВОТ	20000 (2 шт.)	25000
Група підживлення насоса	68000 (2 шт.)	72555
Сепаратор повітря, парів	4000 (2 шт.)	5000
Блок припливної вентиляції	40000 (2 шт.)	50000
Газове оснащення котельні	28000 (2 шт.)	37000
Зовнішні мережі		
- трубопроводи для ВОТ - 140м/426 м	140000	440000
- газопроводи - 340 м/100м	65000	20000
<b>Всього</b>	<b>4 326 960</b>	<b>5 702 185 грн</b>

#### Література

1. Белосельский Б.С. Топочные мазуты / Б.С. Белосельский. – Москва: Энергия, 1978, – 256 с.
2. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа / Г.В. Коннова, – Ростов-на-Дону, Феникс, 2006., – 128 с., – ISBN: 5-222-07871-X.
3. Верховский Н.И. Сжигание высокосернистого мазута на электростанциях / Н.И. Верховский, Г.К. Красноселов, Е.В. Машиллов. – Москва: Энергия, 1970, – 448 с.
4. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий / В.В. Цветков, – Москва: Энергия, 1980., – 206 с.
5. Бабинов Ю.М. Органические и кремнийорганические теплоносители / Ю.М. Бабинов, Д.С. Рассказов. – Москва: Энергия, 1975, – 272 с.
6. Резников М.И. Паровые котлы тепловых электростанций / М.И. Резников, Ю.М. Липов, – Москва: Энергия, 1987, – 288с.
7. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов / В.А. Адамов. – Ленинград: Недра, 1989, – 304 с, – ISBN 5-247-00883-9.
8. Мутугуллина И.А. Применение подогревателей при использовании мазута / И.А. Мутугуллина // Символ науки. – 2017. – № 03-2. – с. 92-95.
10. Мухаметьянова А.А. Экологическая оптимизация систем подогрева на нефтебазах / А.А. Мухаметьянова // Символ науки. – 2017. – № 03-2. – с. 95-97.
11. Фаизов А. И. Проектирование и расчет блочного подогревателя нефти с термомасленным котельным агрегатом / А. И. Фаизов, Р. А. Садыков // Известия КГАСУ. – 2018. – № 1 (43). – с. 179-186.
12. Хорошев В.Г. Применение органических теплоносителей в энергетических системах судов и морских сооружений / В.Г. Хорошев, Н.П. Погодин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Т. 1. – № 391. – С.165-174.
13. Костильов И.И. Особенности применения термомасел в судових системах обогрева / И.И. Костильов, В.А.Петухов // Морской и речной транспорт. – 2011. – № 1(63). – С. 64-67.
14. Slaughter A.P. Marine application of termal fluid heating / A.P. Slaughter // Institute of Marine Engineers Transactions. – Series A. – Part 3. – 1978. – Vol.90. – p.117-136.
15. Четкин А. В. Высокотемпературные теплоносители / А. В. Четкин. – Москва, Энергия, 1971. – 495 с.
16. Долинин Н.П. Установки для нагрева химической аппаратуры высокотемпературными органическими теплоносителями / Долинин Н.П. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 297 с.
17. Гришутин М.М Паротурбинные установки с органическими рабочими телами / М.М. Гришутин, А.П. Севастьянов, Л.И. Селезнев, Е.Д.Федорович. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 219 с.
18. Wagner W. Heat transfer technique with organic media / W. Wagner. – Begell House, 1997. – 672 с.
19. Возовик В.І. Розвиток енергозабезпечення об'єктів морської інфраструктури: використання альтернативних джерел енергії та впровадження енергоощадних технологій у морських портах / В.І. Возовик,

- I.O. Ратушняк // Морська інфраструктура України : проблеми та перспективи розвитку. – Матеріали I Всеукраїнської науково.-технічної конференції. – Миколаїв, 2015. – НУК ім. адмірала Макарова. – С.77-80.
20. Гламаздин П.М. Особливості організації теплопостачання портів / П.М. Гламаздин, Д.П. Гламаздин, R. Schwarzenberger // Морська інфраструктура України : проблеми та перспективи розвитку. – Матеріали I Всеукраїнської науково.-технічної конференції. – Миколаїв, 2015. – НУК ім. адмірала Макарова. – С. 104-105.
21. Голибардов Е.И. Техника ФСА / Е.И. Голибардов, А.В. Кудрявцев. – Киев: Техника, 1989 – 239 с.
22. Либерман Н.Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного тепло-снабжения / Н.Б. Либерман, М.Т. Нянковская. – Москва: Энергия, 1979. – 224 с.
23. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий- М.: Энергия, 1980. - 206 с.
24. Хевиленд Р. Инженерная надежность расчет на долговечность / Р. Хевиленд. – Москва: Энергия, 1966. – 230 с.
25. Балабан-Ирменин Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Ю.В. Балабан-Ирменин, В.М. Липовских. – Москва: Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.
26. Зиновьев О. И. Высокотемпературные органические теплоносители. Общие сведения / О. И. Зиновьев, В.М. Юрьев // БийскОргСинтез: URL: <http://www.biysk.ru/~polyester/tlv330.htm>
27. ДБН В.2.5-39:2008 Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Чинні від 07.01.2009]. – Київ: Мінрегіонбуд, 2009. – 56 с.
28. СНиП 2.04.14-88\* Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів [Чинні від 01.01.1990]. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 31 с.

### References

1. Beloselskii B.S. *Topochnye mazuty*. Energiia, 1978.
2. Konnova G.V. *Oborudovanie transporta i khraneniia nefiti i gaza*. Feniks, 2006.
3. Verkhovskii N.I., Krasnoselov G.K., Mashilov E.V. *Szhiganie vysokosernistogo mazuta na elektrostantsiakh*. Energiia, 1970.
4. Tsvetkov V.V. *Organizatsiia parosnabzheniia promyshlennykh predpriyatii*. Energiia, 1980.
5. Babikov Yu.M., Rasskazov D.S. *Organicheskie i kremniorganicheskie teplonositeli*. Energiia, 1975.
6. Reznikov M.I., Lipov Yu.M. *Parovye kotly teplovykh elektrostantsii*. Energiia, 1987.
7. Adamov V.A. *Szhiganie mazuta v topkakh kotlov*. Nedra, 1989.
8. Mutugullina I.A. “Primenenie podogrevatelej pri ispolzovanii mazuta”. *Simvol nauki*. 2017. No 03-2. P. 92-95.
10. Mukhametianova A.A. “Ekologicheskaiia optimizatsiia sistem podogreva na neftebazakh”. *Simvol nauki*. 2017. No 03-2. P. 95-97.
11. Faizov A. I., Sadikov R. A. “Proektirovanie i raschet blochnogo podogrevatelya nefiti s termomaslennym kotelnym agregatom”. *Izvestiia KGASU*. 2018. № 1 (43).P. 179-186.
12. Khoroshev V.G., Pogodin N.P. “Primenenie organicheskikh teplonositelei v energeticheskikh sistemakh sudov i morskikh sooruzhenii”. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. 2020. T. 1. № 391. P.165-174.
13. Kostil'ov I.I., Petukhov V.A. “Osobnosti primeneniia termomasel v sudovikh sistemakh obogreva”. *Morskoj i rechnoj transport*. 2011. № 1(63). P. 64-67.
14. Slaughter A.P. “Marine application of termal fluid heating”. *Institute of Marine Engineers Transactions*. Series A. Part 3. 1978. Vol.90. p.117-136.
15. Chechetkin A. V. *Vysokotemperaturnye teplonositeli*. Energiia, 1971.
16. Dolinin N.P. *Ustanovki dlia nagreva khimicheskoi apparatury vysokotemperaturnymi organicheskimi teplonositeliyami*. Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitelnoi literatury, 1963.
17. Grishutin M.M., Sevastianov A.P., Seleznev L.I., Fedorovich E.D. *Paroturbinnnye ustanovki s organicheskimi rabochimi telami*. Mashinostroenie, 1988.
18. Wagner W. *Heat transfer technique with organic media*. Begell House, 1997.
19. Vozovik V.G., Ratushniak G.O. “Rozvytok enerhozabezpecheniya obektiv morskoi infrastruktury: vykorystannia alternatyvnykh dzherel energii ta vprovadzhennia enerhooshchadnykh tekhnologii u morskyykh portakh.” *Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy I Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Mikolaiv, 2015. NUK im. admirala Makarova. P.77-80.
20. Glamazdin P.M., Glamazdin D.P., Schwarzenberger R. “Osoblyvosti organizatsii teplopostachannia portiv. Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku.” *Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy I Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Mikolaiv, 2015. NUK im. admirala Makarova. P.. 104-105.
21. Golibardov E.I., Kudriavtsev A.V. *Tekhnika FSA*. Tekhnika, 1989.
22. Liberman N.B., Niankovskaia M.T. *Spravochnik po proektirovaniu kotelnykh ustanovok sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniia*. Energiia, 1979.
23. Tsvetkov V.V. *Organizatsiia parosnabzheniia promyshlennykh predpriyatii*. Energiia, 1980.
24. Khevilend R. *Inzhenernaia nadezhnost raschet na dolgovechnost*. Energiia, 1966.
25. Balaban-Irmenin Yu. V., Lipovskikh V.M. *Zashchita ot vnutrennei korrozii truboprovodov vodianykh teplovykh setei*. Energoatomizdat, 1999.
26. Zinovev O. I., Yurev V. M. *Vysokotemperaturnye organicheskie teplonositeli. Obshchie svedeniia*. BijskOrgSintez: URL: <http://www.biysk.ru/~polyester/tlv330.htm>
27. *Zovnishni merezhi ta sporudy. Teplovi merezhi*. DBN V.2.5-39:2008. Minrehionbud, 2009.
28. *Teplova izolyacziia obladnannia i truboprovodiv*. SNiP 2.04.14-88\* CzITP Gosstroya SSSR, 1989.

УДК 62-6

## Энергоэффективная оптимизация системы теплоснабжения нефтетерминала

П. М. Гламаздин<sup>1</sup>, Э. Сирохина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина., [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> студентка, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина., [s.evel4063@ukr.net](mailto:s.evel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Аннотация. В условиях необходимости развития транспортной инфраструктуры Украины и диверсификации источников поставки в страну энергоносителей, среди которых нефти и нефтепродуктов, возникает проблема развития нефтетерминалов. Данная работа посвящена оптимизации структуры теплоснабжения нефтетерминалов и в этом смысле является актуальной. В результате проведённых исследований показана возможность использования высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ) для теплоснабжения нефтетерминалов. Выявлены преимущества в эффективности, экологичности и надёжности систем с ВОТ против систем с использованием водяного пара как теплоносителя. Показано, что в отличие от паровых систем теплоснабжения нефтетерминалов системы с ВОТ возможно устраивать не только централизованными но и децентрализованными. Это даёт дополнительные экономические преимущества: уменьшает длину внутримплощадочных тепловых сетей в нефтетерминале, а благодаря этому уменьшаются теплопотери в них и повышается надёжность системы. Проведено стоимостную оценку капитальных вложений сравниваемых вариантов устройства системы теплоснабжения. Показано преимущество децентрализованной системы. Получено более низкую стоимость эксплуатации также для децентрализованной системы за счёт уменьшения удельного расхода топлива и электроэнергии. Полученные в результате исследования материалы можно использовать как рекомендации к проектированию систем теплоснабжения нефтетерминалов с использованием ВОТ.*

*Ключевые слова: тяжёлые нефтепродукты, нефтетерминал, теплоснабжения, высокотемпературные органические теплоносители, ВОТ.*

UDC 62-6

## Energy efficient optimization of heat supply system for oil terminal

P. M. Glamazdin<sup>1</sup>, E. Sirokhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> student, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [s.evel4063@ukr.net](mailto:s.evel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Abstract. In the context of the need to develop the transport infrastructure of Ukraine and to diversify sources of energy carriers supply to the country, including oil and oil products, the problem of the development of oil terminals arises. This work is devoted to the optimization of the structure of heat supply to oil terminals. In this sense it is relevant. The object of research is the heat supply systems of an oil terminal. At the same time, the subject of research is the energy efficiency of heat supply systems for oil terminals using water vapor and high-temperature organic heat carriers. The following research methods were used: an analytical review of information sources, a technical and economic analysis with the necessary substantiating calculations. As a result of the studies, the possibility of using high-temperature organic heat carriers for organizing heat supply to oil terminals has been shown. The advantage in the efficiency, environmental friendliness and reliability of systems with high-temperature organic heat carriers versus systems using water vapor as a heat carrier is shown. On-site heating networks in the oil terminal are recommended. The main advantages are that the heat losses in them have been reduced and the reliability of the system has increased. The cost estimation of capital investments of the compared variants of the heat supply system arrangement is carried out. The centralized heat supply systems have greater equipment cost compared with the decentralized ones. The operating cost for decentralized systems is also lower due to a decrease in specific fuel and electricity consumption. The materials obtained as a result of the research can be used as recommendations for the design of heat supply systems for oil terminals using high-temperature organic heat carriers.*

*Key words: heavy oil products, oil terminal, heat supply, high-temperature organic heat carriers (IOP).*

Надійшла до редакції / Received 11.03.2021

УДК 699.874:613.5:614.48:58.072

## Оздоровлення повітряного середовища закритих приміщень за допомогою фітодизайну фітонцидними рослинами

Т. М. Ткаченко<sup>1</sup>, І. О. Прокопенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д.т.н., проф. Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [tkachenkoknuba@gmail.com](mailto:tkachenkoknuba@gmail.com), ORCID: 0000-0003-2105-5951

<sup>2</sup> студ. Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [vanya.prokopenko.2001@gmail.com](mailto:vanya.prokopenko.2001@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5341-2728

*Анотація. Основна проблема закритих приміщень – забруднення повітряного середовища хімічними сполуками, пилом, антропоксинами та хвороботворними мікроорганізмами. Вирішення цієї проблеми за допомогою технічних та інженерних технологій не завжди ефективно, оскільки потребує багато часу та суттєвих капіталовкладень. Пропонується технологія фітодизайну фітонцидними рослинами. Мета роботи – оптимізація повітряного середовища приміщення на прикладі зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури за допомогою фітодизайну фітонцидними рослинами. Завдання роботи: обстежити асортимент рослин зимового саду; оцінити, чи є достатньою кількість рослин для санації повітряного середовища приміщення площею 930 м<sup>2</sup>; проаналізувати недоліки асортименту фітонцидних рослин; розробити пропозиції щодо фітодизайну зимового саду для якісного покращення повітряного середовища. Встановлено, що наявна кількість фітонцидних рослин (18 штук) для ефективної санації дослідного приміщення є недостатньою. Для ефективного санування повітря площі дослідного приміщення необхідно 310 екземплярів великомірних фітонцидних рослин. Для розширення асортименту пропонуються наступні фітонцидні види: *Aglaonema*, *Anthurium*, *Aspidistra elatior*, *Begonia*, *Chlorophytum*, *Dracena marginata*, *Ficus benjamina* Wiandi, *Hedera*, *Kalanchoe*, *Nolina*, *Philodendron*, *Spatifillum*, *Scindapsus*, *Sansevieria*, *Tradescantia*, *Zamioculcas zamiifolia*, рослини сімейств *Euphorbiaceae*, *Orchidaceae*, *Bromeliaceae*. Зелені фітонцидні зони можливо розширювати також за допомогою введення «зелених конструкцій».*

*Ключові слова: фітонциди, фітодизайн, хвороботворні мікроорганізми, санація повітря.*

**Вступ.** В епоху науково-технічного прогресу більшу частину часу сучасна людина проводить в закритому приміщенні: вдома, в офісі, спортклубі, кафе, торгово-розважальному центрі, кінотеатрі, театрі тощо. На жаль, кліматичні параметри інтер'єрів ще далекі від досконалості. На якість повітря впливають неякісні будівельні та оздоблювальні матеріали, використання хімічних речовин і виробів, побутової хімії, неправильно спроектовані й/або експлуатовані системи вентиляції та кондиціонування повітря, опалювальні прилади та повітроохолоджувачі, нестача або надлишок сонячного освітлення, кухонні газові плити і колонки, антропоксини, повітря, що надходить ззовні в екологічно несприятливих районах тощо.

Пандемія Covid-19 підтвердила, що проблема закритих приміщень полягає у високому бактеріальному осіменінні повітря та збереженні в ньому певної концентрації вірусів при тривалому перебуванні людей, що сприяє поширенню різного роду інфекцій. Технічні та дезінфекційні засоби не завжди можна швидко й ефективно використовувати для вирішення проблеми. Для їхнього впровадження потрібен час і значні капіталовкладення.

Для швидкого, ефективного та маловитратного вирішення проблеми пропонується використання природних фільтрів – фітодизайн

фітонцидних рослин. Летючі виділення (фітонциди) рослин мають бактерицидну, бактериостатичну, фунгіцидну дію відносно патогенної та умовно-патогенної для людини мікрофлори. Багато видів рослин поглинають з повітря приміщень токсичні для людини газоподібні сполуки. Таким чином повітряне середовище очищується.

**Актуальність дослідження.** Технологія фітодизайну фітонцидними рослинами може бути використана в будь-яких типах громадських і виробничих приміщень – в офісах, службових, громадських і виробничих приміщеннях, де є оргтехніка, присутні джерела техногенного забруднення повітряного середовища, в приміщеннях з постійним або змінним контингентом людей (відвідувачів). Запропонована технологія є доступною, порівняно недорогою та дозволяє досить швидко покращити якість повітря.

Крім санітарно-гігієнічного аспекту, рослини оптимізують вологість повітря, виділяють кисень і поглинають вуглекислий газ, сприяють осадженню пилу, позитивно впливають на психоемоційний стан людини.

**Останні дослідження та публікації.** Термін фітонциди (від грец. *Φυτόν* — рослина та лат. *Caedo* — вбиваю) у тридцятих роках ХХ століття запропонував Б. П. Токін [1]. Розквіт в області вивчення фітонцидів припав на 1950-1980 рр. Було проведено дослідження анти-



бактеріального, антивірусного, імунотропного та інших терапевтичних ефектів речовин з різних класів сполук (алкалоїдів, глікозидів, флавоноїдів, дубильних речовин), виділених з рослин, і зокрема – ефірних масел. Тоді й відбулася підміна понять – під фітонцидами стали розуміти саме ефірні масла. Так, наприклад, у книгах «Фітонциди в ергономіці» [2], «Фітоергономіка» [3], «Фітонциди в медицині» [4], всі дослідження проведені тільки на ефірних маслах. Термін фітонциди так і не був прийнятий у світовій науковій літературі, але мав активне ходіння на території СРСР [5].

Летючі фітонциди здатні проникати через легені та шкіру в організм людини. Вони загальмовують розвиток хвороботворних мікроорганізмів, оберігають від інфекційних захворювань. Фітонциди нормалізують серцевий ритм і артеріальний тиск, беруть участь в обміні речовин, знижують рівень цукру в крові, сприятливо впливають на процес кровообігу в мозку, стан печінки, бактерицидну активність шкіри, а також на імунну та нервову систему.

При вдиханні летючих фітонцидів хвойних дерев підвищується стійкість еритроцитів до нестачі кисню, майже у два рази збільшується термін їхнього життя, відбувається позитивний вплив на функцію всієї кровоносної системи. Не випадково люди, що живуть у лісових районах, набагато менше схильні до захворювань верхніх дихальних шляхів порівняно з мешканцями міст.

Летючі фітонциди впливають на фізико-хімічний склад повітря. Вони сприяють підвищенню у повітрі концентрації негативних іонів і знижують кількість позитивних. Фітонциди іонізують кисень повітря, стимулюючи тим самим його біологічну активність. Крім того, вони покращують ефективність і економічність енергетики клітини, сприяють осіданню пилових частинок.

Фітонциди листяних і хвойних рослин відрізняються різним спектром дії на хвороботворні організми [5,6]. Хвороботворним мікробам важче адаптуватися до дії фітонцидів вищих рослин, ніж до антибіотиків, отриманих з нижчих рослин – мікроскопічних грибів. Це важливий факт, який свідчить про перспективність використання фітонцидних препаратів для профілактики і лікування захворювань [7].

Уперше поняття фітодизайну та теоретичне обґрунтування його прикладних задач було дано А. М. Гродзинським у 1981 р. як «використання рослин для поліпшення довкілля у штучних системах» [2]. За всю історію вивчення «нового класу речовин – фітонцидів» навіть

на початку ХХІ століття вони як новий клас органічних сполук в чистому вигляді так і не були виділені з рослин. Також не ідентифіковано їхні можливі активні компоненти та не встановлено їхню структуру [7].

У 2008 році вийшла робота [7] К. Г. Ткаченка й Н. В. Казаринової. Запропоновано заміну використання застарілого, на думку авторів [7], терміна «фітонциди», на відповідний до сьогодення – «летючі фітоорганічні речовини (ЛФОР)».

За Л. З. Гейхманом ЛФОР – це «летючі виділення рослин», які в умовах природного зростання або в умовах закритих просторів виділяють у навколишню атмосферу речовини, які надають виражений санаційний ефект на умовно-патогенну і патогенну мікрофлору» [7]. На відміну від наведених авторів, у даній роботі використання відомого терміну «фітонциди» збережено.

Створення фіторекреацій з використанням підбраного асортименту видів рослин для профілактики і лікування інфекційних захворювань виділено в особливий напрямок – медичний фітодизайн [8-12].

Фітонциди живих тропічних і субтропічних рослин, запропонованих для утримання в приміщеннях, забезпечують:

- очищення повітря від хвороботворної (патогенної і умовно-патогенної) мікрофлори;
- очищення повітря від виробничих і побутових газів і пилу;
- створення чистого, комфортного і зволоженого повітря приміщень;
- звукопоглинання;
- збагачення повітря біогенними речовинами, які сприятливо діють на загальний стан організму людини;
- естетично приємну і комфортну обстановку, що знімає стресовий стан.

Для досягнення значного терапевтичного (санаційного) ефекту, в приміщеннях можливо сумісне використання живих рослин і дозоване розпорощення ефірних олій, так само певного набору видів, що володіють вираженим руйнівним ефектом до різних мікроорганізмів (бактерій, грибів, вірусів).

**Формулювання цілей статті.** Мета роботи – оптимізація повітряного середовища приміщення на прикладі зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури (далі КНУБА) за допомогою фітодизайну фітонцидних рослин.

Завдання роботи:

1. Обстежити асортимент рослин зимового саду КНУБА за морфологічними

параметрами: вид рослин, кількість екземплярів, висота, декоративність, враженість шкідниками.

2. Оцінити чи є достатньою кількість рослин для санації повітряного середовища наявної площі дослідного приміщення.
3. Проаналізувати недоліки асортименту фітонцидних рослин.
4. Розробити пропозиції щодо фітодизайну зимового саду для якісного покращення повітряного середовища.

**Основна частина.** Було обстежено асортимент і морфологічний стан рослин зимового саду КНУБА (табл.). Декоративність рослин визначено за п'ятибальною шкалою [13]. Встановлено, що на території зимового саду розташовано 20 рослин з семи сімейств. Всі вони великомірні, заввишки 1,5...3 м. Вони мають достатню надземну листяну масу, що необхідно для виділення фітонцидів, продукування кисню та поглинання пилу й хімічних речовин з повітря.

З іншого боку, догляд за рослинами має недоліки. А це знижує їхні декоративні якості. Більшість рослин потребує заміни ґрунту та контейнера. Так, ґрунт *Dracaena fragrans* сильно перезволожено (рис. 1). Це негативно впливає на стан листової пластинки.

Більшість рослин потребує обов'язкового формування крони (рис. 2) та додаткового зволоження габітусу (надземної частини крони) – обприскування. Деякі рослини (*Areca lutescens*, *Phoenix dactylifera*, *Schefflera actinophylla*) вражено шкідниками. Вони потребують оброблення і пересадження (рис. 3).

Раніше нами було запропоновано асортимент фітонцидних рослин [14, 15]. Згідно з результатами цих досліджень всі рослини асортименту зимового саду КНУБА володіють фітонцидними властивостями. Нами встановлено, що для ефективного очищення повітря приміщення площею 18 м<sup>2</sup> необхідно 5...7 рослин заввишки від 0,6 до 1,0...1,5 м. Оптимальний радіус дії фітонцидів рослин становить близько 1,5...2 м. Далі ефект їхньої дії знижується [16].

Параметри зимового саду: довжина 62 м, ширина 15 м. Площа приміщення 930 м<sup>2</sup>. Для наведеної площі кількість рослин для ефективного санування повітря приміщення повинна бути 310 екземплярів. Тому асортимент фітонцидних рослин дослідженого приміщення потрібно суттєво розширити.

Для цього пропонуємо:

1. Зробити функціональне зонування всієї площі зимового саду з чітким визначенням зон скупчення людей, серед яких:
  - a. кафетерій;

b. рекреаційні зони відпочинку (може бути декілька зон);

c. зони проведення заходів;

d. зони для роботи з Wi-Fi (може бути декілька зон);

2. Біля кожної зони необхідно розміщати композиції з фітонцидних великомірних рослин;
3. Для зручного та швидкого переміщення великомірних рослин пропонуємо використовувати пересувні підставки на колесах;
4. Зелені фітонцидні зони можливо розширювати також за допомогою введення «зелених» конструкцій – зелених вертикальних стін (рис. 4). Для цього пропонуємо використовувати стійку фітонцидну ампельну рослину *Scindapsus*;
5. Для розширення асортименту фітонцидних рослин пропонуємо наступні види: *Aglaonema*, *Anthurium*, *Aspidistra elatior*, *Begonia*, *Chlorophytum*, *Dracena marginata*, *Ficus benjamina*, *Wandi*, *Hedera*, *Kalanchoe*, *Nolina*, *Philodendron*, *Spatifillum*, *Scindapsus*, *Sansevieria*, *Tradescantia*, *Zamioculcas zamiifolia*, рослини сімейств *Euphorbiaceae*, *Orchidaceae*, *Bromeliaceae*;
6. Приміщення зимового саду КНУБА в подальшому можливо використовувати як науково-дослідну лабораторію для проведення дослідів та практичних занять.

**Висновки.** Таким чином встановлено, що на даний час кількість фітонцидних рослин для ефективного санації приміщення зимового саду КНУБА площею 930 м<sup>2</sup> є недостатньою. Їх декоративність знижена через неправильний догляд. Це є однією з причин зниження темпів росту та вегетативної надземної маси, що негативно впливає на продукування фітонцидів. Для ефективного санування повітря площі дослідного приміщення необхідно 310 екземплярів крупномірних фітонцидних рослин. Для розширення асортименту фітонцидних рослин пропонуємо наступні види: *Aglaonema*, *Anthurium*, *Aspidistra elatior*, *Begonia*, *Chlorophytum*, *Dracena marginata*, *Ficus benjamina*, *Wandi*, *Hedera*, *Kalanchoe*, *Nolina*, *Philodendron*, *Spatifillum*, *Scindapsus*, *Sansevieria*, *Tradescantia*, *Zamioculcas zamiifolia*, рослини сімейств *Euphorbiaceae*, *Orchidaceae*, *Bromeliaceae*. Пропонується зробити функціональне зонування всієї площі зимового саду з чітким визначенням зон скупчення людей. Біля кожної зони необхідно розміщати композиції з фітонцидних крупномірних рослин. Для зручного та швидкого переміщення крупномірних рослин пропонуємо використовувати пересувні підставки на колесах.

Асортимент рослин зимового саду КНУБА за морфологічними параметрами

Вид рослин	Кількість екземплярів, шт.	Висота, мм	Декоративність, бал	Враженість шкідниками
Сімейство <i>Agavaceae</i> L.				
<i>Yucca elephantipes</i> L.	4	150-300	3	-
Сімейство <i>Araliaceae</i> Juss				
<i>Schefflera actinophylla</i> L.	2	150	3	+
Сімейство <i>Araceae</i> Juss				
<i>Monstera deliciosa</i> Liebm.	2	120-150	4	-
<i>Diffenbachia seguine</i> Schott	1	150	4	-
Сімейство <i>Arecaceae</i> Juss				
<i>Areca lutescens</i> hort.	1	150	4	+
<i>Phoenix dactylifera</i>	1	150	3	+
Сімейство <i>Dracenaceae</i> L.				
<i>Dracena compacta</i> L.	1	120	5	-
<i>Dracena fragrans</i> L.	1	200	3	-
Сімейство <i>Maivaceae</i> Juss				
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	1	150	4	-
Сімейство <i>Moraceae</i> Link				
<i>Ficus benamina</i> L.	3	200	5	-
<i>Ficus elastic</i> L.	2	150-200	3	-



Рис. 1. Перезволоження ґрунту *Dracaena fragrans*, яке негативно впливає на декоративні якості рослини

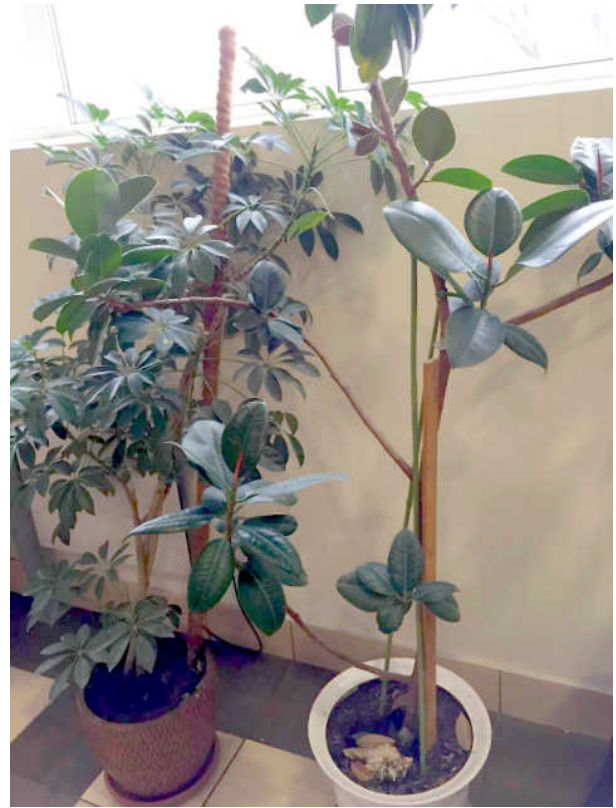


Рис. 2. Неправильно сформована крона у *Schefflera actinophylla* та *Ficus elastic*



Рис. 3. Враження павутинним кліщем листової пластинки *Areca lutescens*, що спричиняє її пожовтінню: стрілками показано скупчення паразитів



Рис. 4. Реалізований проект вертикальної зеленої стіни із *Scindapsus* (м. Київ, Повітрофлотський проспект, кафе)

Зелені фітонцидні зони можливо розширювати також за допомогою введення «зелених» конструкцій – зелених вертикальних стін; приміщення зимового саду КНУБА в подальшому можливо використовувати як науково-дослідну лабораторію для проведення дослідів та практичних занять.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальшому планується практичне впровадження результатів досліджень щодо реконструкції та фітодизайну зимового саду КНУБА. Після чого будуть проведені мікробіологічні дослідження повітряного середовища дослідного приміщення.

### Література

1. Токин Б.П. Целебные яды растений. Повесть о фитонцидах. Изд. 3-е, испр. и доп. / Б.П. Токин. – Изд-во Ленингр. университета, 1980. – 280 с.
2. Гродзинский А.М. Фитонциды в эргономике / А.М. Гродзинский. – Киев: Наук, думка, 1986. – 188 с.
3. Гродзинский А.М. Фитоэргоника / А.М. Гродзинский. – Киев: Наук, думка, 1989. – 296 с.
4. Макаруч Н.М. Фитонциды в медицине / Н.М. Макаруч, Я.С. Лещинская – Киев: Наук. Думка, 1990. – 216 с.
5. Куликова М. Растительные антибиотики – фитонциды. Электрон. данные интернет-журнала Живой лес; URL: <https://givooyles.ru/articles/lyudi-i-derevya/rastitelnye-antibiotiki-fitoncidy> (дата обращения: 23.03.2021).
6. Широкова Н.П. Влияние фитонцидов растений на численность микроорганизмов воздуха помещений / Н.П. Широкова, Н.С. Серова // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 3. – С. 91-91. URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=9952> (дата обращения: 23.03.2021).
7. Ткаченко К. Г. Медицинский фитодизайн. Использование растений для санации помещений и профилактики инфекционных заболеваний / К.Г. Ткаченко, Н.В. Казаринова // Научные ведомости. – 2008. – № 6(46). – С. 80-85.
8. Гетко Н. Фитонцидная активность оранжерейных растений / Н. Гетко, Т. Ладыженко, А. Шутова // Наука и инновации. – 2014. – № 5 (135). – С.18-20.
9. Цибуля Н.В. Использование тропических растений для санации воздуха в экологически неблагоприятных условиях помещения / Н.В. Цибуля, Т.Д. Фершалова, Л.П. Давидович // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – т. 19. – № 2 (2). – С.360-364.
10. Цибуля Н.В. Использование средоулучшающих свойств растений для оптимизации среды в детских учреждениях / Н.В. Цибуля. URL: [http://science-bsea.narod.ru/2004/les\\_2004/cybulja\\_ispolzovanie.htm](http://science-bsea.narod.ru/2004/les_2004/cybulja_ispolzovanie.htm) (дата доступа: 23.03.2021).
11. «Медицинский фитодизайн» – новое направление в использовании комнатных растений. URL: <https://infourok.ru/lekciya-ispolzovanie-komnatnih-rasteniy-v-medicinskom-fitodizayne-3147108.html>
12. Цибуля Н.В. Фитонцидные растения в интерьере (оздоровление воздуха с помощью растений) / Н.В. Цибуля, Т.Д. Фершалова. – Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 2000. – 112 с.
13. Горницкая И.П. Интродукция тропических и субтропических растений, её теоретические и практические аспекты / И.П. Горницкая. – Донецк: «Донеччина», 1995. – 304 с.
14. Tkachenko T. Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior / T. Tkachenko, V. Mileikovskiy // E3S Web of Conferences 211, 02015 (2020). The 1st JESSD Symposium: International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science and Sustainable Development 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>
15. Прокопенко І. Технологія оздоровлення повітряного середовища закритих приміщень / І. Прокопенко, Т. Ткаченко // Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року. – Київ: ІГТА, 2021. – С. 47-49.
16. Горницкая И.П. Действие фитонцидов тропических и субтропических растений на микрофлору палат хирургического отделения (эколого-гигиенический аспект) / Горницкая И.П., Варенко Ю.С., Ткаченко Т.Н. // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 1999. – Т.3. – № 1. – С.121-125.

### References

1. Tokin B.P. *Tselebnyye yady rastenyi. Povest o fitoncidach*. Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, 1980.
2. Grodzinskiy A.M. *fitoncidy v ergonomike*. Naukova dumka, 1986.
3. Grodzinskiy A.M. *Fitoergonomika*. Naukova dumka, 1989.
4. Makarchuk N.M., Lechinskay Y.S. *Fitoncidy v medizine*. Naukova dumka, 1990.
5. Kulikova M. “Rastitelnye antibiotiki – fitoncidy”: *Elektronnoe periodicheskoe izdanie Zhivoyi les*, URL: <https://givooyles.ru/articles/lyudi-i-derevya/rastitelnye-antibiotiki-fitoncidy>

- [givoyles.ru/articles/lyudi-i-derevyu/rastitelnye-antibiotiki-fitoncidy](http://givoyles.ru/articles/lyudi-i-derevyu/rastitelnye-antibiotiki-fitoncidy), Accessed 23 Marta 2021.
6. Shirikova N.P., Serova N.S. “Vliyaniye fitonizidov rasteniy na chislennost mikroorganizmov vozducha pomesheniy”. *Uspechi sovremennogo estestvoznaniy*, no. 3, 2006, pp.91-92.
  7. Tkachenko K.G., Kazarinova N.V. “Medizinskiy fitodizayn. Ispolzovanie rasteniy dla sanazii pomesheniy I prophylaktiki infekzionnykh zabolovaniy”. *Nauchnye vedomosti*, no. 6(46), 2008, pp. 80-85.
  8. Getko N., Ladyzhenko T., Shutova A. “Fitonizidnaya aktivnost oranzhereynnykh rasteniy”. *Nauka I innovatsii*, no. 5 (135), 2014, pp. 18-20.
  9. Tsibuly N.V., Fershalova T.D., Davidivich L.P. “Ispolzovanie tropicheskikh rasteniy dla sanatsii vozducha v ekologicheski neblagopriyatnykh usloviyakh pomesheniy”. *Izvestiy Samarskogo nauchnogo zentra Rossiyskoy akademii nauk*, T.19, no. 2 (2), 2017, pp. 360-364.
  10. Tsibuly N.V. “Ispolzovanie sredouluchayushchikh svoystv rasteniy dly optimizatsii sredy v detskikh uchrezhdeniyakh”. URL: [http://science-bsea.narod.ru/2004/les\\_2004/cybulja\\_ispolzovanie.htm](http://science-bsea.narod.ru/2004/les_2004/cybulja_ispolzovanie.htm). Accessed 23 Marta 2021.
  11. “Medizinskiy fitidizayn – novoe napravlenie v ispolzovanii komnatnykh rasteniy”. *Elektronnoe periodicheskoe izdanie*, URL: <https://infourok.ru/lekcija-ispolzovanie-komnatnih-rasteniy-v-medicinskom-fitodizayne-3147108.html>. Accessed 23 Marta 2021.
  12. Tsibuly N.V., Ferchalova T.D. *Fitonizidnye rasteniy v interyere (ozdorovlenie vozducha s pomoshyu rasteniy)*. Novosibirskoe knizhnoe izdatelstvo, 2000.
  13. Gornizkay I.P. *Introduktsiy tropicheskikh I subtropicheskikh rasteniy, ye teoreticheskie I prakticheskie aspekty*. Donechchina, 1995.
  14. Tkachenko T., Mileikovskiy V. “Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior.” *E3S Web of Conferences 211, 02015 (2020). The 1st JESSD Symposium: International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science and Sustainable Development 2020*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>.
  15. Prokopenko I., Tkachenko T. “Technologii ozdorovlennia povitrynoho seredovishcha zakrytykh prumishchen”. *Aktualni problemy, prioritetni napramky ta strategiy rozvytku Ukrainy: tezy dopovidey I Mizhnarodnoy naukovopraktychnoy onlayn konferenzii*, m. Kyiv, 15 bereznia 2021 roku, Kyiv, pp. 47-49.
  16. Gornitskaya I.P., Varenko Yu.S., Tkachenko T.N. “Deystvie fitontsidov tropicheskikh i subtropicheskikh rasteniy na mikrofloru palat khirurgicheskogo otdeleniia (ekologo-gigienicheskii aspekt)”. *Vestnik gigiyeny i epidemiologii*. T.3. № 1. С.121-125.

УДК 699.874:613.5:614.48:58.072

## Оздоровление воздушной среды закрытых помещений с помощью фитодизайна фитонцидными растениями

Т.Н. Ткаченко<sup>1</sup>, И.А. Прокопенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Киевского национального университета строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [tkachenkoknuba@gmail.com](mailto:tkachenkoknuba@gmail.com), ORCID: 0000-0003-2105-5951

<sup>2</sup>студ. Киевского национального университета строительства и архитектуры, г. Киев, Украины, [vanya.prokopenko.2001@gmail.com](mailto:vanya.prokopenko.2001@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5341-2728

*Аннотация. Основная проблема закрытых помещений - загрязнение воздушной среды химическими соединениями, пылью, антропогенными и болезнетворными микроорганизмами. Решение этой проблемы с помощью технических и инженерных технологий не всегда эффективно, поскольку требует много времени и существенных капиталовложений. Предлагается технология фитодизайна фитонцидными растениями. Цель работы – оптимизация воздушной среды помещения на примере зимнего сада Киевского национального университета строительства и архитектуры с помощью фитодизайна фитонцидными растениями. Задачи работы: обследовать ассортимент растений зимнего сада; оценить, является ли достаточным количество растений для санации воздушной среды помещения площадью 930 м<sup>2</sup>; проанализировать недостатки ассортимента фитонцидных растений; разработать предложения по фитодизайну зимнего сада для качественного улучшения воздушной среды. Установлено, что существующее количество фитонцидных растений (18 штук) для эффективной санации воздуха исследуемого помещения недостаточно. Для эффективного санирования воздуха площади исследуемого помещения необходимо 310 экземпляров крупномерных фитонцидных растений. Для расширения ассортимента предлагаются следующие фитонцидные виды: *Aglaonema*, *Anthurium*, *Aspidistra elatior*, *Begonia*, *Chlorophytum*, *Dracena marginata*, *Ficus benjamina*, *Wandi*, *Hedera*, *Kalanchoe*, *Nolina*, *Philodendron*, *Spatifillum*, *Scindapsus*, *Sansevieria*, *Tradescantia*, *Zamioculcas zamiifolia*, растения семейств *Euphorbiaceae*, *Orchidaceae*, *Bromeliaceae*. Зелёные фитонцидные зоны возможно расширять также посредством введения «зелёных конструкций».*

*Ключевые слова: фитонциды, фитодизайн, болезнетворные микроорганизмы, санация воздуха.*

UDC 699.874:613.5:614.48:58.072

## Improvement of the indoor air environment using phytodesign by phytoncidal plants

T. M. Tkachenko<sup>1</sup>, I. A. Prokopenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sc.D, professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [tkachenkoknuba@gmail.com](mailto:tkachenkoknuba@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-2105-5951

<sup>2</sup> Student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [vanya.prokopenko.2001@gmail.com](mailto:vanya.prokopenko.2001@gmail.com),  
ORCID: 0000-0001-5341-2728

*Abstract. The main problem of closed rooms is air pollution with chemical compounds, dust, anthropotoxins and pathogens. Solving this problem with the help of technical and engineering technologies is not always effective, since it requires a lot of time and significant capital investments. The technology of phytodesign by phytoncidal plants is proposed. The purpose of the work is to optimize the air environment by an example of the winter garden in Kiev National University of Construction and Architecture using phytodesign by phytoncidal plants. Objectives of the work: to examine the assortment of plants in the winter garden; to assess whether the number of plants is sufficient for sanitation of the air environment of the premises with an area of 930 m<sup>2</sup>; analyze the shortcomings of the range of phytoncidal plants; to develop proposals for the phytodesign of a winter garden to improve the quality of the air environment. It was found that the existing number of phytoncidal plants (18 pieces) for effective sanitation of the air in the investigated room is insufficient. Their decorative effect is reduced due to some disadvantages of care. It's one of the reasons for a decrease in the growth of vegetative mass and the production of phytoncides. For effective air sanitation of the area of the investigated room, 310 specimens of large-sized phytoncidal plants are required. To expand the assortment, the following phytoncidal species are offered: Aglaonema, Anthúrium Aspidistra elatior, Begonia Chlorophytum, Dracena marginata, Ficus benjamina Wiandi, Hedera, Kalanchoe, Nolina, Philodendron, Spatifillum, Scindapsus, Sansevieria, Eucevieriaceae, plants of the families Euphorbiaceae, Orchidácea, Bromeliaceae. Green phytoncidal zones can also be expanded by introducing "green" structures.*

*Keywords: phytoncides, phytodesign, pathogens, air sanitation.*

Надійшла до редакції / Received 11.03.2021

УДК 696.2

## Удосконалення системи обліку природного газу в одиницях енергії

К. М. Предун<sup>1</sup>, В. А. Коновалюк<sup>2</sup>, Ю. Й. Франчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д.е.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [predun.km@knuba.edu.ua](mailto:predun.km@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup> к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

<sup>3</sup> ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, [franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705

*Анотація. Система обліку природного газу на даний час є недосконалою та не дає необхідну точність при визначенні обсягів спожитого газу. Проведено аналіз складу газу в місці його видобування, враховано дані оператора газотранспортної системи та експериментальні дані, що отримані при дослідженні властивостей газу в Інституті газу Національної академії наук України. Отримано значні розбіжності, що підтверджують факт істотної зміни як складу газу, так і його енергетичної цінності при відборі в різних точках газової мережі. Враховуючи світові тенденції, єдиний енергетичний ринок і курс України в європейській структурі, надзвичайно актуальним є перехід обліку газу з метричних одиниць до енергетичних. Розроблена схема вдосконалення процесу диспетчеризації обліку природного газу для вимірювання його кількості в одиницях енергії. Ця схема передбачає здійснення обліку газу з місця його видобутку до споживача саме в енергетичних одиницях. Також така схема дозволить достатньо точно визначити місця можливих витоків і втрат газу в мережах населених пунктів та отримати реальне добове балансування газу з урахуванням його змінної енергетичної цінності.*

*Ключові слова: облік газу, система газопостачання, енергетична цінність, стандартні умови*

**Вступ.** Газові розподільчі та підвідні мережі в основному побудовано в 70-80 роках минулого століття. Облік газу в той час передбачався лише у великих споживачів, а для комунально-побутових та індивідуальних споживачів плата за спожите паливо проводилася за кількістю мешканців, опалюваною площею, кількістю тварин. При цьому не враховувалась енергетична цінність палива та його склад. Розглядалися лише питання безпеки газопостачання та охорони праці.

Соціальна спрямованість державної політики в ті часи гарантувала низькі ціни на енергоносії (наприклад, для природного газу вартість становила 10 карбованців за 1000 м<sup>3</sup>). У структурі споживання газу частка житлово-комунального господарства не перевищувала 10 %. Тому питання обліку та підвищення ефективності використання палива в цьому секторі були не надто актуальні.

З набуттям незалежності України, переходом економіки на ринкові відносини відбулися зміни в структурі газоспоживання. Сьогодні частка житлово-комунального господарства перевищує 50 %. Загальне ж споживання газу в останні роки становить близько 30 млрд. м<sup>3</sup>. При цьому газ є найдешевшим і найбільш екологічно чистим видом палива. Але й зараз частина споживачів не має лічильників газу. За наявності обліку не враховується реальний вплив надлишкового тиску, температури газу та енергетичної цінності палива.

У 2017 р. прийнята Енергетична стратегія

України на період до 2035 року. Вона відповідає сучасним світовим тенденціям формування енергетичної політики держави. Частка природного газу в паливно-енергетичному балансі залишається практично незмінною (як і сьогодні – 30 %). Для повного забезпечення потреб України імпортується з Європи одна третина газу від загального споживання.

Після підписання Угоди про асоціацію всі розрахунки виконуються не в метричних одиницях, а в одиницях енергії. У зв'язку з цим постають питання щодо врахування фізико-хімічних властивостей палива, його надлишкового тиску, температури при взаємних розрахунках між постачальником та споживачем.

**Актуальність дослідження.** Незважаючи на високу цінність природного газу для потреб економіки держави в Україні практично відсутній системний підхід до оцінювання його якості. Якість газу – це ступінь відповідності його показників встановленим вимогам, яка визначається його складом і фізичними властивостями. Вимоги щодо фізико-хімічних властивостей природного газу встановлені низкою нормативно-технічних документів [1, 2, 3], причому вказані в них деякі значення характеристик (наприклад, вміст вуглекислого газу) не відповідають одне одному.

Критерієм оцінки якості газу виступає нижча теплота згоряння, визначена за стандартних умов (температура 20 °C і тиск 101,325 кПа). Зазвичай в Україні вона перевищує мінімальне значення 31,8 МДж/м<sup>3</sup>.



Лише на підставі цього робиться висновок про відповідність фізико-хімічних властивостей природного газу вимогам нормативних документів.

При визначенні якості газу, який відбирається з газової мережі, спираються на результати його лабораторного дослідження.

Спочатку експертизу газу проводить «Укртрансгаз», про що оформлюється відповідний сертифікат. Потім цей сертифікат звіряється з результатами дослідження, проведеного вже в лабораторії газотранспортного підприємства при здійсненні комерційного обліку газу.

Однак широкий спектр визначених характеристик газу (вміст інгредієнтів, точка роси тощо) навіть при зазначенні граничних значень цих параметрів, які наведені в [1, 3], ускладнює розуміння споживача щодо динаміки зміни загальної якості газу. Порівняння нормативних значень з аналогічними показниками газу, що використовується, не дають кінцевому споживачеві повної інформації про його якість, зокрема, про енергетичну цінність.

**Останні дослідження та публікації.** Відповідно до Закону України «Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства» наша держава приєдналася до єдиного простору регулювання торгівлі газом та взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час застосування Договору. Отже, кількість спожитого газу, що приймається-передається, повинна виражатися в одиницях енергії.

Інформація щодо фізико-хімічних властивостей газу, зокрема теплоти згоряння, в Україні вже доводиться до кінцевого споживача. Наприклад, щомісяця за регіонами України публікується мапа з середньозваженими характеристиками теплоти згоряння, що має різні значення залежно від:

- магістрального газопроводу,
- родовища газу,
- технологічного режиму його підготовки до транспортування або конкретної країни-експортера газу.

З аналізу наукових досліджень [5-10] та вимог чинних нормативно-технічних документів [1-3] впливає висновок, що визначенню якості природного газу приділяється значна увага. Однак здебільшого йдеться про вдосконалення вимірювання окремих його параметрів без комплексного аналізу функціональних або кореляційних зв'язків між ними. Водночас фізико-хімічні властивості газу, визначені в точках приймання-передавання, наприклад, на газорозподільних станціях (ГРС), можуть за-

знавати змін при його транспортуванні газорозподільними мережами населеного пункту.

**Формулювання цілей статті.** Задачею дослідження є розробка пропозицій щодо вдосконалення системи обліку природного газу в одиницях енергії.

**Основна частина.** Процес організації обліку природного газу в Україні потребує впровадження заходів щодо підвищення достовірності його результатів. Причиною недостовірності є наявність певної кількості споживачів без приладів обліку, де визначення обсягів використаного газу відбувається за укрупненими показниками.

Згідно з законом України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» «Введення в експлуатацію новозбудованих та/або реконструйованих багатоквартирних жилих будинків і об'єктів виробничого та невиробничого призначення з системами газопостачання здійснюється лише за наявності вузлів обліку природного газу» [4].

З іншого боку в більшості споживачів на приладах обліку відсутні коректори за тиском газу та температурою. Це унеможливає точне визначення кількості газу, приведеного до стандартних умов. Залишає бажати кращого і якість природного газу. Все це не сприяє зменшенню корупційних ризиків при здійсненні його обліку.

Виходом з цієї ситуації є втілення інтелектуальної системи обліку енергоносіїв для обчислення спожитого природного газу.

У статті 2 Директиви 2012/27/ЄС «розумна система обліку» або «інтелектуальна система обліку» означає електронну систему, яка може вимірювати споживання енергії та надавати більше інформації ніж звичайний лічильник, а також може передавати та отримувати дані за допомогою певної форми електронного зв'язку [11].

В Україні приділяється багато уваги створенню інтелектуальної системи обліку енергоносіїв. Це є пріоритетним завданням державної технічної політики. Зараз Верховна Рада працює над створенням законодавчої бази комерційного обліку газу як енергії.

Роботи щодо створення інформаційних інтелектуальних систем можуть проводитися на базі наявних газорозподільчих систем населених пунктів з урахуванням їхнього технічного стану та придатності роботи в нових умовах.

Порівняльний аналіз складу й енергетичної цінності газу в різних точках газотранспортної системи України виявив істотну розбіжність значень основних характеристик. Проводився аналіз складу газу, відібраного з родовищ у місці його видобутку [13, 14]. У деяких родовищах вміст метану менший за встановлене [1]

мінімально допустиме значення 90 %.

Виконано порівняння характеристик газу з родовища з енергетичною цінністю газу, що транспортується в газотранспортній мережі (згідно зі звітами Оператора газотранспортної системи, що складаються відповідно до вимог [1]). Визначено компонентний склад і енергетичну цінність газу, що відібраний у чотирьох точках мережі газопостачання міста Києва. Дослідження (рис.1) якості газу проведено в Інституті газу Національної академії наук України.

Для підвищення достовірності обліку природного газу в одиницях енергії розроблено систему (рис. 2) організації процесу диспетчеризації обліку.

На наявних ГРП необхідно контролювати

- технологічні параметри природного газу:
  - тиск (перепад тиску);
  - температура;
  - кількість спожитого газу;
- умови безпеки:
  - загазованість приміщення;
  - спрацювання запірної арматури;
  - несанкціонований доступ;
- склад природного газу;
- його енергетичну цінність.

Ці результати повинні автоматично передаватися за допомогою кодованих сигналів на приймальні пристрої. Там вони будуть розшифровуватися і використовуватися для точного

обліку газу. Формування та передача сигналів відбувається з мінімальною частотою постійно.

Вузол обліку газу в ГРП має бути оснащено інтелектуальним лічильником природного газу. Це дозволить проводити облік газу в мережах населеного пункту з отриманням інформації в реальному часі. За цією інформацією створюється фактична картина газоспоживання.

Для абонентів житлових будинків створено і Smart-лічильники типорозмірів G 1,6...G 6. Ці лічильники оснащені пристроями які приводять покази до стандартних умов з урахуванням надлишкового тиску та фактичної температури газу. Лічильники мають такі переваги:

- можливість передавання сигналів за допомогою мобільних технологій GPRS,
- високий рівень захисту від небажаного втручання,
- фільтр
- можливість роботи від автономного джерела живлення до 10 років
- вбудований клапан дистанційного вимкнення споживача за потреби.

Таким чином, лічильник має функцію зворотного зв'язку та управління.

На території України є кілька операторів зв'язку. Вони покривають майже 100% території. Отже, існує можливість створити єдиний інформаційний простір для впорядкування обліку природного газу.

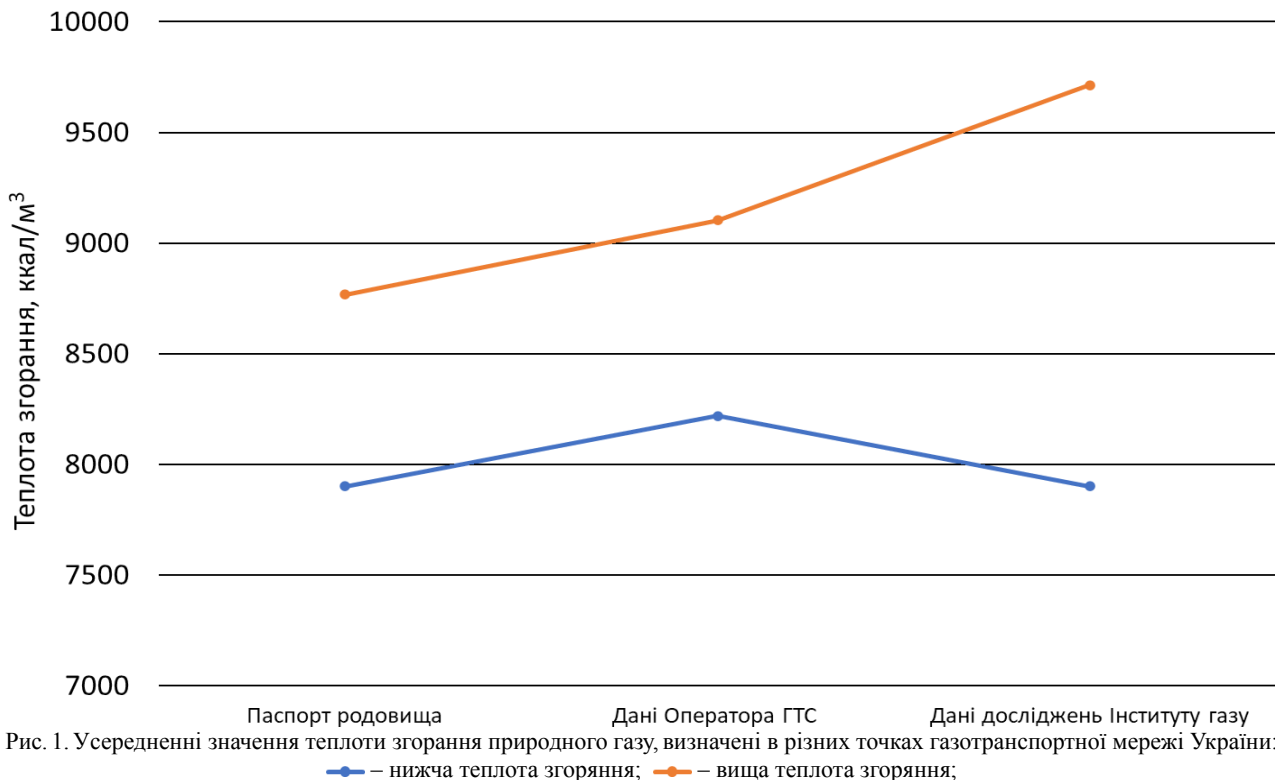


Рис. 1. Усередненні значення теплоти згорання природного газу, визначені в різних точках газотранспортної мережі України:

— нижча теплота згорання; — вища теплота згорання;

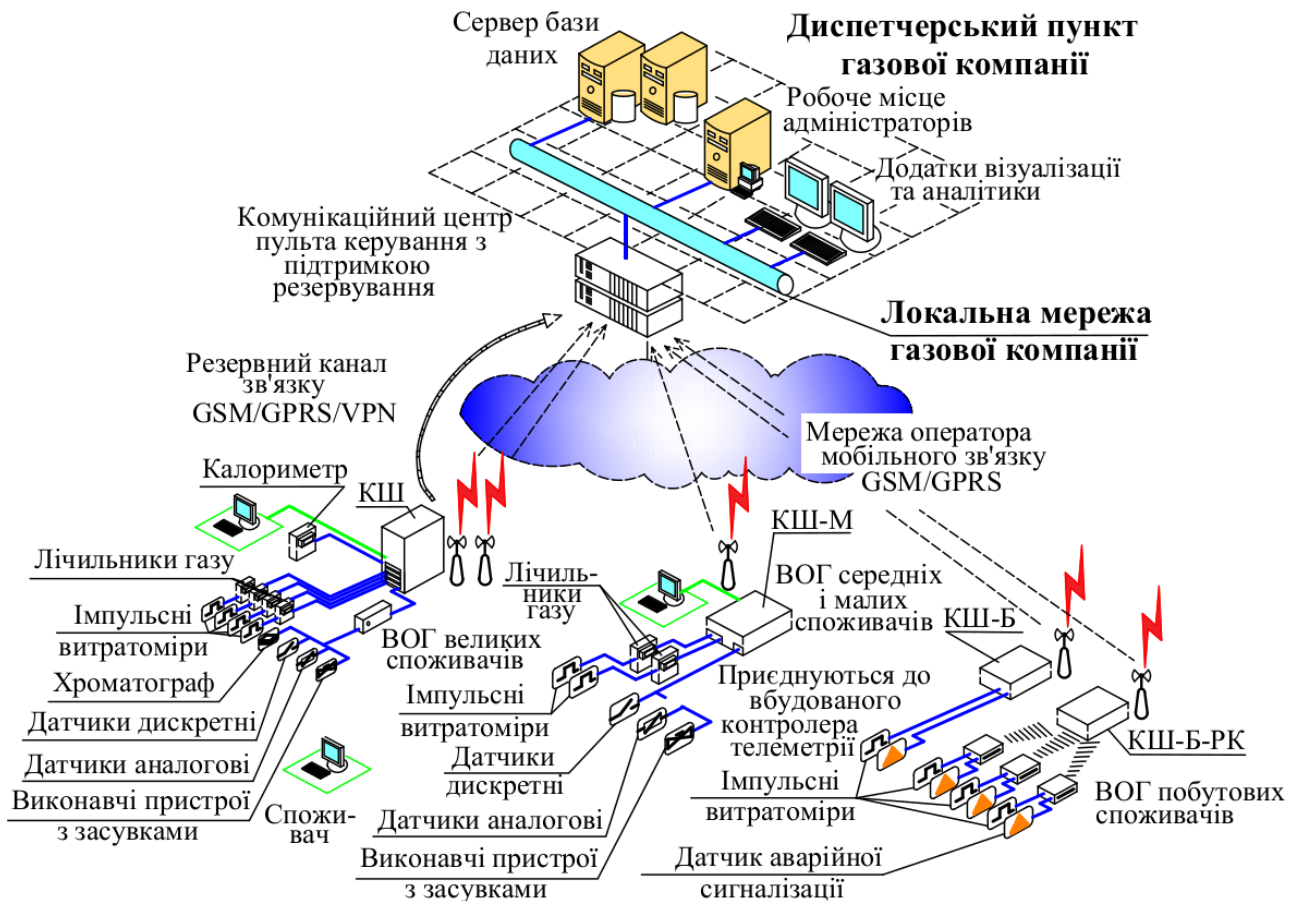


Рис. 2. Схема організації процесу диспетчеризації обліку природного газу в одиницях енергії:  
 ВОГ – вузол обліку газу; КШ – комплект шафового обладнання для визначення складу газу і його енергетичної цінності на великих підприємствах; КШ-М – теж саме на малих підприємствах; КШ-Б – теж саме для житлової забудови

Запропонована схема організації обліку природного газу дозволить отримати об'єктивну інформацію щодо енергетичної цінності газу, допоможе її виразити в одиницях енергії та використовувати для взаєморозрахунків за спожите паливо (енергію).

**Висновки.** Запровадження інтелектуального обліку спожитого природного газу дозволить:

1. Проводити облік і розрахунки за спожитий газ в одиницях енергії (з урахуванням реальної

теплоти згорання).

2. Забезпечити постачання газу на перспективу на підставі фактичних значень споживання газу.

3. Достатньо точно визначати місця можливих витоків і втрат газу в мережах населених пунктів.

4. Отримати реальне добове балансування газу з урахуванням його змінної енергетичної цінності.

### Література

1. Кодекс газорозподільних систем. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 №2494. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text>
2. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. – Чинні від 01.07.2019. – Київ: Укрархбудінформ, 2019. – IV, 109 с.
3. Проект Технічного регламенту природного газу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/4291.pdf>.
4. Закон України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» [Електронний ресурс]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3533-17#Text>.
5. Петришин І., Соколовський В., Петришин Н., Дарвай І. Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2012.- №3. – с.51...56.
6. Предун К. М., Франчук Ю. Й. Достовірність обліку природного газу абонентами житлових будинків // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018.
7. Предун К. М., Франчук Ю. Й. Нормативно-правове забезпечення обліку природного газу побутовими споживачами // The international research and practical conference “The development of technical science: problems and solutions”, April 27-28, 2018. – Brno, The Czech Republic, – p. 81-84. Програма та тези доповіді.

8. Предун К. М., Франчук Ю. Й. Деякі аспекти щодо достовірності обліку природного газу та показники його якості // International research and practical conference “Modern methods, innovation and experience of practical application in the field of technical science: Conference Proceedings”, December 27-28, 2017. – Radom, Republic of Poland. – p.151..153
9. Дослідження впливу температури на параметри природного паливного газу//В. А. Коновалюк, Ю. Й. Франчук// Науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання». Випуск 36. 2021. С.48-56.
10. Директива Європейського парламенту і Ради 2012/27/ЄС «Про енергоефективність...» [Електронний ресурс]. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-goeei/2012-27-es.pdf>.
11. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 29 с.
12. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – М.: Изд.-во стандартов, 1982. – 3 с.
13. Паспорт качества газа Газ горючий природный. СТО Газпром 089-2010. [Електронний ресурс].<https://ugs.gazprom.ru/d/story/1b/283/sto-gazprom-089-2010.pdf>
14. Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: Навч. посібник. – К.: Логос, 2002. – 196 с.

### References

1. *Kodeks hazardozpodilnykh system. Postanova Natsionalnoi komisii, shcho zdiisniuiе derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh vid 30.09.2015 №2494*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text>
2. *Hazopostachannia*. DBN V.2.5-20:2018. Ukrarkhbudininform, 2019.
3. *Proekt Tekhnichnoho rehlamentu pryrodnoho hazu*. URL: <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/4291.pdf>.
4. *Zakon Ukrainy «Pro zabezpechennia komertsiiinoho obliku pryrodnoho hazu»* URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3533-17#Text>
5. Petryshyn I., Sokolovskyi V., Petryshyn N., Darvai I. “Analiz pokaznykiv yakosti pryrodnoho hazu, yaki vplyvaiut na protses horinnia.” *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist*. 2012. No 3. P. 51-56.
6. Predun K. M., Franchuk Yu. Y. *Dostovirnist obliku pryrodnoho hazu abonentamy zhytlovykh budynkiv*. 2018 Materialy XLVII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 14-23 bereznia 2018 r.
7. Predun K. M., Franchuk Yu. Y. “Normatyvno-pravove zabezpechennia obliku pryrodnoho hazu pobutovymy spozhyvachamy”. *The international research and practical conference “The development of technical science: problems and solutions”*, April 27-28, 2018. Brno, The Czech Republic, p. 81-84. Prohrama ta tezy dopovidu.
8. Predun K. M., Franchuk Yu. Y. “Deiaki aspekty shchodo dostovirnosti obliku pryrodnoho hazu ta pokaznyky yoho yakosti”. *International research and practical conference “Modern methods, innovation and experience of practical application in the field of technical science: Conference Proceedings”*, December 27-28, 2017. Radom, Republic of Poland. p.151-153.
9. Konovaliuk V. A., Yu. Franchuk Yu. Y. “Doslidzhennia vplyvu temperatury na parametry pryrodnoho palyvnoho hazu.” *Ventylatsiia, osvittlennia ta teplofazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. 2021. Vyp. 36. P. 48-56.
10. *Dyrektyva Yevropeiskoho parlamentu i Rady 2012/27/YES «Pro enerhoefektyvnist»*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-goeei/2012-27-es.pdf>.
11. *Pryrodnyi haz. Vyznachennia enerhii* DSTU ISO 15112:2009. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010.
12. *Gazyi goryuchie prirodnyie. Raschetnyiy metod opredeleniya teploty sgoraniya, otnositelnoy plotnosti i chisla Vobbe*. GOST 22667-82. Izd.-vo standartov, 1982.
13. *Pasport kachestva gaza Gaz goryuchiy prirodnyiy. STO Gazprom 089-2010*. URL: <https://ugs.gazprom.ru/d/story/1b/283/sto-gazprom-089-2010.pdf>
14. Ienin P.M., Shyshko H.H., Predun K.M. *Hazopostachannia naselenykh punktiv i obiektiv pryrodnym hazom: Navch. posibnyk*. Lohos, 2002.

УДК 696.2

## Совершенствование системы учёта природного газа в единицах энергии

К. М. Предун<sup>1</sup>, В. А. Коновалюк<sup>2</sup>, Ю. И. Франчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> д.э.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина., [predun.km@knuba.edu.ua](mailto:predun.km@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup> к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина., [konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

<sup>3</sup> ас. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина., [franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705

*Аннотация. Система учёта природного газа в настоящее время является несовершенной и не даёт необходимую точность при определении объёмов потреблённого газа. Проведён анализ состава газа в месте его добычи, учтены данные оператора газотранспортной системы и экспериментальные данные, полученные при исследовании свойств газа в Институте газа Национальной академии наук Украины. Получены значительные разногласия, подтверждающие факт существенного изменения как состава газа так и его энергетической ценности при отборе в разных точках газовой сети. Учитывая мировые тенденции, единый энергетический рынок, курс Украины в европейские структуры чрезвычайно актуальным является переход учёта газа с метрических единиц к энергетическим. Разработана схема совершенствования процесса диспетчеризации учёта природного газа для измерения его количества в единицах энергии. Эта схема предусматривает осуществление учёта газа с места его добычи до потребителя именно в энергетических единицах. Также такая схема позволит достаточно точно определять места возможных утечек и потерь газа в сетях населённых пунктов и получить реальное суточное балансирование газа с учётом его переменной энергетической ценности.*

*Ключевые слова: учёт газа, система газоснабжения, энергетическая ценность, стандартные условия*

UDC 696.2

## Improvement of the natural gas metering system in energy units

K. Predun<sup>1</sup>, V. Konovalyuk<sup>2</sup>, Yu. Franchuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dr. Hab., Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [predun.km@knuba.edu.ua](mailto:predun.km@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup> PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

<sup>3</sup> Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705

*Abstract. The natural gas metering system is currently imperfect and does not provide the necessary accuracy in determining the amount of gas consumed. There is still a certain number of consumers without meters, where the determination of the volume of gas consumed is based on approximate indicators. In addition, most consumers do not have correctors for gas pressure and temperature on the meters, which makes it impossible to accurately determine the amount of gas reduced to standard conditions. The quality of natural gas is also not enough. The way out of this situation is the implementation of an intelligent energy metering system for calculating the consumed natural gas. In addition to controlling the technological parameters of natural gas, it is necessary to determine the composition of natural gas and its energy value on existing gas control point. The analysis of gas composition in the place of its extraction is carried out, the data of the gas transmission system operator and the experimental data received at research of properties of gas in Institute of Gas of the Academy of Sciences of Ukraine are considered. Significant discrepancies have been obtained, which confirms the fact of a significant change in both the composition of the gas and its energy value during selection at different points of the gas network. Given global trends, the single energy market, Ukraine's course into European structures, the transition of gas metering to energy units is extremely important. The scheme of improvement the process of dispatching of natural gas metering for measurement of its quantity in units of energy is developed. This scheme provides for the metering of gas from the place of its production to the consumer in energy units. Also, such a scheme will allow to accurately determine the location of possible leaks and losses of gas in the networks of settlements and to obtain a real daily balancing of gas, taking into account its variable energy value.*

*Key words: gas metering, gas supply system, energy value, standard conditions*

Надійшла до редакції / Received 11.03.2021

Наукове видання

# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 37

Визнаний МОН України як наукове фахове видання України категорії “Б”, у якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.)

Збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» представлений на сайті <http://www.nbuv.gov.ua> національної бібліотеки НАН України ім. В. І. Вернадського та на сайті КНУБА ( <http://vothp.knuba.edu.ua/> ).

Підписано до друку 01.04.2021. Формат 60×84 1/8  
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 7,9. обл. вид. арк. 8,37.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 161404

Надруковано в ТОВ “Видавництво “Юстон”  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36-а т: (044) 360-22-66, [www.yuston.com.ua](http://www.yuston.com.ua)  
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції серія дк № 797 від 09.09.2015 р.

# AEROSTAR GROUP

Виробник сучасного енергоефективного  
вентиляційного обладнання Aerostar

## Чому саме ми?

Увесь спектр обладнання для вентиляції та кондиціонування:  
повітрооброблюючі установки різної продуктивності (Від 300 до 100 000 м<sup>3</sup> / год),  
канальне вентиляційне обладнання; холодильне обладнання та обладнання для кондиціонування,  
чиллери, фанкойли; промислові адсорбційні осушувачі.

За 13 років плідної роботи нам довіряють більше **7500**  
клієнтів з усього світу.

## Наші переваги:

КОМПЛЕКСНІ  
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ  
РІШЕННЯ

ГАРАНТІЯ  
ДО 3 РОКІВ

СЕРВІСНА  
ПІДТРИМКА 24/7

ТІЛЬКИ ПЕРЕВІРЕНІ І ЯКІСНІ КОМПЛЕКТУЮЧІ

punker

twe

ABB

Schneider  
Electric

ROENEST  
GROUP

AFAPS  
ARABID  
STRUCTURES FOR AIR HANDLING UNITS

KLINGENBURG

SIEMENS

ZIEHL-ABEGG

GRUNDFOS

WILO

S  
SPECIAL

**Aerostar Group**

КИЇВ, 03061, пр-т Відрадний, 95-г  
тел.: +38(044)35 121 35  
office@aerostar.ua

**Завод**

пр-т Відрадний 95-62  
Тел.: +38(044)35 121 35



**aerostar.ua**