

**70 РОКІВ  
КАФЕДРИ ТГПВ**



**ВЕНТИЛЯЦІЯ,  
ОСВІТЛЕННЯ  
ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

**Науково-практична конференція  
Теорія і практика формування мікроклімату  
та енергопостачання будівель та споруд  
16 - 18 жовтня 2019 року**

**Випуск 30  
Київ 2019**

**AER STAR**  
GROUP

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 30

Kyiv 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет  
будівництва і архітектури

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

*заснований у 2001 році*

ВИПУСК 30

Київ 2019

УДК 697

ISSN 2409-2606

В29

**Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання:** науково-технічний збірник. – Вип. 30 / відповідальний редактор В. П. Корбут. – Київ: КНУБА, 2019. – 76 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, професор В. П. Корбут (відповідальний редактор); канд. техн. наук, професор В. Б. Довгалюк (заступник відповідального редактора); канд. техн. наук, доцент В. О. Мілейковський (відповідальний секретар); докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України В. М. Міхайленко; докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України О. Л. Підгорний; докт. техн. наук, професор О. В. Приймак; канд. техн. наук, професор В. В. Трофімович; 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 27 вересня 2019 року, протокол № 26.

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

© Київський національний університет  
будівництва і архітектури

## ЗМІСТ

<i>До відома авторів</i> .....	5
Ю. В. Човнюк, В. Б. Довгалюк, В. Т. Кравчук <i>Метод аналізу ізотерм, поверхневої фрактальної розмірності та динамічного хаосу при вологообміні колоїдних капілярно-пористих музейних експонатів за змінних умов мікроклімату</i> .....	6
К. М. Предун, Ю. Й. Франчук, О. І. Ободянська <i>Модель багатofакторної оцінки якості природного газу</i> .....	20
П. Капало, О. Т. Возняк, М. Адамські, О. М. Довбуш <i>Вплив горіння свічок на вентиляцію (англійською мовою)</i> .....	29
Л. М. Коваль <i>Специфіка дизайну світлодіодних світильників прямого світла</i> .....	34
Д. В. Гузик, О.Б. Борщ, А. В. Рибалка <i>Експериментальні дослідження процесів сушіння лікарських рослин</i> .....	43
Н. А. Сподинюк, Л. П. Горбаченко <i>Застосування геотермальної вентиляції для теплопостачання приміщень пташників</i> .....	51
<i>ДО 70-РІЧЧЯ КАФЕДРИ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ</i> .....	56

## CONTENTS

<i>Information for the Authors</i> .....	5
Yu. V. Chovniuk, V. B. Dovhaliuk, V. T. Kravchuk <i>A Method for the Analysis of Isotherms, Surface Fractal Dimension and Dynamic Chaos of Moisture Exchange in Colloidal Capillary-Porous Museum Exhibits at Changeable Microclimate Conditions (in Ukrainian)</i> .....	6
K. M. Predun, Y. Y. Franchuk, O. I. Obodianska <i>Model of Multifactorial Assessment of Natural Gas Quality (in Ukrainian)</i> .....	20
P. Kapalo, O. T. Vozniak, M. Adamski, O. Dovbush <i>Effect of Candles Burning on Ventilation of Premises</i> .....	29
L. Koval <i>Design Specificity of Direct Light LED Fixtures (in Ukrainian)</i> .....	34
D. V. Guzyk, O. B. Borshch, A.V. Rybalka <i>Experimental Studies of Drying Processes of Medicinal Herbs (in Ukrainian)</i> .....	43
N. A. Spodyniuk, L. P. Horbachenko <i>Application of Geothermal Ventilation for Heat Supply of Poultry Premises (in Ukrainian)</i> .....	51
<i>TO THE 70 TH ANNIVERSARY OF THE CHAIR OF HEAT GAS SUPPLY AND VENTILATION (in Ukrainian)</i> .....	56

### **До відома авторів**

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

Продовжуємо публікацію статей за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції “Теорія і практика формування мікроклімату та енергопостачання будівель і споруд”, присвяченої 70-річчю кафедри теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури. Наприкінці випуску публікується історія кафедри.

У зв’язку з великою кількістю прийнятих доповідей вони публікуватимуться не лише в чотирьох випусках 2019 року, але також і у першому випуску 2020 року. Дякуємо всім учасникам!

Звертаємо увагу на неухильне виконання вимог до рукописів, розміщених на сайтах

[vothp.org.ua](http://vothp.org.ua)

[vothp.knuba.edu.ua](http://vothp.knuba.edu.ua)

### **Information for the Authors**

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

We continue publication of articles on the materials of the international scientific and practical conference "Theory and Practice of Microclimate Formation and Energy Supply of Buildings and Structures", dedicated to the 70-Th anniversary of the Department of Heat Gas Supply and Ventilation of Kiev National University of Construction and Architecture. At the end of the issue the history of the department is published

Because of the great number of accepted reports they will be published not only in the four issues of 2019 but in the first issue in 2020. Thanks for all participants!

Pay attention to the strict adherence to the Requirements for manuscripts, placed on the sites

[vothp.org.ua](http://vothp.org.ua)

[vothp.knuba.edu.ua](http://vothp.knuba.edu.ua)



УДК 546.185

## Метод аналізу ізотерм, поверхневої фрактальної розмірності та динамічного хаосу при вологообміні колоїдних капілярно-пористих музейних експонатів за змінних умов мікроклімату

Ю. В. Човнюк<sup>1</sup>, В. Б. Довгалюк<sup>2</sup>, В. Т. Кравчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, uchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203

<sup>2</sup>к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 2280170@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4836-5354

<sup>3</sup>к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, vtk1@ukr.net

*Анотація.* На основі ізотерм сорбції-десорбції колоїдних капілярно-пористих тіл (ККПТ), якими є музейні експонати, розрахована їхня поверхнева фрактальна розмірність та досліджені її просторово-часові зміни з урахуванням впливу зміни параметрів повітряного середовища. Розглянуті фізико-хімічні та реологічні властивості колоїдних водних дисперсій у вказаних тілах на базі методів фрактальної геометрії та уявлень про механізми фізико-хімічних і фізико-механічних процесів у цих системах. Цей опис більш повний порівняно з описом, який використовує лише реологічні дані. Підтверджено, що квазітверді агрегати, утворені у процесах коагуляції при формуванні структурної квазірешітки ККПТ, мають фрактальну структуру, розмірність якої пов'язана з особливостями міжчасткової взаємодії в природних системах. У літературі мало уваги приділено властивостям поверхні ККПТ з точки зору фрактальної геометрії. Розглянута також динаміка утворення у вказаних тілах квазітвердої фази речовини. Встановлена наявність стадії низькорозмірного просторово-часткового хаосу в процесах квазітвердіння. Обговорюється ідея відновлення динаміки росту за структурою ККПТ. Показано, що перехід від рідкого стану речовини до квазітвердої фази є процесом самоорганізації. Для дослідження його динаміки, а також задля оцінки розмірностей дивних атракторів при аналізі даних фізико-хімічних та фізико-механічних експериментів з ККПТ використані відомі у теорії механічних систем: метод Такенса, алгоритм обчислення розмірності речовини (Грассбергера-Прокаччіо, Скіннера), метод бутстрепа Хінклі. Останній є відомим методом імітаційного моделювання у оберненій задачі теорії динамічних систем.

*Ключові слова:* просторово-часова еволюція, поверхнева фрактальна розмірність, динамічний хаос, квазітверда фаза, колоїдне капілярно-пористе тіло, дивний атрактор, теорія динамічних систем, метод бутстрепа.

**Постановка проблеми.** Низка видів музейних експонатів – одяг, аксесуари, скатертини, картини, витвори гончарства тощо – є капілярно-пористими тілами (ККПТ). Вони знаходяться у постійній взаємодії з повітряним середовищем. Зміна відносної вологості повітря під впливом змінних умов у музейному приміщенні (кількість відвідувачів, зміна погодних умов тощо) призводить до сорбції або десорбції вологи в цих експонатах, виникнення внутрішніх механічних напружень, а при певних умовах – до пришвидшеного старіння та деградації. Тому для ефективного управління системами формування мікроклімату необхідні методи прогнозу стану ККПТ під дією змінних умов повітряного середовища.

**Останні дослідження та публікації.** Фізико-хімічні та технологічні властивості ККПТ залежать як від квазікристалічної структури, так і від дисперсності та наявних домішок. Зазвичай, мало уваги приділяється дослідженню ступеня гетерогенності поверхні часток / елементів та інших характеристик цих фрактальних об'єктів. Наприклад, поверхневі

фрактальні властивості глинястих мінералів та морських осадів детально розглянуті у ряді робіт [1-4]. Поверхня часток/елементів (пор/капілярів) ККПТ може мати різний ступінь гетерогенності та шорсткості, що ускладнює опис їхньої поверхні. Розгляд поверхні (пор/капілярів) ККПТ з точки зору фрактальної геометрії дає можливість охарактеризувати гетерогенність (невпорядкованість) однією величиною – поверхневою фрактальною розмірністю.

У роботі [1] розглянуті фізико-хімічні та реологічні властивості водних дисперсій смектитів на підставі фрактальної геометрії та уявлень щодо механізмів фізико-хімічних процесів у цих системах (але не у ККПТ). Цей опис більш повний порівняно з описом, який використовує лише реологічні дані. Наприклад, у [3] підтверджено, що агрегати, утворені в процесі коагуляції при формуванні донних морських осадів, мають фрактальну структуру, розмірність якої пов'язана з особливостями міжчасткової взаємодії в природних системах. Однак, у літературі мало уваги приділено



властивостям поверхні ККПТ з точки зору фрактальної геометрії.

При сушінні ККПТ, наприклад, під час взаємодії експоната з навколишнім середовищем з низькою відносною вологістю, утворюються внутрішні напруження і можливість зміни внутрішньої структури тіла. Такі матеріали як шкіра та окремі види тканин при цьому можуть розтріскуватися через підвищення твердості та ламкості. Цей процес можна розглядати як утворення квазітвердої фази речовини, а в наближеному вигляді як твердіння.

При розгляді динаміки утворення квазітвердої фази речовини ККПТ неминуче виникає низькорозмірний просторово-часовий хаос, як у процесах твердіння тіла. Виникає проблема відновлення динаміки росту за структурою ККПТ. На нашу думку, перехід від колоїдного/рідинного стану речовини ККПТ до твердотільного/квазітвердотільного є процесом самоорганізації, а тому вимагає подальшого всебічного дослідження. Задля проведення такого дослідження необхідно використати відомий у теорії нелінійних систем метод Такенса [5].

Крім того, слід зазначити, що у ККПТ при розгляді часових рядів, які характеризують основні параметри теплообміну подібних середовищ, можливе виникнення дивних атракторів. Тому аналіз даних експериментів щодо визначення вказаних параметрів стикається з проблемою оцінки розмірностей цих дивних атракторів. Отже, слід розглянути основні алгоритми обчислення розмірностей цих дивних атракторів за відомими експериментальними даними.

Основну увагу необхідно приділити проблемам, які виникають при спробі використати методи розв'язання оберненої задачі нелінійної динаміки для аналізу поведінки фізико-хімічних та фізико-механічних систем, котрими в процесах теплообміну є ККПТ (алгоритми визначення розмірності дивних атракторів – Такенса, кореляційної розмірності – Грассберга-Прокаччіо, поточної розмірності, поточно-кореляційної розмірності Скіннера), а також методі імітаційного моделювання, зокрема, методу бутстрепа Хінклі. Саме використання алгоритму бутстрепа, на нашу думку, дозволить суттєво скоротити довжину вихідного часового ряду параметрів теплообміну в ККПТ.

Особливості процесів теплообміну наведені у [6, 7]. Класифікація ККПТ щодо форм зв'язку вологи з матеріалом у процесах сушіння здійснена у [8]. Різноманітні характерні риси просторово-часового хаосу у процесах

утворення твердотільного стану речовини досліджені в роботах [9-14]. Проблема оцінки розмірності дивних атракторів при аналізі даних експериментів присвячені роботи [15-18]. Аналіз літератури показав, що для ККПТ подібні дослідження до цих пір не проводились.

**Формулювання цілей статті.** Мета роботи полягає у встановленні параметрів просторово-часової еволюції поверхневої фрактальної розмірності та хаосу ККПТ під дією змінних параметрів повітряного середовища музейних приміщень задля дослідження взаємозв'язку між фізико-хімічними й фізико-механічними властивостями вказаних тіл та вказаною вище розмірністю. На цій основі вдається визначити основні особливості процесів теплообміну у ККПТ та характерних для останніх гістерезисних явищ при зміні відносної вологості оточуючого їх середовища. Крім того, задля вирішення проблеми оцінки розмірностей дивних атракторів у матеріалі експоната при аналізі даних часових рядів параметрів теплообміну в ККПТ проведено порівняльний аналіз відомих алгоритмів обчислення розмірностей вказаних атракторів і впроваджений метод імітаційного моделювання (метод бутстрепа Хінклі), який використовується при розв'язуванні обернених задач теорії нелінійних дисипативних динамічних систем.

### 1. Матеріали та методи дослідження.

Згідно з класифікацією А. В. Ликова [6] усі вологі дисперсні тіла залежно від їхніх колоїдно-фізичних властивостей та особливості змінювати свої розміри при видаленні вологи можна розділити на три групи:

1. Капілярно-пористі тіла (КПТ) – при видаленні вологи стають крихкими (крихкі гелі), при зволоженні й сушінні їхній об'єм майже не змінюється (силікагель, кварцевий пісок, вугілля, скловолокно);
2. Колоїдні тіла (КТ) – при зміні вологовмісту суттєво змінюють свої розміри: при зволоженні набрякають, а при сушінні стискаються зі збереженням еластичних властивостей скелету (еластичні гелі); вони поглинають найбільш близькі за полярністю рідини;
3. Колоїдні капілярно – пористі тіла (ККПТ) – найбільш розповсюджені матеріали, котрі за своїми властивостями займають проміжне положення між двома першими групами: стінки їхніх капілярів еластичні й при зволоженні обмежено набрякають; вони поглинають при змочуванні будь яку рідину незалежно від її хімічного складу.

По суті, ККПТ – це пористі матеріали зі стінками пор, які є проникними для вологи. До цієї групи дисперсних тіл відноситься більшість текстильних матеріалів.

ККПТ поділяють на дві групи [7]:

- а) ККПТ, у котрих розподілення речовини через колоїдну складову скелету тіла описується законом Фіка (керамічні маси, деякі штучні та синтетичні шкіри на текстильній основі, вироби з льону);
- б) ККПТ у котрих масоперенесення через колоїдні частини каркасу тіла характеризується аномальною дифузійною (целулоїд, віскозна плівка, текстильні матеріали з натуральних і деяких хімічних волокон).

Слід зазначити, що для отримання зображення фрактальних агрегатів ККПТ з водних дисперсій необхідно взяти кілька крапель суспензії або колоїдного розчину вказаних матеріалів і нанести на скляну пластину розміром 60×90 см. Потім іншою пластиною слід розплющити суспензію або колоїдний розчин до мінімальної товщини з відривами верхньої пластини від нижньої. Зображення фрактальних агрегатів можна отримати за допомогою цифрового фотоапарата [1].

**2. Фрактальність поверхні ККПТ.** У сучасній фізико-хімічній термодинаміці найбільшого розповсюдження отримала класифікація форм зв'язку вологи з дисперсними тілами, запропонована П. А. Ребіндером [8]. У основі цієї класифікації лежить термодинамічний критерій оцінки вологообмінних властивостей за величиною енергії зв'язку вологи з матеріалом, тобто за величиною вільної енергії ізотермічного вилучення з матеріалу одиниці маси зв'язаної води.

Зменшення вільної енергії при постійній температурі або енергію зв'язку, котра дорівнює роботі відриву одного моля води від матеріалу (без зміни складу), можна визначити за формулою:

$$-\Delta F = RT \cdot \ln \left( \frac{P_H}{P_U} \right) = RT \cdot \ln \left( \frac{1}{\varphi} \right) = -RT \cdot \ln \varphi, \quad (1)$$

де  $R$  – універсальна газова стала, Дж/(моль·К);  $P_H$  – тиск насиченого пару вільної води, Па;  $P_U$  – парціальний тиск рівноважного пару, Па, над матеріалом з вологовмістом  $U$  в будь-якому середовищі;  $\varphi = P_U / P_H$  – відносна вологість повітря навколишнього відносно ККПТ середовища.

Фрактальність поверхні ККПТ визначається за теорією полімолекулярної адсорбції Френкеля-Хеслі-Хілла (Frenkel-Hasley-Hill, FHH) [2] згідно з рівнянням

$$a/a_m \approx (RT \ln(P_s/P))^S, \quad (2)$$

де  $P$  та  $P_s$  – відносний тиск і тиск насичення, Па;  $a$  й  $a_m$  – адсорбція при даному тиску і при заповненні монопрошарку;  $S'$  – показник, який може бути пов'язаний зі значенням поверхневої фрактальної розмірності  $D_s$  [2].

При малих тисках, коли взаємодія між адсорбованими молекулами і поверхнею переважно визначається взаємодіями Ван-дер-Ваальса, маємо

$$S' = (D_s/3) - 1. \quad (3)$$

При високому ступені заповнення більш суттєвими стають ефекти капілярної конденсації. Тоді справедливим стає співвідношення:

$$S' = D_s - 3. \quad (4)$$

Щоб визначити, якою формулою, (3) чи (4), треба користуватись, обчислимо коефіцієнт:

$$\delta = 3(1 + S') - 2. \quad (5)$$

У випадку, коли  $\delta \geq 0$ , капілярна конденсація є несуттєвою. Тоді користуються формулою (3). При  $\delta < 0$  користуються формулою (4).

За даними роботи [2], величину  $D_s$  бажано оцінювати в інтервалі тиску, що відповідає мономолекулярному прошарку. У випадку ККПТ в цьому інтервалі відносного тиску коефіцієнт  $\delta$  завжди має від'ємне значення. Тому при оцінках величини  $D_s$  для ККПТ вжито формулу (4).

У табл. 1 представлені результати лазерно-кореляційної спектроскопії 0,5 % водних дисперсій ККПТ різного типу (тип А – вовняні тканини, тип Б – хімічні волокна у тканині, тип В – віскозні тканини). При цьому структурно-сорбційні характеристики ККПТ та їхня фрактальна розмірність  $D_s$  залежать від ефективного радіусу пор. Середній розмір частинок/пор (радіуси капілярів) ККПТ становив (до кислотної обробки) 44...150 нм, а після активації виявився більшим – 150...800 нм.

Наведена на рис. 1 ізотерма вовняної тканини є типовою для ККПТ [30].

Структурно-сорбційні характеристики ККПТ та їхня поверхнева фрактальна розмірність

Тип ККПТ	Активованість ККПТ	Ефективний радіус пор, нм	Об'єм мікропор, $\text{см}^3/\text{г} \cdot 10^2$	Питома поверхня $S_{\text{пov}}, \text{м}^2/\text{г}$	Діапазон зміни $P/P_s$	Фрактальна розмірність поверхні $D_s$
Тип А. Вовняна тканина	неактивовані (-)	1,8...7,5	0,7	83	0,02...0,65	2,52
	кислотна обробка (+)	1,8	0,6	143	0,10...0,50	2,44
Тип Б. Хімічні волокна в тканині	неактивовані (-)	2,0...3,2	0,5	134	0,04...0,27	2,48
	кислотна обробка (+)	1,8...4,0	0,2	196	0,02...0,35	2,61
Тип В. Віскозна тканина	неактивовані (-)	1,4...6,8	1,3	47	0,05...0,35	2,50
	кислотна обробка (+)	1,4...5,4	1,1	67	0,06...0,40	2,65

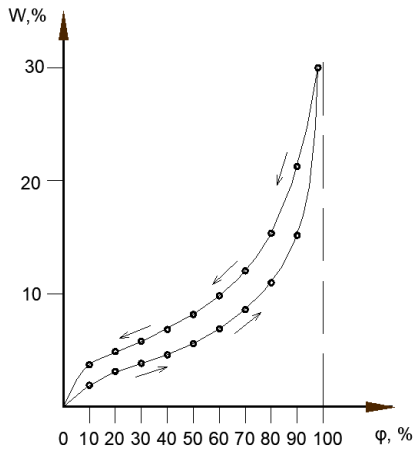


Рис. 1. Типові ізотерми адсорбції – десорбції ККПТ

На рис. 2 наведені ізотерми адсорбції – десорбції ККПТ (активованих/неактивованих) в координатах (а-φ). При цьому параметр а вжито в  $\text{см}^3/\text{г}$ , а відносна вологість φ наведено у відносних одиницях.

Як відомо з теорії адсорбції [19-21], частина ізотерм (у координатах: вологовміст ККПТ ( $W$ , %) – відносна вологість навколишнього середовища (φ, %), яка обернена опуклістю до вісі вологовмістів, у ККПТ відповідає мономолекулярній адсорбції.

Ділянка ізотерми від  $\phi = 0,1$  до  $\phi \approx 0,65 \dots 0,7$ , відповідає полімолекулярній адсорбції. У межах від  $\phi \approx 0,7$  до  $\phi = 1,0$  знаходиться область капілярної й осмотично утримуваної вологи. Величина  $U_p$  при  $\phi \rightarrow 1$  відповідає максимальному значенню кількості вологи у ККПТ ( $W_{\text{max}}$ , %), що характерно для гігроскопічного стану матеріалу.

Така методика поділу ізотерми адсорбції-десорбції на ділянки, що відрізняються механізмом заповнення пор вологою, часто застосовується для досліджуваних матеріалів [22, 23]. Вона дозволяє провести аналіз диференціальних вологообмінних властивостей текстильних матеріалів (ККПТ) гігроскопічної області.

Класичний аналіз сорбційних властивостей та особливості кінетики сорбції й набрякання

текстильних матеріалів (ККПТ), проведений у [7], свідчить про наступне. Механізм поглинання вологи ККПТ у загальному випадку передбачає процеси адсорбції, абсорбції, капілярної конденсації. Це супроводжується набряканням тіл, що особливо характерно для ККПТ. Переважають процеси абсорбції в тіл, структурні елементи котрих розміщені досить вільно, тому молекули сорбенту можуть дифундувати в середину матеріалу. Саме до таких тіл відносяться більшість текстильних матеріалів.

Як показано у [24], процеси поглинання вологи дозволяють пояснити залежність гігроскопічних властивостей тканин від їхнього волоконного складу. Наведені на рис. 1 і рис. 2 ізотерми адсорбції-десорбції віскозних, вовняних ниток та тканин, інших ККПТ підтверджують цей висновок. Адже криві  $W(\phi)$  й  $a(\phi)$  для тканин різної щільності й ниток з них ідентичні. Аналіз ізотерм тканин різного волоконного складу показує, що всі вони за формою кривих подібні (конгруентні) й мають вид, характерний для ККПТ. Петля гістерезису майже для всіх тканин спостерігається в усьому діапазоні відносної вологості середовища (φ, %). Гістерезис при високих значеннях (φ, %) зазвичай пояснюють явищем капілярної конденсації парів у мікропорах, а ширина петлі характеризує неоднорідність мікропор [20, 21]. Гістерезис при низьких тисках, котрі для текстильних матеріалів перекривається з капілярно-конденсаційним гістерезисом, обумовлений набряканням сорбенту [21]. Набрякання руйнує структуру ККПТ у результаті розриву слабких зв'язків і відкриває молекулам сорбату ( $\text{H}_2\text{O}$ ) доступ до раніше недоступних щілин. Це особливо характерно для такого сорбату як вода, молекули котрої досить малі та полярні. При десорбції деформація структури ККПТ не є повністю зворотною. Деякі молекули води виявляються «спійманими» в замкнених порах. Тому для деяких видів волокон навіть після тривалого сушіння ізотерма частково незворотна. Те ж стосується ізотерми  $\varepsilon(\phi)$  деформації є ниток від відносної вологості φ.

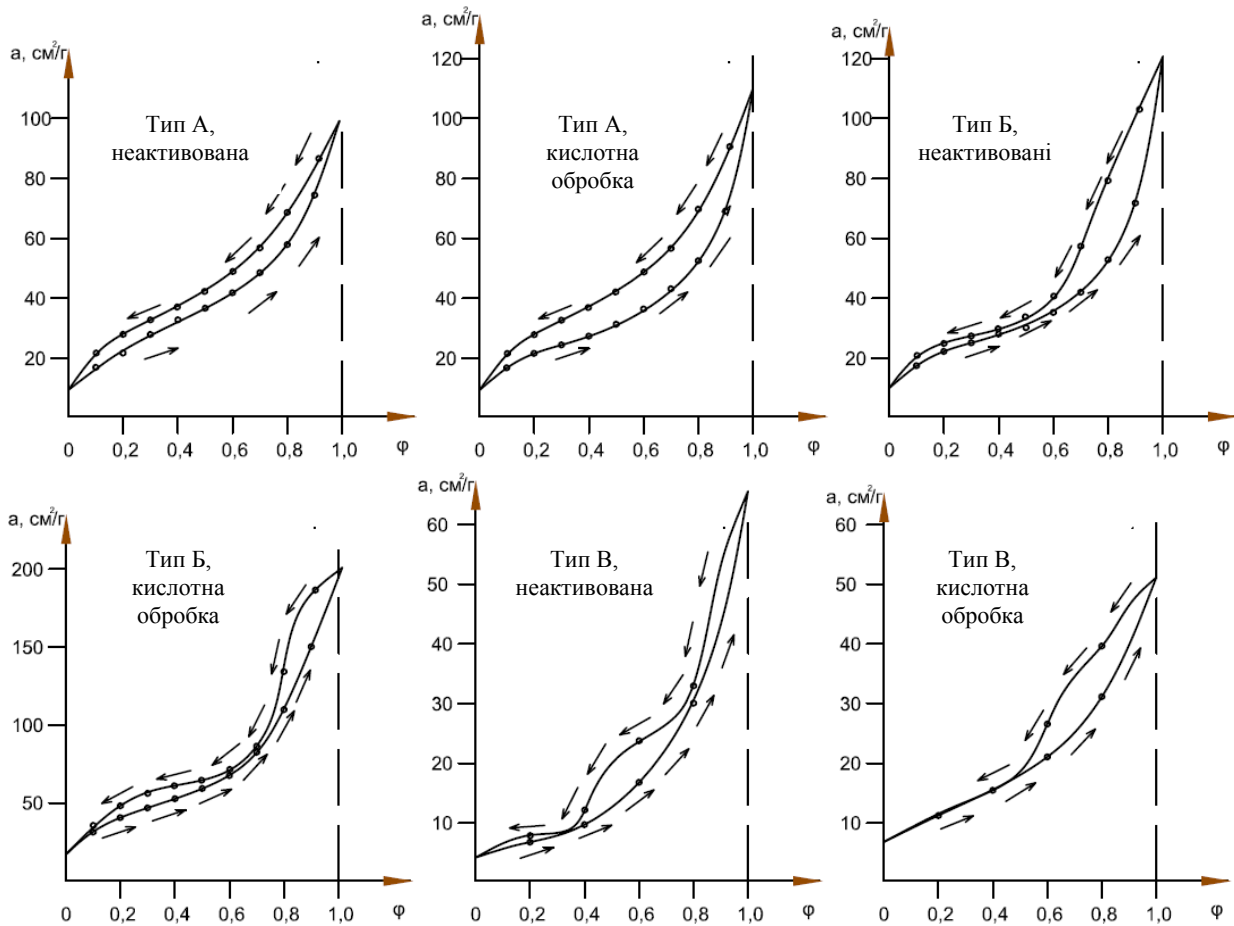


Рис. 2. Ізотерми сорбції – десорбції води у ККПТ

Якщо отримувати ізотерми деформації  $\varepsilon/\varphi$  одночасно, то досліді показують, що зміна розмірів ниток при десорбції вологи також частково незворотна й може бути причиною того, що частина молекул води не десорбується. Цей аналіз сорбційних властивостей та особливостей кінетики сорбції (адсорбції або адсорбції) та набрякання текстильних матеріалів (як представників ККПТ) має сенс лише на макрорівні. Макроскопічний опис не передбачає врахування перебудови самої поверхні ККПТ, яка взаємодіє з вологою навколишнього середовища.

Наведені в табл. 1 результати визначення структурно-сорбційних характеристик ККПТ та їхньої поверхневої фрактальної розмірності дозволяють доповнити макрорівневий опис процесів адсорбції-десорбції ККПТ мікрорівневим описом цього процесу. Цей опис враховує перебудову самої поверхні ККПТ, яка взаємодіє з вологою навколишнього середовища.

Аналіз ізотерм адсорбції – десорбції ККПТ (мікрорівневий розгляд) показує, що ККПТ типу А властиве низьке значення адсорбції у початковій області ( $P/P_s = 0 \dots 0,35$ ) і слабо виражена петля гістерезису внаслідок капілярної

конденсації. Для активованого кислотною обробкою зразка ККПТ типу А спостерігається більш крутий підйом ізотерми адсорбції у початковій області завдяки більшій поверхні кислотного-активованого тіла (ККПТ).

Для ККПТ типу Б кислотна активація призводить до незначних змін ізотерми адсорбції порівняно з неактивованим ККПТ цього типу.

Більші величини адсорбції води характерні для ККПТ типу В з більшим середнім радіусом пор.

Кислотна обробка ККПТ типів А, Б, та В призводить до зменшення об'єму мікропор поверхні тіла та утворення питомої поверхні більшого розміру.

При кислотній активації ККПТ типу А фрактальна розмірність поверхні зменшується, а у ККПТ типів Б та В – зростає. Це можна частково пояснити різними способами формування ККПТ та їхнім хімічним складом.

Фрактальні агрегати завдяки кислотній активації ККПТ всіх типів різко змінюють свою форму.

Отже, кислотна обробка ККПТ типів А та Б призводить до зростання питомої поверхні та збільшення розмірів частинок матеріалу при незначній зміні пор. Фрактальна розмірність



ККПТ типу А при кислотній обробці зменшується з 2,52 до 2,44, а ККПТ типу Б зростає з 2,48 до 2,61. У ККПТ типу В при вказаній обробці фрактальна розмірність поверхні теж зростає від 2,50 до 2,65. Ці дані свідчать про різні механізми агрегації ККПТ при коагуляції та осадженні частинок матеріалів у воді.

**3. Просторово – часовий хаос у процесі утворення твердої фази ККПТ.** Розглянемо динаміку утворення квазітвердої фази речовини ККПТ. Перехід від квазірідкого (квазігазоподібного) стану речовини ККПТ до квазітвердої фази є процесом самоорганізації. Для дослідження його динаміки може бути використаний відомий у теорії нелінійних систем метод Такенса [5].

Речовина ККПТ при квазітвердінні змінює свої властивості в часі та неоднорідно розподіляється в просторі, тобто є просторово-часовою системою. Для реконструкції її динаміки необхідно відновити часову еволюцію за допомогою методу Такенса в різних точках структури матеріалу ККПТ. Такий підхід можливий, але несумісний із сучасним обчислювальними потужностями. Більш перспективним є отримання інформації про динаміку росту з характеристик структури матеріалу ККПТ.

Доведена можливість реконструкції просторового розподілу миттєвих знімків просторово-часової системи за допомогою методів, розроблених для відновлення часової еволюції. «Миттєвим знімком» процесів квазітвердіння ККПТ є поверхня матеріалу. Фрактальну розмірність  $D_s$  поверхонь ККПТ, арсеніду галію, вуглецю, аморфною кремнію, вольфраму та інших матеріалів виміряно за профілем поверхні, яка була отримана за допомогою тунельного мікроскопа [9]. Висота профілю відраховувалася від деякого рівня, прийнятого за нульовий. Вона вимірювалася через дискретні відстані у 15...20 тисячах точок.

Для обробки даних використовувався алгоритм Грассбергера-Прокаччіо. Було встановлено, що для всіх поверхонь значення  $D_s$  лежить в інтервалі від 2 до 3 і має дробову частину. Аналогічні значення  $D_s$  були виявлені у поверхонь різних матеріалів, досліджених методами адсорбції-десорбції, вторинної електронної мікроскопії, малокутового розсіювання, а також у структурі пористих, аморфних матеріалів [10-12] і ККПТ (рис. 3). Значення фрактальної розмірності ККПТ в межах  $2 < D_s < 3$  означає [13], що структура поверхні таких матеріалів може бути описана як «застиглий» низьковимірний хаос.

Аналогічно показникам Ляпунова, що ха-

рактеризують часову еволюцію системи  $\lambda_t$ , для структури поверхні введено поняття про просторові показники Ляпунова  $\lambda_r$ , для ККПТ. Вони можуть бути визначені за допомогою методів вимірювання  $\lambda_t$ , ККПТ шляхом прямої заміни часу на відстань.  $\lambda_r$ , та  $\lambda_t$  характеризують стійкість просторово-часової системи матеріалу. Додатні значення  $\lambda_t$  визначають швидкість розбігання близьких траєкторій системи у фазовому просторі й обчислюються за формулою:

$$\lambda_t = A/t_c, \quad (6)$$

де  $A$  – константа;  $t_c$  – час кореляції, с, за котрий система втрачає інформацію про свій початковий стан. За аналогією можна припустити, що  $\lambda_r$  характеризує просторові кореляції та визначається як:

$$\lambda_r = B/\ell_c, \quad (7)$$

де  $B$  – константа;  $\ell_c$  – довжина кореляції, тобто відстань між двома областями структури речовини ККПТ, на якій взаємна інформація між областями стає рівною нулю. З позицій термодинаміки показники  $\lambda$  визначають степінь невірноваженості структури речовини ККПТ. Значення  $\ell_c$ ,  $m$ , та  $t_c$ ,  $s$ , визначаються за формулами:

$$\ell_c = \rho_t / (2 \rho_s), \text{ м}; \quad (8)$$

$$t_c = \rho_r / (2 \rho_s), \text{ с}; \quad (9)$$

де  $\rho_t$  та  $\rho_r$  – густина часової та просторової розмірності;  $\rho_s$  – густина звичайної ентропії. З іншого боку

$$\rho_t / \rho_r = V_i, \text{ м/с}; \quad (10)$$

де  $V_i$  – швидкість розповсюдження інформації в середовищі ККПТ. З урахуванням формул (8) та (9) вираз (10) приймає вид:

$$\ell_c / t_c = V_i. \quad (11)$$

У процесах квазітвердіння ККПТ (тіло інтенсивно позбавляється вологи) носіями інформації є атоми речовини, які надходять на поверхню тіла під час його росту. Тому швидкість  $V_i$ , еквівалентна швидкості утворення твердої фази або твердого стану  $V_g$ , а вираз (11) можна записати наступним чином:

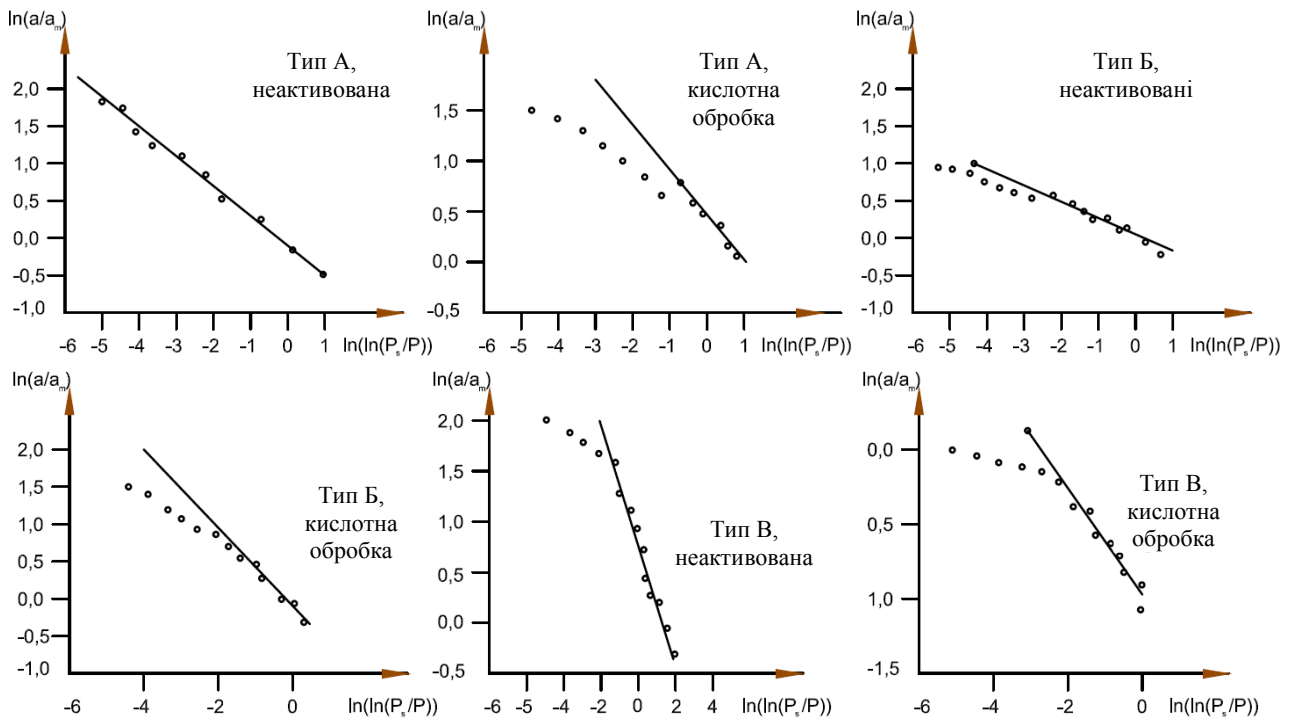


Рис. 3. Залежність  $\ln(a/a_m)$  від  $\ln(\ln p_s/p)$  для ККПТ

$$\ell_c / t_c = V_g, \quad (12)$$

Підставляємо у (12) вирази для  $\ell_c$ ,  $m$ , та  $t_c$ ,  $c$ , за формулами (6) та (7). Отримаємо:

$$\lambda_t / \lambda_r = c V_g. \quad (13)$$

де  $c = A/B$  – константа. Зрозуміло, що константа  $c$  та швидкість  $V_g$ , м/с, – додатні величини. Тому з виразу (13) випливає, що якщо існує  $\lambda_r > 0$ , тоді існує й  $\lambda_t > 0$ . Іншими словами, якщо система хаотично розподілена в просторі, тоді в часі вона теж поводить себе нерегулярно. Для великих просторово-часткових систем, імовірно, справедливе і зворотнє твердження.

Оскільки структура поверхні матеріалів ККПТ є «застиглим» хаосом, тоді знайдеться хоча б один  $\lambda_r > 0$  [13]. Отже, існує принаймні один  $\lambda_t > 0$ , а динаміка утворення квазітвердої фази (твердотільного стану) ККПТ визначається просторово-часовим хаосом невеликої розмірності. Запропонований підхід дозволяє ідентифікувати динаміку процесів росту ККПТ за допомогою обробки методами нелінійної динаміки інформації про структуру матеріалу ККПТ, яка може бути отримана традиційними способами. Точне значення динаміки дозволить керувати процесами квазітвердіння й отримувати матеріал ККПТ із запланованими властивостями. Стосовно музейних експонатів це означає можливість уповільнення старіння і

запобігання деструкції шляхом правильного керування системами формування мікроклімату.

**4. Основні алгоритми обчислення розмірностей дивних атракторів за експериментальними даними.** Розглянемо проблеми, котрі виникають при спробі використати методи розв’язання оберненої задачі нелінійної динаміки для аналізу ККПТ при дослідженні їхніх властивостей у процесах тепломасообміну. Ці проблеми пов’язані з поганою збіжністю й слабкою стійкістю обчислювальних значень, а також з їхньою низькою статистичною достовірністю. Виникнення дивного атрактора можливе при аналізі часових рядів, що характеризують температурно-вологісні зміни в процесах тепломасообміну ККПТ, методами нелінійної динаміки та нелінійного динамічного хаосу. Нижче запропонований спосіб статистичної оцінки розмірностей, заснований на методах багатовимірного імітаційного регулювання.

У останні роки одним з розповсюджених методів аналізу динамічної поведінки фізико-хімічних й фізико-механічних систем на основі експериментальних даних (ККПТ у процесах тепломасообміну є одним з видів таких систем) стала перевірка гіпотези про можливе існування в цих системах просторово-обмежених множин, які притягують (атракторів) й оцінка їхніх розмірностей (обернена задача теорії динамічних систем). Зараз цей підхід застосовує-



ться у найрізноманітніших областях, серед яких дослідження складних фізіологічних процесів. Отримуване значення розмірності, як правило, може слугувати своєрідною відправною точкою для подальшого, більш детального вивчення динамічних властивостей системи. Якщо розглядається фізико-хімічний та фізико-механічний стан ККПТ, це значення розмірності стає діагностичний інструментом цього стану ККПТ.

Разом з тим, реалізація цієї програми має суттєві проблеми методичного характеру, котрі часто не висвітлюються в літературі. Мова йде про математичну достовірність обчислювальних значень й, відповідно, про правомірність висновків, котрі на них засновані. Запропоновані на даний час алгоритми визначення розмірності дивних атракторів за експериментальними даними не завжди дають гарну збіжність послідовності обчислюваних значень. Залишаються відкритими питання щодо статистичної оцінки отримуваних величин. У роботі [25] розглянуті деякі проблеми, що виникають при дослідженні динамічної поведінки складних систем. Обговорюються варіанти більш коректного підходу до оцінки отримуваних значень розмірності.

Розглянемо методи розв'язку зворотної задачі теорії динамічних систем. Основне припущення методів розв'язку оберненої задачі, полягає в тому, що у дисипативних динамічних системах, розмірність фазового простору яких  $n \geq 3$ , можуть існувати множини, що притягують, які не є підмножинами різноманітних множин і не зводяться до об'єднання скінченного їхнього числа [26]. Для характеристики цих об'єктів, що отримали назву дивних атракторів, уведене поняття розмірності. Фактично, розмірність атрактора визначає кількість інформації, необхідної для задання стану системи в межах вказаної точності. Складність геометричної структури дивних атракторів призводить до того, що їхні розмірності виражаються дробовими величинами.

Як правило, в експерименті реєструється така характеристика досліджуваної системи, котра є складною сукупністю її «внутрішніх» змінних. Згідно з теоремою Такенса [5], розмірність наявного в системі атрактора може бути обчислена за одновимірним сигналом, який генерується динамічною системою. Для практичної реалізації цієї ідеї вихідний одновимірний часовий ряд  $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ ,  $(y_2, y_3, y_4, \dots, y_{m+1})$ , ..., розглядається як проекція на одну координатну вісь  $m$  – вимірної фазової траєкторії, що лежить на атракторі. Інакше ка-

жучи, вихідний ряд можна інтегрувати як послідовність  $m$  – вимірних векторів  $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ ,  $(y_2, y_3, y_4, \dots, y_{m+1})$ , ..., котрі визначають траєкторію на атракторі. Розмірність реконструйованого таким чином псевдофазового простору  $m$  називається розмірністю простору вкладення й повинна задовольняти умові:

$$2d + 1 \leq m, \quad (14)$$

де  $d$  – кореляційна розмірність. На цій основі були запропоновані два основних алгоритми обчислення розмірності, які прийнятні до одновимірних записів.

Кореляційна розмірність запропонована Грассербергом та Прокаччіо [16] й визначається наступним чином:

$$d_2 = \lim_{r \rightarrow 0} (\log C(r) / \log r), \quad (15)$$

де  $C(r)$  – кореляційний інтеграл:

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N \theta(r - |\vec{X}_i - \vec{X}_j|) \right); \quad (16)$$

$\theta(x)$  – функція Хевісайда; логарифм  $\log$ , зазвичай, приймається натуральним ( $\log \equiv \ln$ ). Кореляційний інтеграл  $C(r)$  може бути тлумачений як середнє число пар точок, відстань між котрими не перевищує  $r$ . Обчислювальна процедура полягає у визначенні нахилу дотичної до кривої залежності  $\log C(r)$  від  $\log r$  (рис. 4а). Також вводиться поняття поточної розмірності. У термінах кореляційної розмірності початкова розмірність  $d_{2i}$  виражається через результат додавання значень кореляційного інтегралу (16) відносно однієї фіксованої точки відліку (вектор  $\vec{X}_i$ ):

$$C(r, \vec{X}_i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N \theta(r - |\vec{X}_i - \vec{X}_j|) \right), \quad (17)$$

$$d_{2i} = \lim_{r \rightarrow 0} (\log C(r, \vec{X}_i) / \log r) \quad (18)$$

Розмірність (18) характеризує швидкість зростання щільності точок при віддаленні від отриманої точки відліку впродовж сферичної координати  $r$ . Для рівномірного розподілу точок значення  $d_{0,i}$ , вочевидь, не залежить від  $i$  та збігається з  $d_2$ . Припускається, що  $d_2$  може слугувати оцінкою граничного значення  $d_{2i}$ .

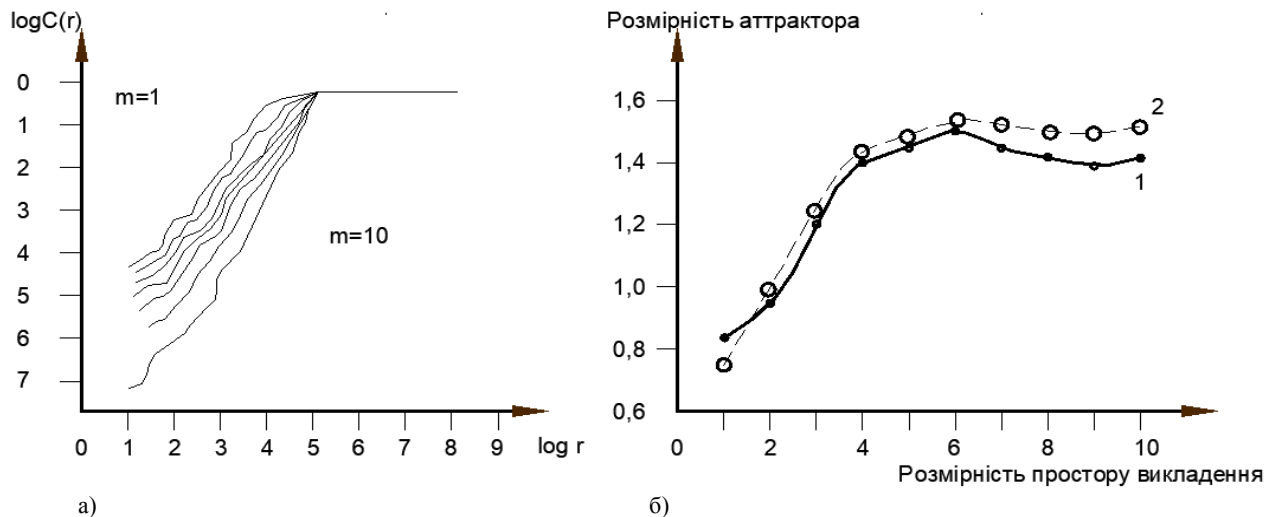


Рис. 4. Обчислення розмірності атрактора Лоренца:

а – залежність кореляційного інтеграла від відстані між векторами у логарифмічних координатах для різних значень  $m$  (алгоритм Грассберга – Прокаччіо); б – зміна тангенсу кута нахилу лінійних ділянок на логарифмічній залежності кореляційного інтеграла від розмірності простору вкладення (1 – алгоритм Грассберга – Прокаччіо ( $d_2$ ); 2 – алгоритм Скіннера ( $d_{2p}$ )).

Поточково-кореляційна розмірність ( $d_{2p}$ ) була запропонована Скіннером. Для покращення стійкості алгоритму в сумі (17) зберігаються тільки ті вектори, для котрих має місце збіжність обчислюваних значень і спостерігається лінійна залежність  $\log C(r, \vec{X}_i)$  від  $\log r$ .

У практичній діяльності процедура визначення розмірності за експериментальним часовим рядом (для ККПТ у т.ч.) має наступні стадії: перетворення вихідного запису у послідовність  $m$ -вимірних векторів; обчислення всіх можливих відстаней між цими векторами, які входять у праві частини формул (16) і (17); ранжування множини отриманих відстаней і побудова залежності  $C(r)$  або  $C(r, \vec{X}_i)$  у логарифмічних координатах; визначення лінійної ділянки отриманої залежності; обчислення тангенсу кута нахилу виділеної лінійної ділянки до вісі абсцис методом найменших квадратів (МНК). Отримане значення й буде розмірністю атрактора. Дані кроки відповідно до теореми Такенса повторюються для розмірності простору вкладень  $m$ , що послідовно зростає, до тих пір, поки не буде виконана умова (14).

Наведені алгоритми обчислення розмірності дають значення, близькі до теоретичних, при обробці модельних часових рядів (наприклад, згенерованих для атрактора Лоренца). У той же час їхні можливості виявляються обмеженими, коли мова йде про аналіз експериментальних даних, особливо тих, що стосуються ККПТ.

Основною проблемою у таких випадках є неоднозначність положення лінійної ділянки залежності (15) або (18) у логарифмічних координатах й обумовлені цим складнощі авто-

матичного (невізуального) обчислення розмірності.

Характерна ситуація, що стосується модельного ряду, подана на рис. 4а. Для обчислення розмірності використовується ряд, генерований системою з атрактором, наприклад, атрактором Лоренца. Як видно з рисунку, виділення лінійної ділянки у цьому випадку не викликає особливих труднощів, що дозволяє використати евристичні алгоритми знаходження таких ділянок з високим ступенем достовірності. Рис. 4б ілюструє результати обчислення кореляційної розмірності за алгоритмами Грассберга-Прокаччіо та Скіннера. Для модельних рядів практично завжди спостерігається гарна збіжність алгоритмів й виконується нерівність (14).

Справа суттєво ускладнюється при обробці реальних даних експериментів. Один з типових (але не єдиний) видів залежності кореляційного інтеграла від  $\log r$ , показаний на рис. 5. Видно, що у даному випадку не існує однозначно виділеної лінійної ділянки кривої, за якою повинно проводитись обчислення розмірності.

Наявність подібних залежностей робить актуальною задачу модифікації запропонованих алгоритмів обчислення розмірності (особливо у зв'язку необхідності автоматичної обробки великих масивів даних) а також застосування способів статистичної оцінки отриманих значень, відмінних від тих, що надає метод найменших квадратів (МНК). Однією з основних причин таких складних залежностей  $\log C(r)$  від  $\log r$  можна вважати нестаціонарність генератора, який визначає динаміку системи, що вивчається.

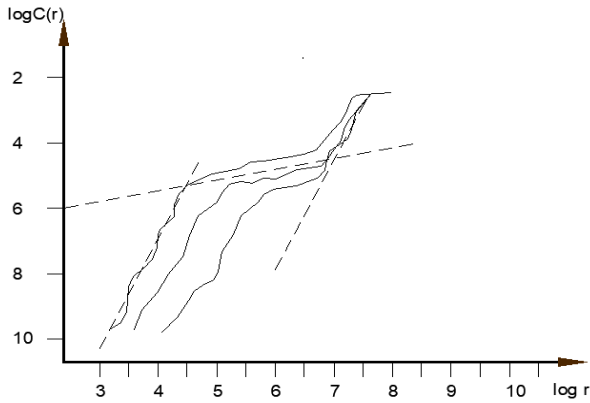


Рис. 5. Характер залежності кореляційного інтегралу від відстані між векторами в логарифмічних координатах (для трьох послідовних значень розмірності простору викладення). Можливі положення лінійної ділянки залежності кореляційної ділянки  $\log r$  показані пунктиром.

Для достовірного обчислення кореляційної розмірності, традиційні алгоритми вимагають використання часових рядів завдовжки біля  $10^{d/2}$  точок, де  $d$  – очікувана розмірність атрактора.

Зазвичай,  $d$  лежить у діапазоні від 6 до 8, тобто необхідно використати ряди, у яких присутні  $10^3 \dots 10^4$  інтервалів, а це у свою чергу відповідає 1...3 годинам неперервного запису контрольованого параметра (наприклад, зміни вологовмісту в матеріалі музейного експоната). Однак, настільки тривалий період неминуче захоплює кілька станів системи, а ця нестаціонарність призводить до виникнення складних залежностей  $\log C(r)$  від  $\log r$ .

При визначенні розмірності атрактора, що характеризує динаміку системи, неоднозначність отриманих результатів пов'язана й з самою процедурою кількісної обробки вихідних даних. Процес обчислення розмірності у даному випадку передбачає кілька стадій. З записаного й оцифрованого сигналу виділяються піки для обчислення розмірності. У процесі виділення піків проводиться цензурування даних для вилучення артефактів, які можуть бути отримані у процесі запису.

Значний вплив на збіжність величин розмірності й виконання вимог теореми Такенса справляє шум, неминуче присутній в експериментальних даних. Його ідентифікація й наступна фільтрація – це окрема складна задача обробки даних. Застосування вузькосмугових фільтрів може призвести до погіршення збіжності значень розмірності атрактора при збільшенні розмірності простору вкладення, який підлягає реконструкції. Спроба ігнорувати деякі дані, що мають «зовнішнє» походження, за допомогою фільтрів може внести додаткові

похибки в результати обробки часових рядів.

Описані вище складності визначення розмірності атракторів, наявних у процесах тепломасообміну ККПТ, вимагають більш ретельного підходу до методів оцінки похибок отримуваних значень. Не дивлячись на велике число досліджень, які проводяться з цього приводу, усталеного способу визначення похибок обчислювальних величин не існує. Більшість дослідників при визначенні лінійної ділянки використовує похибки МНК, однак саме його виділення, як вказано вище, не завжди може бути проведене однозначно, що повинно бути враховано в алгоритмах обчислення похибок. Відсутність коректних методів статистичної оцінки достовірності отримуваних величин не дозволяє порівнювати результати, отримані для різних ККПТ, а значить, створює перепони щодо використання методів теорії динамічних систем задля побудови діагностичних критеріїв ККПТ.

**Методи імітаційного моделювання у оберненій задачі теорії динамічних систем.** Очевидний спосіб зменшення нестаціонарності реєстрованих сигналів зводиться до використання більш коротких записів. Як показано в попередньому розділі, скорочення довжини ряду погіршує достовірність отримуваних значень. Подібна ситуація носить назву проблеми малих вибірок. У 70...80-і роки ХХ ст. було запропоновано кілька методів її розв'язку, що відносяться до області імітаційного статистичного моделювання [27]. Широке розповсюдження серед них отримав метод будстрепа. Як відомо, у його основі лежить механізм випадкової генерації множини псевдокопій вихідної вибірки, котре ототожнюється з генеральною сукупністю, з якої ця вибірка була вилучена. Вказана множина потім використовується для проведення класичних процедур статистичної оцінки.

Не дивлячись на те, що змінні, які описують поведінку динамічної системи, не мають імовірнісної природи, їхні часові зміни у випадку складної динаміки характеризуються високим ступенем стохастичності. У даній роботі оминемо задачу коректного теоретико-імовірнісного обґрунтування можливості застосування методу будстрепа щодо обчислення розмірності дивного атрактора за експериментальними даними (для ККПТ). Можна припустити, що цей алгоритм можна використовувати як евристичний алгоритм.

Пропонується будстреп-процедура шляхом

- генерації методом випадкового перемішування за вихідним часовим рядом кількох ти-

- сяч псевдокопій;
- обчислення розмірності за кожною псевдокопією;
- визначення середнього значення;
- його інтерквантильне оцінювання.

Використання алгоритму будстрепа дозволяє суттєво скоротити довжину вихідного ряду (до кількох сотень інтервалів) при одночасному підвищенні точності оцінки похибок (помилки) обчислювальних значень розмірності атрактора.

**Висновки.** Обґрунтована модель просторово-часової еволюції поверхневої фрактальної розмірності та хаосу в процесах утворення стану твердої фази колоїдних капілярно-пористих тіл (ККПТ), особливо під час інтенсивної десорбції вологи в матеріалах зазначених тіл. Визначена фрактальна розмірність поверхні ККПТ, що дозволяє в процесах адсорбції-

десорбції матеріалу музейних експонатів адекватно описувати наявні в тілах з пористою структурою гістерезисні явища та тепломасообмін при зміні відносної вологості повітряного середовища музейних приміщень. Для обчислення та адекватної оцінки розмірності дивного атрактора, що може виникати у часових рядах, котрі описують процеси тепломасообміну ККПТ, запропонований метод імітаційного моделювання, який використовується в аналізі дисипативних нелінійних динамічних систем – метод будстрепа. Запропоновані підходи можуть у подальшому слугувати для уточнення і вдосконалення наявних моделей опису процесів сорбції-десорбції (адсорбції-десорбції) у ККПТ під час тепломасообміну музейних експонатів з навколишнім повітряним середовищем та використовуватись у системах формування мікроклімату.

### Література

1. Van Danme H. Flow and Interfacial Instabilities in Newtonian and Colloidal Fluids / H. Van Damme. – The Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry: Surfaces, Colloids, Polymers. – Ed. by D. Avnir. – Jolin Wiley&Sons, 1990. P. 199-226. – ISBN 10: 0471917230, ISBN 13: 9780471917236
2. Chung-Kung Lee. Surface Fractal Dimensions of Alumina and Aluminium Borate from Nitrogen Isotherms / Chung-Kung Lee, Cherug-Shyan Tsay // The Journal of Physical Chemistry. – 1998. – Vol. 102. – P.4123-4130. <https://doi.org/10.1021/jp9803485>
3. Risovic D. On correlation of fractal dimension of marine particles with depth / D. Risovic // Journal of Colloid and Interface Science. – 1998. – Vol. 197. – P. 391-394. DOI: 10.1006/jcis.1997.5277
4. Паховчишин С. В. Колоїдно-хімічні та лікувальні властивості нанорозмірних систем глинистих мінералів / С. В. Паховчишин, В. А. Прокопенко, В. Ф. Гриценко та ін. // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2004. – Т. 2. – №3. – С. 1069-1074.
5. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence / F. Takens. – Dynamical Systems and Turbulence, Warwick 1980. – P. 366–381. doi:10.1007/bfb0091924
6. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Высшая школа, 1967. – 599 с.
7. Луцьк Р. В. Тепломасообмен при обработке текстильных материалов / Р. В. Луцьк, Э. С. Малкин, И. И. Ааржи. – Киев: Наукова думка, 1993. – 344 с.
8. Ребиндер П. А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки и улучшения качества материалов / П. А. Ребиндер. – Москва: Профиздат, 1958. – 14 с.
9. Боярин Н. В. Пространственно-временной хаос в процессе образования твердотельного состояния / Н. В. Боярин, С. П. Вихров // Письма в журнал технической физики. – 1997. – Т.23. – №19. – С. 77-80.
10. Иванова В. С. Синергетика и фракталы в материаловедении / В. С. Иванова, А. С. Баланкин, И. Ж. Бунин. – Москва: Наука, 1994.
11. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – Москва : Мир, 1991. – 298 с.
12. Паховчишин С. В. Фрактальні характеристики глауконіту, гідроліди та донних морських осадів / С. В. Паховчишин, А. В.Панько, Н. С. Пивоварова, О. М. Нікіпелова, О. К. Матковський, О. О. Ващенко // Наноструктурное материаловедение. – 2006. – №1. – С. 59-66.
13. Николис Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – Москва: Мир, 1990. – 342 с.
14. Барышников Б. В. Проблемы оценки размерностей странных аттракторов при анализе данных биофизических экспериментов / Б. В. Барышников, П. С. Иванов // Биофизика. – 2000. – Т.45. – Вып. 3. – С. 520 – 524.
15. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах: Механизм возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиотехнических системах / Анищенко В. С. – Москва: Наука, 1990.
16. Grassberger P. Characterization of Strange Attractors / Grassberger P., Procaccia I. // Physical Review Letters. – 1983. – Vol. 50. – P. 346 – 349.
17. Эфрон Б. Методы многомерного непараметрического статистического оценивания / Эфрон Б. – Москва: Финансы и статистика, 1988.
18. Крестьева И. Б. Фрактальная самоорганизация в популяциях бактерий Escherichia Coli: Экспериментальное исследование / И. Б. Крестьева, М. А. Цыганов, Г. А. Асланди, А. Б. Медвинский, Г. Р. Иваницкий // Доклады Академии Наук (Россия). – 1996. – Т. 351. – № 3. – С. 406-409.



19. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Москва; Ленинград: Энергоиздат, 1963. – 417 с.
20. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии / Подред. А. В. Киселева, В. М. Дрявина. – Москва: Изд – во МГУ, 1973. – 447 с.
21. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – Москва: Лир, 1984. – 306 с.
22. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров / С. Брунауэр. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1948. – 352 с.
23. Еремкин А. И. Разработка локальных систем технологического кондиционирования воздуха для шерстяных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Еремкин. – Ленинград, 1979. – 23 с.
24. Корнюхин И.П. Условия сорбционного равновесия и их анализ / Корнюхин И.П. // Инженерно -физический журнал. – 1979. – Т.37. – Вып. 3. – С. 456-464.
25. Барышников Б. В. Проблемы оценки размерностей странных аттракторов при анализе данных биофизических экспериментов / Б. В. Барышников, П. С. Иванов // Биофизика. – 2000. – Т. 45. – Вып. 3. – С. 520- 524.
26. Анищенко В. С. Сложные колебания в простых системах: механизм возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиотехнических системах / В. С. Анищенко. – Москва: Наука, 1990.
27. Эфрон Б. Методы многомерного непараметрического статистического оценивания / Б. Эфрон. – Москва: Финансы и статистика, 1988.

### References

1. Van Danne H. “Flow and Interfacial Instabilities in Newtonian and Colloidal Fluids.” *The Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry: Surfaces, Colloids, Polymers*. Ed. by D. Avnir. 1989. Jolin Wiley&Sons. P. 199-226. ISBN 10: 0471917230, ISBN 13: 9780471917236
2. Chung-Kung Lee, Cherug-Shyan Tsay. “Surface Fractal Dimensions of Alumina and Aluminium Borate from Nitrogen Isotherms.” *The Journal of Physical Chemistry*. 1998. Vol. 102. P. 4123-4130. <https://doi.org/10.1021/jp9803485>
3. Risovic D. “On correlation of fractal dimension of marine particles with depth.” *Journal of Colloid and Interface Science*. 1998. Vol. 197. P. 391-394. <https://doi.org/10.1006/jcis.1997.5277>
4. Pakhovchyn S. V., Prokopenko V. A., Hrytsenko V. F. et al. “Koloidno-khimichni ta likuvalni vlastyvyosti nanorozmimnykh system hlynistykh mineraliv.” *Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnologii*. 2004. T. 2. №3. P. 1069-1074.
5. Takens F. “Detecting strange attractors in turbulence.” *Dynamical Systems and Turbulence*, Warwick 1980. P. 366–381. <https://doi.org/10.1007/bfb0091924>
6. Lykov A. V. *Teoriia teplomasoprovodnosti*. Vysshiaia shkola, 1967.
7. Lutsyk R. V., Malkin E. S., Aarzi Y. Y. *Teplomassoobmen pri obrabotke tekstylnykh materialov*. Naukova dumka, 1993. 344 с.
8. Rebinder P. A. *O formakh svyazi vlagi s materialom v protsesse sushki i uluchsheniia kachestva materialov*. Profizdat, 1958.
9. Boiarin N. V., Vikhrov S. P. “Prostarnstvenno-vremennoi khaos v protsesse obrazovaniia tverdotelnogo sostoiianiia.” *Pisma v zhurnal tekhnicheskoi fizyki*. 1997. T.23. №19. P. 77-80.
10. Ivanova V. S., Balankin A. S., Bunin Y. Zh. *Sinergetika i fraktaly v materialovedeni*. Nauka, 1994.
11. Feder E. *Fraktaly*. Mir, 1991. 298 p.
12. Pakhovchyn S. V., Panko A. V., Pyvovarova N. S., Nikipelova O. M., Matkovskiy O. K, Vashchenko O. O. “Fraktalni kharakterystyky hlaukonitu, hidrosliudy ta donnykh morskykh osadiv.” *Nanostrukturnoe materialovedenie*. 2006. №1. P. 59-66.
13. Nikolis H., Prigozhin Y. *Poznanie slozhnogo*. Myr, 1990. 342 с.
14. Baryzhnikov B. V., Ivanov P. S. “Problemy otsenki razmernosti strannykh attraktorov pri analize dannykh biofizicheskikh eksperimentov.” *Biofizika*. 2000. T.45. Vyp. 3. P. 520 – 524.
15. Anishchenko V. S. *Slozhnye kolebaniia v prostykh sistemakh: Mekhanizm vozniknoveniia, struktura i svoistva dinamicheskogo khaosa v radiotekhnicheskikh sistemakh*. Nauka, 1990.
16. Grassberger P., Procaccia I. “Characterization of Strange Attractors.” *Physical Review Letters*. 1983. Vol. 50. P. 346-349.
17. Efron B. *Metody mnogomernogo neparametricheskogo statisticheskogo otsenivaniia*. Finansy i statistika, 1988.
18. Kreteva I. B., Tsyganov M. A., Aslandi G. A, Medvinskii A. B., Ivanitskii G. R. “Fraktalnaia samoorganizatsiia v populatsiiah bakterii Escherichia Coli: Eksperimentalnoe issledovanie.” *Doklady Akademii Nauk (Rossiia)*. 1996. T. 351. № 3. P. 406-409.
19. Lykov A. V. *Teoriia sushki*. Energoizdat, 1963. – 417 с.
20. *Ekspierimetalnyie metody v adsorbtsii i molekuliarnoi hromatografii*. Pod red. A. V. Kiseleva, V. M. Driavina. Izd – vo MGU, 1973. 447 с.
21. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiia, udelnaia poverkhnost, poristost*. Lir, 1984. 306 с.
22. Brunauer S. *Adsorbtsiia gazov i parov*. Izdatelstvo inostrannoii literatury, 1948. 352 с.
23. Eremkin A. I. *Razrabotka lokalnykh sistem tekhnologicheskogo konditsionirovaniia vozduha dlia sherstepriadilnykh predpriyatii*. Diss. Abstract. Leningrad, 1979.

24. Kornukhin I. P. "Usloviia sorbtionnogo ravnovesiia i ikh analiz." *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal*. 1979. T.37. Вып. 3. P. 456-464.
25. Baryshnikov B. V., Ivanov P. S. "Problemy otsenki razmernosti strannykh attraktorov pri analize dannykh biofizicheskikh eksperimentov." *Biofizika*. 2000. T. 45. Вып. 3. С. 520- 524.
26. Anishchenko V. S. *Slozhnyie kolebaniia v prostykh sistemakh: mekhanizm vozhniknoveniia, struktura i svoistva dinamicheskogo khaosa v radiotekhnicheskikh sistemakh*. Nauka, 1990.
27. Efron B. *Metody mnogomernogo neparametricheskogo statisticheskogo otsenivaniia*. Finansy i statistika, 1988.

УДК 546.185

## Метод анализа изотерм, поверхностной фрактальной размерности и динамического хаоса при влагообмене коллоидных капиллярно-пористых музейных экспонатов при переменных условиях микроклимата

Ю. В. Човнюк<sup>1</sup>, В. Б. Довгалиук<sup>2</sup>, В. Т. Кравчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, ychovnyuk@ukr.net

<sup>2</sup>к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 2280170@ukr.net,

ORCID: 0000-0002-4836-5354

<sup>3</sup>к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, vtk1@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5213-3644

*Аннотация. На основе изотерм сорбции-десорбции коллоидных капиллярно-пористых тел (ККПТ) рассчитана их поверхностная фрактальная размерность и исследованы её пространственно-временные изменения. Рассмотрены физико-химические и реологические свойства коллоидных водных дисперсий в указанных телах на базе фрактальной геотермии исходя из представлений о механизмах физико-химических и физико-механических процессов в этих системах. Это описание более полное по сравнению с описанием, использующим только реологические данные. Подтверждено, что квазитвёрдые агрегаты, образованные в процессах коагуляции при формировании структурной квазирешётки ККПТ, имеют фрактальную структуру, размерность которой связана с особенностями межчастичного взаимодействия в природных системах. В литературе мало внимания уделено свойствам поверхности ККПТ с точки зрения фрактальной геометрии. Рассмотрена также динамика образования в указанных телах квазитвёрдой фазы вещества. Установлено наличие стадии малоразмерного пространственно-частичного хаоса в процессах квазитвердения. Предложена идея восстановления динамики роста по структуре ККПТ. Показано, что переход от квазизидкого состояния вещества в квазитвёрдую фазу является процессом самоорганизации. Для исследования его динамики, а также для оценки размерностей странных аттракторов при анализе данных физико-химических и физико-механических экспериментов с ККПТ использованы известные в теории механических систем: метод Такенса, алгоритм вычисления размерности вещества (Грассбергера-Прокаччио, Скиннера) и метод бутстрепа Хинкли. Последний относится к известным методам имитационного моделирования обратной задачи теории динамических систем.*

*Ключевые слова: пространственно-временная эволюция, поверхностная фрактальная размерность, динамический хаос, твёрдая фаза, коллоидное капиллярно-пористое тело, странный аттрактор, теория динамических систем, метод бутстрепа.*

UDC 546.185

## A Method for the Analysis of Isotherms, Surface Fractal Dimension and Dynamic Chaos of Moisture Exchange in Colloidal Capillary-Porous Museum Exhibits at Changeable Microclimate Conditions

Yu. V. Chovniuk<sup>1</sup>, V. B. Dovhaliuk<sup>2</sup>, V. T. Kravchuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD, professor. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ychovnyuk@ukr.net

<sup>2</sup>Ph.D., Professor. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine, 2280170@ukr.net,

ORCID: 0000-0002-4836-5354

<sup>3</sup>к.т.н., проф. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine, vtk1@ukr.net

*Abstract. On the basis of sorption-desorption isotherms in colloidal capillary-porous bodies (CCPT), their surface fractal dimension was calculated and its spatial-temporal changes were investigated. The physic-chemical and rheological properties of colloidal aqueous dispersions in these bodies are considered, based on fractal geometry and the ideas of the mechanisms of physic-chemical and physic-mechanical processes in these systems. This description is more complete than a*



*description that uses only rheological data. It has been confirmed that quasi-solid aggregates formed in the coagulation processes during the formation of a structural quasi-lattice of CCPTs have a fractal structure whose dimension is related to the peculiarities of interparticle interaction in natural systems. In the literature, little attention has been paid to the properties of the CCPT surface in terms of the fractal geometry. The dynamics of formation of solids in these bodies is also considered. The presence of a stage of low-dimensional spatial-partial chaos in the processes was established. The idea of restoring the dynamics of growth in the structure of the CCPT is discussed. The transition from a quasiliquid state to a quasisolid phase has been shown as a process of self-organization. To study its dynamics, as well as to evaluate the dimensions of strange attractors in the analysis of data of physic-chemical and physic-mechanical experiments with CCPT there are known methods in the theory of mechanical systems: the Takens method, the algorithm for calculating the dimensionality of matter (Grasberger-Proccaccio, Skinner). The last one refers to known methods of simulation modeling in the inverse problem of the theory of dynamical systems.*

*Keywords: spatial - temporal evolution, surface fractal dimension, dynamic chaos, processes, solid phase, colloidal capillary - porous bodies, strange attractor, self - organization, inverse problem of dynamic systems theory, simulation modeling, bootstrap method.*

Надійшла до редакції / Received 12.09.2018

УДК 533.1:620.93:658.56

## Модель багатофакторної оцінки якості природного газу

К.М.Предун<sup>1</sup>, Ю.Й.Франчук<sup>2</sup>, О.І.Ободянська<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., професор. Київський національний університет будівництва і архітектури. м. Київ, Україна. 31172@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup>асистент. Київський національний університет будівництва і архітектури. м. Київ, Україна. franchuk196405@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-7910-8705.

<sup>3</sup>к.т.н., ст. викладач. Вінницький національний технічний університет. м. Вінниця, Україна. olha.obodyanska@i.ua  
ORCID: 0000-0003-4464-3537

*Анотація. Природний газ відповідно до положень Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. попри суттєвий розвиток «зеленої» енергетики залишається основним енергоносієм у державі. У зв'язку з долученням до єдиного Європейського простору регулювання торгівлі природним газом в країні всі розрахунки за спожите паливо слід виконувати в одиницях енергії. Таким чином, визначальними постають питання щодо якості природного газу. Однією з особливостей системи газопостачання є значний ступінь невизначеності зміни великої кількості збурювальних факторів впливу і постійно мінливих параметрів її функціонування. Для оцінки якості газу доцільною є математична модель, яка базується на теорії нечіткої логіки. За результатами розгляду факторів, що характеризують фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу, якості його підготовки до транспортування та технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту, отримано нечітку множину для визначення якості палива. Відповідно до етапу дефазифікації за методом «центр ваги» нечіткій множині відповідає кількісна оцінка, що знаходиться в запропонованому діапазоні від одного до п'яти балів. Як приклад, для природного газу з граничними значеннями параметрів згідно з Кодексом газотранспортної системи якість оцінена в 3,1 бали. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника – якості природного газу – залежно від зміни кількісних та якісних факторів на шляху від родовища газу до споживача. Пропонована математична модель у комплексі для всіх рівнів та підрівнів дозволяє отримати прогнозовану оцінку впливу наведенних факторів на якість палива. При цьому отримане значення приймається за результатами віртуального експерименту, який ґрунтується на експертній базі знань.*

*Ключові слова: природний газ, фізико-хімічні властивості, якість газу, математична модель, матриця знань, лінгвістична змінна, нечітка логіка, функція належності*

**Вступ.** Природний газ в Україні є основним органічним паливом. Його частка в загальному первинному постачанні енергії становить майже 30 %. Відповідно до положень Енергетичної стратегії України на період до 2035 р [1] домінуюча роль природного газу залишиться і надалі. В умовах високих цін блакитного палива постають питання щодо якості природного газу та його обліку споживачами, а, відповідно, і розрахунків за спожиту енергію.

**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 показників природного газу встановленим вимогам, яка визначається його складом і фізичними властивостями. Вимоги щодо фізико-хімічних властивостей природного газу встановлені низкою нормативно-технічних документів [2].

Критерієм оцінки якості газу виступає теплота згоряння, визначена при стандартних умовах (температурі згоряння 25 °С, вимірюва-

ння – 20 °С і тиску 101,325 кПа). Зазвичай, в Україні [3] вона перевищує мінімальне значення 32,66 МДж/м<sup>3</sup> [2]. Лише на підставі цього робиться висновок про відповідність фізико-хімічних властивостей природного газу вимогам нормативних документів. Однак перелік різноманітних характеристик газу (вміст інгредієнтів, точка роси тощо) з граничними значеннями, які наведені, наприклад, в Кодексі газотранспортної системи [2], порівняно 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» [4] наша держава долучилася до єдиного простору регулювання торгівлі газом та взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час застосування Договору. Тобто, кількість спожитого природного газу повинна виражатися в одиницях енергії.

Варто зазначити, що інформація щодо фізико-хімічних властивостей газу, зокрема, теплоти згоряння, в Україні вже доводиться до кінцевого споживача в тій чи іншій формі – як до власника вузла комерційного обліку, так і до абонента житлового будинку. Наприклад, щомісяця по регіонах України публікується карта [3] із середньозваженими значеннями теплоти згоряння, що має різні значення залежно від магістрального газопроводу, родовища газу, технологічного режиму його підготовки до транспортування або конкретної країни-експортера газу.

Із виконаного аналізу наукових досліджень [5...8] і вимог чинних нормативно-технічних документів [2, 9] випливає, 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. У той же час, фізико-хімічні властивості газу, визначені у точках прийому-передачі, наприклад, на газорозподільних станціях (ГРС), можуть зазнавати змін при його транспортуванні газорозподільними мережами населеного пункту.

У роботі [10] розглянуто ієрархічну класифікацію факторів, які впливають на якість природного газу, та наведено лінгвістичні змінні, що описують якість природного газу на системному рівні. Представлено оцінкові терми відповідно до експертної оцінки для кожної з лінгвістичних змінних і виконано фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Якість природного газу знаходиться під впливом ряду збурювальних кількісних та якісних чинників зовнішнього і внутрішнього характеру. Теорія нечітких множин і оснований на ній логіка дозволяють описувати неточні категорії, уявлення і знання, оперувати ними і робити відповідні висновки. Наявність таких можливостей для формування моделей різноманітних об'єктів, процесів і явищ на якісному рівні визначає інтерес до організації інтелектуального управління на основі використання методів нечіткої логіки [11...13]. Однією із особливостей якості природного газу є великий ступінь невизначеності зміни великої кількості збурювальних факторів впливу і постійно мінливими параметрами функціонування системи теплогазопостачання.

**Формулювання цілей статті.** Розробка моделі інтегрованої оцінки якості природного газу з урахуванням невизначеностей для підви-

щення енергоефективності газозабезпечення споживачів і є метою даної роботи.

**Основна частина.** Нечіткі системи керування ефективно використовуються там, де об'єкт керування достатньо складний для його точного опису та існує дефіцит апріорної інформації про поведінку системи. Даним об'єктом керування є якість природного газу.

Нечіткі системи керування мають базу знань і елементи штучного інтелекту та можуть бути реалізовані спеціальними нечіткими контролерами, у яких нечіткі висновки виконуються шляхом обчислення характеристичних значень вихідної лінгвістичної змінної через характеристичні значення вхідних лінгвістичних змінних за логічними формулами, що використовують логічні операції „І” та „АБО” [14, 15].

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що встановлює зв'язок між факторами, які впливають на якість природного газу ( $A_{япг}$ ) з фізико-хімічними властивостями видобутого з родовища природного газу ( $X$ ), якістю підготовки (очищення) природного газу для транспортування ( $Y$ ) та технічними умовами експлуатації газорозподільної системи населеного пункту ( $Z$ ), виконується з використанням системи терм-множини:

$T(A_{япг}) = \langle \text{низька, нижче середнього, середня, вище середнього, висока} \rangle;$

$T(X) = \langle \text{низькі, нижче середніх, середні, вище середніх, високі} \rangle;$

$T(Y) = \langle \text{низька, нижче середнього, середня, вище середнього, висока} \rangle;$

$T(Z) = \langle \text{низькі, нижче середнього, середні, вище середнього, високі} \rangle.$

Лінгвістичну змінну  $A_{япг}$ , що характеризує якість природного газу на системному рівні, можна подати співвідношенням

$$A_{япг} = f(X; Y; Z), \quad (1)$$

де  $X$  – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу;  $Y$  – ЛЗ, що описує якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування;  $Z$  – ЛЗ, що описує технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту.

Нечітку матрицю знань з урахуванням уведених якісних термів для моделювання залежності (1) наведено в табл. 1.

Лінгвістичним висловлюванням, які наведені в табл. 1, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом:

Матриця знань для залежності (1)

ЯКЩО			ТО
Фізико-хімічні властивості видобутого з родовища природного газу (X)	Якість підготовки (очищення) природного газу для транспортування (Y)	Технічні умови експлуатації газорозподільної системи населеного пункту (Z)	Якість природного газу (A <sub>ЯПГ</sub> )
1	2	3	4
Низькі (Н)	Низька (Н)	Низькі (Н)	Низька (Н)
Низькі (Н)	Нижче середнього (нС)	Низькі (Н)	
Низькі (Н)	Низька (Н)	Нижче середнього (нС)	
Низькі (Н)	Середня (С)	Середні (С)	Нижче середнього (нС)
Нижче середніх (нС)	Нижче середнього (нС)	Нижче середнього (нС)	
Середні (С)	Низька (Н)	Нижче середнього (нС)	
Нижче середніх (нС)	Середня (С)	Середні (С)	Середня (С)
Середні (С)	Середня (С)	Середні (С)	
Середні (С)	Нижче середнього (нС)	Вище середнього (вС)	
Вище середніх (вС)	Вище середнього (вС)	Вище середнього (вС)	Вище середнього (вС)
Середні (С)	Вище середнього (вС)	Високі (В)	
Вище середніх (вС)	Висока (В)	Середні (С)	
Високі (В)	Висока (В)	Вище середнього(вС)	Висока (В)
Високі (В)	Вище середнього (вС)	Високі (В)	
Високі (В)	Висока (В)	Високі (В)	

$$\begin{aligned} \mu_H(A_{ЯПГ}) &= \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \\ &\vee \mu_H(X) \wedge \mu_{nC}(Y) \wedge \mu_H(Z) \vee \\ &\vee \mu_H(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{nC}(Z); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu_{nC}(A_{ЯПГ}) &= \mu_H(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \\ &\vee \mu_{nC}(X) \wedge \mu_{nC}(Y) \wedge \mu_{nC}(Z) \vee \\ &\vee C(X) \wedge \mu_H(Y) \wedge \mu_{nC}(Z); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(A_{ЯПГ}) &= \mu_{nC}(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \vee \\ &\vee \mu_C(X) \wedge \mu_C(Y) \wedge \mu_C(Z) \wedge \\ &\vee \mu_C(X) \wedge \mu_{nC}(Y) \wedge \mu_{vC}(Z); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_{vC}(A_{ЯПГ}) &= \mu_{vC}(X) \wedge \mu_{vC}(Y) \wedge \mu_{vC}(Z) \vee \\ &\vee \mu_C(X) \wedge \mu_{vC}(Y) \wedge \mu_B(Z) \vee \\ &\vee \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_C(Z); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_B(A_{ЯПГ}) &= \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_{vC}(Z) \vee \\ &\vee \mu_B(X) \wedge \mu_{vC}(Y) \wedge \mu_B(Z) \vee \\ &\vee \mu_B(X) \wedge \mu_B(Y) \wedge \mu_B(Z); \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином розробляються лінгвістичні висловлювання та відповідні системи нечітких логічних рівнянь для кожної змінної на всіх рівнях. Нечіткі логічні рівняння передбачають визначення значень функції належності  $\mu_T(u)$  всіх нечітких термів. Якщо вхідна змінна змінюється безперервно, то функції належності

не можуть бути використані. Вхідна змінна може приймати значення не тільки  $u_i$  ( $i = \overline{1, 5}$ ), але й проміжні. Використання лінійної інтерполяції дозволяє знехтувати цим обмеженням. Якщо відомо, що  $\mu_T(u) = \mu_i$  та  $\mu_T(u_{i+1}) = \mu_{i+1}$ , то значення  $\mu_T(u^*)$ , де  $u^* \in (U_i, U_{i+1})$ , знаходиться зі співвідношення [15]:

$$\begin{aligned} \mu_T(u^*) &= [u^*(\mu_{i+1} - \mu_i) + \mu_i(u_{i+1} - u_i) - \\ &- u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)] / (u_{i+1} - u_i). \end{aligned} \quad (7)$$

Аналіз змінних (X, Y, Z) тільки на дискретній універсальній множині не передбачає врахування випадків, коли на якість природного газу впливають змішані фактори. З метою уникнення цього обмеження задаємо область визначення змінної як умовний інтервал, на якому для кожного елемента множини передбачені відповідні значення.

Функції належності та формула (7) дозволяють знайти аналітичні моделі функції належності оцінок вхідних змінних для всіх термів, які описуються системою рівнянь виду

$$\mu_T(u) = \frac{au^* + b}{c}, \quad (8)$$

де  $a = \mu_{i+1} - \mu_i$ ;  $b = \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)$ ;  $c = u_{i+1} - u_i$ .

Щоб отримати кількісні оцінки з отриманих нечітких множин потрібно виконати процедуру дефазифікації, тобто перетворення

нечіткої інформації в чіткий вигляд. Серед різних методів дефазифікації найбільш поширеним є знаходження «центра маси» плоскої фігури, яка обмежена горизонтальною координатою та функцією належності нечіткої множини. Нечіткий логічний висновок разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника (якості природного газу) при варіації факторів впливу.

Кількісну оцінку якості природного газу  $C_R^*$  при заданих значеннях факторів впливу отримано в процесі дефазифікації нечітких множин, яку виконано за допомогою методу «центра маси» [13...15]:

$$C_R^* = (X^*, Y^*, Z^*, W^*, P^*, S^*) = \frac{\sum_{i=1}^{\ell} A_{япг}^{d_i} \cdot \mu_{d_i}(A_{япг})}{\sum_{i=1}^{\ell} \mu_{d_i}(A_{япг})}, \quad (9)$$

де  $\ell$  – кількість нечітких термів для оцінки змінної  $C_R$ ;  $d_i$  – назва  $i$ -го терму,  $i = \overline{1, \ell}$ ;  $\mu_{d_i}(A_{япг})$  – ступінь належності  $A_{япг}$  до терму  $d_i$ .

Аналітичні формули (2-6) та значення функцій належності змінних  $X, Y, Z$  (табл. 2) дають значення функцій належності терм-оцінок змінної  $A_{япг}$

$$\begin{aligned} \mu_H(A_{япг}) &= 0,723 \cdot 0,855 \cdot 1 \vee \\ & \vee 0,723 \cdot 0,855 \cdot 1 \vee 0,723 \cdot 0,855 \cdot 0,75 = \\ & = 1 \cdot 1 \cdot 0,855 = 0,855; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{сC}(A_{япг}) &= 0,723 \cdot 0,857 \cdot 0,807 \vee \\ & \vee 1 \cdot 0,855 \cdot 0,75 \vee 1 \cdot 0,855 \cdot 0,75 = \\ & = 0,857 \cdot 1 \cdot 1 = 0,857; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_C(A_{япг}) &= 1 \cdot 0,857 \cdot 0,807 \vee \\ & \vee 1 \cdot 0,857 \cdot 0,807 \vee 1 \cdot 0,855 \cdot 0,807 = \\ & = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{сC}(A_{япг}) &= 1 \cdot 1 \cdot 0,807 \vee \\ & \vee 1 \cdot 1 \cdot 0,813 \vee 1 \cdot 0,355 \cdot 0,807 = \\ & = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_B(A_{япг}) &= 1 \cdot 0,835 \cdot 0,807 \vee \\ & \vee 1 \cdot 1 \cdot 0,813 \vee 1 \cdot 0,835 \cdot 0,813 = \\ & = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1. \end{aligned}$$

Якісна оцінка якості природного газу представлена у вигляді нечіткої множини

$$A_{япг} = \left\{ \frac{\mu_{q_1}(A_{япг})}{d_1}, \frac{\mu_{q_2}(A_{япг})}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{q_m}(A_{япг})}{d_m} \right\}, \quad (10)$$

де  $m$  – кількість нечітких термів для змінної  $A_{япг}$ ;  $q_i$  – назва  $i$ -го терму,  $i = \overline{1, m}$ ;  $\mu_{q_i}(A_{япг})$  – ступінь належності змінної  $A_{япг}$  терму  $q_i$ ;  $d_i$  – кількісне значення, яке відповідає терму  $q_i$ .

Отримана нечітка множина визначає якість природного газу для фіксованого вектора факторів впливу. Відповідно до етапу дефазифікації за методом «центр маси» нечіткій множині відповідає кількісна оцінка:

$$A_{япг} = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{япг}) \cdot d_i}{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{япг})}. \quad (11)$$

Підставляємо у вираз (11)  $d_i$  для  $i$ -го терму  $q_i$ :

$$d_i = \left[ \frac{A_{япг}}{A_{япг}} + \frac{\overline{A_{япг}} - A_{япг}}{m-1} \cdot (i-1) \right], \quad (12)$$

де  $\frac{A_{япг}}{A_{япг}}(\overline{A_{япг}})$  – найменше (найбільше) значення змінної  $A_{япг}$ . Рівняння (11) з урахуванням (12) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} A_{япг}^* &= \sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{япг}) \times \\ & \times \left[ \frac{A_{япг}}{A_{япг}} + \frac{\overline{A_{япг}} - A_{япг}}{m-1} (i-1) \right] \frac{1}{\sum_{i=1}^m \mu_{q_i}(A_{япг})}. \quad (13) \end{aligned}$$

Для характеристики природного газу, вказаної у табл. 2, за умови що  $A_{япг} = 1$  бал,  $\overline{A_{япг}} = 5$  балів, дефазифікація за формулою (13) дає такий прогноз якості природного газу:

$$\begin{aligned} A_{япг}^* &= \frac{0,855 \cdot 1 + 0,857 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 1 \cdot 5}{0,855 + 0,857 + 1 + 1 + 1} = \\ & = 3,092 \text{ балів.} \end{aligned}$$

Якість природного газу з параметрами, вибраними для прикладу, становить 3,092 балів.

Значення функції належності факторів, що впливають на якість природного газу

Фактор ( $U^*$ )		Значення	Значення функції належності термів для оцінки фактора $U^*$		Значення функції належності змінної ( $X, Y, Z$ )
$x_1$ – вміст вуглеводнів у складі природного газу	$s_1$ – вміст метану	90 %	$\mu_H(s_1) = 0,445$	$\mu_H(x_1) = 0,56$ $\mu_{nC}(x_1) = 0,723$ $\mu_C(x_1) = 1$ $\mu_{eC}(x_1) = 1$ $\mu_B(x_1) = 1$	$\mu_H(x_2) = 0,723$ $\mu_{nC}(x_2) = 1$ $\mu_C(x_2) = 1$ $\mu_{eC}(x_2) = 1$ $\mu_B(x_2) = 1$
			$\mu_{nC}(s_1) = 0,63$		
			$\mu_C(s_1) = 0,938$		
			$\mu_{eC}(s_1) = 0,83$		
			$\mu_B(s_1) = 0,556$		
	$s_2$ – вміст етану	3 %	$\mu_H(s_2) = 0,56$		
			$\mu_{nC}(s_2) = 0,63$		
			$\mu_C(s_2) = 1$		
			$\mu_{eC}(s_2) = 0,78$		
	$s_3$ – вміст пропану	2,00%	$\mu_B(s_2) = 0,56$		
			$\mu_H(s_3) = 0,47$		
			$\mu_C(s_3) = 0,723$		
	$s_4$ – вміст бутану	1 %	$\mu_B(s_3) = 0,833$		
			$\mu_H(s_4) = 0,5$		
			$\mu_C(s_4) = 1$		
$s_5$ – вміст пентану	1 %	$\mu_B(s_4) = 0,57$			
		$\mu_H(s_5) = 0,125$			
		$\mu_C(s_5) = 0,167$			
$x_2$ – вміст шкідливих компонентів у складі газу	$b_1$ – вміст сірководню	10 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_B(s_5) = 1$		
			$\mu_H(b_1) = 0,67$		
			$\mu_{nC}(b_1) = 0,45$		
			$\mu_C(b_1) = 1$		
			$\mu_{eC}(b_1) = 0,78$		
	$b_2$ – вміст азоту	2,00%	$\mu_B(b_1) = 0,56$		
			$\mu_H(b_2) = 0,72$		
			$\mu_{nC}(b_2) = 1$		
			$\mu_C(b_2) = 0,78$		
			$\mu_{eC}(b_2) = 0,51$		
	$b_3$ – вміст вуглекислого газу	3 %	$\mu_B(b_2) = 0,33$		
			$\mu_H(b_3) = 0,625$		
			$\mu_C(b_3) = 1$		
			$\mu_B(b_3) = 0,5$		
	$b_4$ – вміст кисню	0,5 %	$\mu_{eC}(b_2) = 0,51$		
			$\mu_H(b_4) = 0,57$		
			$\mu_C(b_4) = 1$		
	$b_5$ – вміст механічних домішок	5 г/м <sup>3</sup>	$\mu_B(b_4) = 0,67$		
			$\mu_H(b_5) = 0,56$		
			$\mu_{nC}(b_5) = 0,5$		
			$\mu_C(b_5) = 1$		
			$\mu_{eC}(b_5) = 0,67$		
	$b_6$ – вміст вологи	-4 °C	$\mu_B(b_5) = 0,5$		
			$\mu_H(b_6) = 0,5$		
$\mu_{nC}(b_6) = 0,56$					
$\mu_C(b_6) = 1$					
$\mu_{eC}(b_6) = 0,75$					
			$\mu_B(b_6) = 0,56$		



Фактор ( $U^*$ )	Значення	Значення функції належності термів для оцінки фактора $U^*$	Значення функції належності змінної ( $X, Y, Z$ )
$y_1$ – очистка від сірководню	8 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_{Bo}(y_1) = 0,824$	$\mu_H(Y) = 0,855$ $\mu_{nC}(Y) = 0,855$ $\mu_C(Y) = 0,857$ $\mu_{eC}(Y) = 1$ $\mu_B(Y) = 0,835$
		$\mu_C(y_1) = 0,925$	
		$\mu_{II}(y_1) = 0,286$	
$y_2$ – очистка від азоту	1 %	$\mu_{Bo}(y_2) = 0,855$	
		$\mu_C(y_2) = 0,78$	
		$\mu_{II}(y_2) = 0,235$	
$y_3$ – очистка від вуглекислого газу	2 %	$\mu_{Bo}(y_3) = 0,6$	
		$\mu_C(y_3) = 0,857$	
		$\mu_{II}(y_3) = 0,292$	
$y_4$ – очистка від кисню	0,02 %	$\mu_{Bo}(y_4) = 0,167$	
		$\mu_C(y_4) = 0,11$	
		$\mu_{II}(y_4) = 1$	
$y_5$ – очистка від механічних домішок	1 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_{Bo}(y_5) = 0,167$	
		$\mu_C(y_5) = 0,25$	
		$\mu_{II}(y_5) = 1$	
$y_6$ – очистка від вологи	-2 °C	$\mu_{Bo}(y_6) = 0,335$	
		$\mu_C(y_6) = 0,563$	
		$\mu_{II}(y_6) = 0,665$	
$y_7$ – число Воббе (вище)	51,5 МДж/м <sup>3</sup>	$\mu_H(y_7) = 0,33$	
		$\mu_{nC}(y_7) = 0,25$	
		$\mu_C(y_7) = 0,72$	
		$\mu_{eC}(y_7) = 1$	
		$\mu_B(y_7) = 0,78$	
$y_8$ – теплота згоряння (вища)	37,6 МДж/м <sup>3</sup>	$\mu_H(y_8) = 0,39$	
		$\mu_C(y_8) = 0,57$	
		$\mu_B(y_8) = 0,835$	
$y_9$ – відносна густина природного газу	0,7	$\mu_H(y_9) = 0,335$	
		$\mu_C(y_9) = 0,6$	
		$\mu_B(y_9) = 0,79$	
$z_1$ – вміст сірководню	2 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_H(z_1) = 0,667$	$\mu_H(Z) = 1$ $\mu_{nC}(Z) = 0,75$ $\mu_C(Z) = 0,807$ $\mu_{eC}(Z) = 0,807$ $\mu_B(Z) = 0,813$
		$\mu_{nC}(z_1) = 0,875$	
		$\mu_C(z_1) = 0,807$	
		$\mu_{eC}(z_1) = 0,634$	
		$\mu_B(z_1) = 0,41$	
$z_2$ – вміст азоту	1 %	$\mu_H(z_2) = 0,72$	
		$\mu_{nC}(z_2) = 1$	
		$\mu_C(z_2) = 0,78$	
		$\mu_{eC}(z_2) = 0,51$	
		$\mu_B(z_2) = 0,25$	
$z_3$ – вміст вуглекислого газу	1 %	$\mu_H(z_3) = 0,813$	
		$\mu_C(z_3) = 0,553$	
		$\mu_B(z_3) = 0,286$	

Фактор ( $U^*$ )	Значення	Значення функції належності термів для оцінки фактора $U^*$	Значення функції належності змінної ( $X, Y, Z$ )
$z_4$ – вміст кисню	0,75 %	$\mu_H(z_4) = 0,275$	$\mu_H(Z) = 1$ $\mu_{HC}(Z) = 0,75$ $\mu_C(Z) = 0,807$ $\mu_{6C}(Z) = 0,807$ $\mu_B(Z) = 0,813$
		$\mu_C(z_4) = 0,57$	
		$\mu_B(z_4) = 0,7$	
$z_5$ – вміст механічних домішок	1 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_H(z_5) = 0,14$	
		$\mu_C(z_5) = 0,11$	
		$\mu_B(z_5) = 1$	
$z_6$ – вміст вологи	-2 °C	$\mu_H(z_6) = 0,33$	
		$\mu_{HC}(z_6) = 0,25$	
		$\mu_C(z_6) = 0,78$	
		$\mu_{6C}(z_6) = 1$	
		$\mu_B(z_6) = 0,75$	
$z_7$ – вміст меркаптанової сірки	15 мг/м <sup>3</sup>	$\mu_H(z_7) = 0,334$	
		$\mu_C(z_7) = 0,563$	
		$\mu_B(z_7) = 0,715$	

Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість спостереження за змінами вихідного показника – якості природного газу – залежно від кількісних та якісних факторів (табл. 1). Математична модель у комплексі для всіх підрівнів та рівнів дозволяє отримати прогнозовану оцінку впливу наведених факторів на якість природного газу. При цьому отримане значення приймається за результатами віртуального експерименту, який базується на експертній базі знань.

**Висновки.** Моделювання оцінювання якості природного газу успішно виконується з

використанням доступної експертно-лінгвістичної інформації у вигляді правил “ЯКЦО – ТО”, які пов’язують логічні терми вхідних і вихідних змінних. У результаті отримано аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань, які впливають на оцінювання і прогнозування якості природного газу. Запропонована методика служить комплексним інструментом для експерта проекту щодо оцінювання та прогнозування якості природного газу та дає змогу отримати незалежні управлінські рішення з урахуванням кількісних та якісних збурювальних факторів, що впливають на якість природного газу.

### Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р. [Електронний ресурс]. – URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085)
2. Кодекс газотранспортної системи. – Затвердж. Постановою НКРЕКП №2493 від 30.09.2015. – [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15>.
3. Якість газу. [Електронний ресурс]. – URL: [http://utg.ua/utg/business\\_info/yakist-gazu.html](http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html)
4. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства: закон України: станом 1.01.2019 р. – № 2787-VI (2787-17) від 15.12.2010. – Київ: ВВР, 2011, №24, ст.170.
5. Гордієнко А.І. До питання переходу на облік природного газу як енергоносія / А. І. Гордієнко, І. Г. Богомолець, М. В. Чуб // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №3. – с.42-43.
6. Капцова Н. І. Підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.03 / Капцова Н. І.; Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет будівництва та архітектури. – Харків, 2018. – 20 с.
7. Козій В. М. Якість газу родовищ України / В. М. Козій, А. І. Лур’є, І. А. Рубанова // Питання розвитку газової промисловості України: Збірн. наук. праць УкрНДІгаз. – Вип. 28. – 2000. – с. 66-68.
8. Мотало А. В. Аналіз основних проблем методології оцінювання якості вуглеводневих газів / А. В. Мотало, Б. І. Стадник, В. П. Мотало // Науковий вісник НЛТУ України: Збірн. наук.-техн. праць. 2. Екологія та довкілля. – 2015. – Вип. 25.10. – с. 178-183.
9. ДСТУ ISO 15112:2009. Природний газ. Визначення енергії. – Держспоживстандарт України, 2010. – 29 с.

10. Франчук Ю. Й. Оцінка якості природного газу як енергоносія на основі лінгвістичної інформації / Ю. Й. Франчук, О. І. Ободянська, К. М. Предун // Управління розвитком складних систем: Наук.- техн. збірник. – КНУБА, 2019. – Вип.38. – с.143-150.
11. Рагушняк Г. С. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Рагушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с.
12. Рагушняк Г. С. Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Рагушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 1. – с. 125–131.
13. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ–Винница, 2002. – 145 с.
14. Ротштейн А. Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница : Континент – ПРИМ, 1997. – 142 с.
15. Nikola K. Kasabov. Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering / Nikola K. Kasabov. – London, England, Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book, The MIT Press, 1998 – 538 p.

## References

1. Enerhetychna stratehiiia Ukrainy na period do 2035 r. «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist». Skhval. rozporiadzhenniam KМУ vid 18.08.2017 r. №605-r. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085)
2. Kodeks hazotransportnoi systemy. Zatverdzh. Postanovoiu NKREKP №2493 vid 30.09.2015. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z1378-15>.
3. Yakist' hazu. URL: [http://utg.ua/utg/business\\_info/yakist-gazu.html](http://utg.ua/utg/business_info/yakist-gazu.html)
4. Pro ratyfikatsiiu Protokolu pro pryednannia Ukrainy do dohovoru pro zasnuvannia Enerhetychnoho Spivtovarystva: zakon Ukrainy. № 2787-VI (2787-17) vid 15.12.2010. VVR, 2011, №24, st.170.
5. Hordiyenko A. I., Bohomolets I. H., Chub M. V. “Do pytannia perekhodu na oblik pryrodnoho hazu yak enerhonosiia.” *Naftova i hazova promyslovist*. 2001. №3. P. 42-43.
6. Kaptsova N. I. *Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii ta remontu miskykh hazoprovodiv*. Diss. abstract. Kharkivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, 2016.
7. Kozii V. M., Lurie A. I., Rubanova I. A. “Yakist hazu rodovyshch Ukrainy.” *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy: Zbirn. nauk. Prats UkrNDI haz*. Vyp. 28. 2000. P. 66-68.
8. Motalo A. V., Stadnyk B. I., Motalo V. P. “Analiz osnovnykh problem metodolohii otsiniuvannia yakosti vuhlevodnevykh haziv.” *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny: Zbirn. nauk.-tekhn. prats*. 2. *Ekolohiia ta dovkillia*. 2015. Vyp.25.10 . P. 178-183.
9. *Pryrodnyi haz. Vyznachennia enerhii*. DSTU ISO 15112:2009. Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2010.
10. Franchuk Yu.Y., Obodyanska O. I., Predun K. M. “Otsinka yakosti pryrodnoho hazu yak enerhonosiia na osnovi linhvistychnoi informatsii.” *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system: Nauk.- tekhn. Zbirnyk*. 2019. Vyp.38. P.143-150.
11. Ratushnyak H. S., Obodyanska O. I. *Upravlinnia zmistom proektiv iz zabezpechennia nadiinosti zovnishnikh hazorozpodilnykh merezh*. Vinnytsya, 2014. 128 p.
12. Ratushnyak H. S., Obodyanska O. I. “Model bahatofaktornoї otsinky tekhnichnoho stanu systemy hazopostachannia.” *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*. 2010. № 1. P. 125–131.
13. Mytiushkyn Yu. I., Mokyn, A. P. Rotshteyn A. P. *Soft Computing: identyfikatsiia zakonomernostei nechetkimi bazami znani*. UNYVERSUM–Vynnytsya, 2002. 145 p.
14. Rotshteyn A., Shtovba S. *Nechetkaia nadezhnost algoritmicheskikh protsessov*. Kontynent-PRYM, 1997. 142 s.
15. Nikola K. Kasabov. *Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*. London, England, Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book, The MIT Press, 1998. 538 p.

УДК 533.1:620.93:658.56

## Модель многофакторной оценки качества природного газа

К. М. Предун<sup>1</sup>, Ю. И. Франчук<sup>2</sup>, О. И. Ободянская<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 31172@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup>асистент. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, franchuk196405@gmail.com ORCID: 0000-0002-7910-8705

<sup>3</sup>к.т.н., старший преподаватель. Винницкий национальный технический университет, г. Винница Украина, olha.obodyanska@i.ua ORCID: 0000-0003-4464-3537

*Аннотация. Природный газ в соответствии с положениями Энергетической стратегии Украины на период до 2035 года несмотря на существенное развитие «зелёной» энергетики остаётся основным энергоносителем в государстве. В связи с присоединением к единому Европейскому пространству регулирования торговли природным газом в стране все расчёты за потреблённое топливо следует выполнять в единицах энергии. Таким образом, определяющими становятся вопросы качества природного газа. Одной из особенностей системы газоснабжения является значительная степень неопределённости изменения большого количества возмущающих факторов влияния и постоянно меняющихся параметров её функционирования. Для оценки качества целесообразной является математическая модель, основанная на теории нечёткой логики. По результатам рассмотрения факторов, характеризующих физико-химические свойства добытого из месторождения природного газа, качество его подготовки к транспортировке и технические условия эксплуатации газораспределительной системы населённого пункта, получено нечёткое множество для определения качества топлива. На этапе дефазификации по методу «центра масс» нечёткому множеству соответствует количественная оценка, находящаяся в предложенном диапазоне от одного до пяти баллов. В качестве примера, для природного газа с предельными значениями параметров согласно Кодексу газотранспортной системы качество оценено в 3,1 балла. Модель нечёткого логического вывода вместе с процедурой дефазификации обеспечивает возможность наблюдения за изменениями исходного показателя – качества природного газа – в зависимости от изменения количественных и качественных факторов на пути от месторождения газа к потребителю. Используя предлагаемую математическую модель в комплексе для всех уровней и подуровней, можно получить прогнозируемую оценку влияния указанных факторов на качество топлива. При этом полученное значение принимается по результатам виртуального эксперимента, основанного на экспертной базе знаний.*

*Ключевые слова: природный газ, физико-химические свойства, качество газа, математическая модель, матрица знаний, лингвистическая переменная, нечёткая логика, функция принадлежности.*

**UDC 533.1:620.93:658.56**

## **Model of Multifactorial Assessment of Natural Gas Quality**

K. M. Predun<sup>1</sup>, Y. Y. Franchuk<sup>2</sup>, O. I. Obodianska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Professor. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. 31172@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-2634-9310

<sup>2</sup>Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. franchuk196405@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-7910-8705

<sup>3</sup>Ph.D., Senior Lecturer. Vinnitsia National Technical University. Vinnitsia, Ukraine. olha.obodyanska@i.ua  
ORCID: 0000-0003-4464-3537

*Abstract. In accordance with the provisions of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035, despite the significant development of green energy, natural gas remains the main energy source in the country. In connection with the accession to the common European space of regulation of natural gas trade in the country, all payments for fuel consumption should be made in units of energy. Thus, the main question is the quality of natural gas. One of the peculiarities of the gas supply system is the considerable degree of uncertainty in the change of a large number of disturbing factors and constantly changing parameters of its functioning. A mathematical model based on fuzzy logic theory is expedient for gas quality assessment. According to the results of consideration of the factors characterizing the physico-chemical properties of the natural gas extracted, the quality of its preparation for transportation and the technical operation conditions of the gas distribution system in a settlement, a fuzzy set was obtained to determine the quality of the fuel. According to the "center of mass" method for defuzzification, the fuzzy set corresponds to a fuzzy set that is in the range from one to five points. As an example, for natural gas with limit values in accordance with the Gas Transmission System Code, the quality is estimated at 3.1 points. The fuzzy inference model, together with the dephasification procedure, provides the ability to observe changes in the baseline – the quality of natural gas – depending on changes in quantitative and qualitative factors on the path from the gas field to the consumer. Using the proposed mathematical model in a complex for all levels and sublevels, it is possible to obtain a predicted estimate of the impact of the above factors on fuel quality. In this case, the value obtained is taken from the results of a virtual experiment, which is based on an expert knowledge base.*

*Keywords: natural gas, physico-chemical properties, gas quality, mathematical model, knowledge matrix, linguistic variable, fuzzy logic, membership function*

Надійшла до редакції / Received 03.09.2019

UDC 697.922.565; 697.921.47

## Effect of Candles Burning on Ventilation of Premises

P. Kapalo<sup>1</sup>, O. T. Vozniak<sup>2</sup>, M. Adamski<sup>3</sup>, O. Dovbush<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor, Technical University of Košice, Slovakia, peter.kapalo@tuke.sk ORCID: 0000-0001-9571-3887

<sup>2</sup>Sc.D, associate professor, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, orest.voznyak@i.ua ORCID:0000-0002-6431-088X

<sup>3</sup>PhD, associate professor, Politechnika Białostocka, Poland, mariusz.adamski@pb.edu.pl ORCID: 0000-0002-1686-8301

<sup>4</sup>Senior Lecturer, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, dovbush.ol@gmail.com ORCID: 0000-0003-0272-6764

*Abstract. At present, the use of different candles in the house has increased significantly to create a pleasant environment. At the same time, from an energy point of view, it is an attempt to reconstruct and create buildings as densely as possible to provide the least heat loss due to uncontrolled ventilation. Is it safe to use a home candle in this regard? The article is a brief documented history of candles, the principle of combustion and the effect of burning candles on the internal environment. The purpose of the article is to indicate how the burning of candles affects the need for ventilation of the room. Experimental measurements were made to achieve this aim Measuring of the production of carbon dioxide at flames of candles is the subject of this study. Experimental investigations have been carried out and the results of research are presented in figures and analytic equations. Measurement took place in three stages with order to some methods There have been measured both internal and external air parameters that are documented in figures From the given data, it can be argued that the greatest increase in the concentration of carbon dioxide occurred during the second stage of measurement, when the person was in the room when the candle burned. Effect of candles burning on the environment is presented. For example, some candles emit dangerous substances for human health and are pollutants in the air. Burning of candles process has been analyzed and a chemical scheme of a burning candle is presented. From measured and calculated data it can be argued that the flame of candles during an experimental measurement causes an increase in the concentration of carbon dioxide by 76 %, as in the case of human being.*

*Key words: candle, room, carbon dioxide, ventilation, air flow rate.*

**Introduction.** Candles are used as a light source for thousands of years. Historians have found evidence that many early civilizations developed candles using waxes from available plants and insects. People used candles to illuminate their homes, help night wanderers and religious ceremonies. In the Middle Ages candles were made of animal fat and beeswax. Later they began to be made of fatty whales. In the 19th century a modern candle was growing. The first paraffin was isolated from beech wood resin in 1833 by C. Reichenbach in Blansko near Brno [1]. Paraffin as a petroleum product was put into production in the 1950s. One of the pioneers in Europe who was involved in oil refining was the pharmacist and inventor Jan Jozef Ignatius Lukaszewicz (1822-1882), who in 1850, in Lviv, Poland, first received an oil kerosene by means of distillation. Paraffin was produced as a byproduct [2]. From the archival reports of the Kralupsk Refinery, Lederer et al. Founded in 1900, 5 kg of paraffin was obtained from 100 kg of Borislav oil, among other products [3]. In Europe, oil refineries for kerosene and paraffin were built during this period. With the introduction of production of light bulbs, the production of candles began to decline. The popularity of the candle began to increase significantly since the mid-1980s, when the candles were interested in decorative elements. They began to produce candles of different sizes, shapes and colours. There is a great interest of

consumers in sparkling candles. At present candles are not used more as the main source of light, but as a life and social holiday [4].

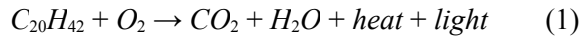
**Burning of candles.** Waxes of animal, vegetable or oil origin are mainly hydrocarbons. Paraffin is the most commonly used candle wax.

Bees are also used in wax, soy wax, palm wax, gels, synthetic waxes and wax blends. Known candlesticks use only high-quality waxes [4]. Paraffin, which is a by-product of oil production, is most often used for the production of candles. This is a white mixture of higher saturated aliphatic hydrocarbons. It is no taste and no smell. It is insoluble in water. It is obtained by distillation of crude oil or crystallization by de-browning brown coal. It is also produced by catalytic synthesis. The paraffin melting temperature is from 42 °C (soft paraffin) to 65 °C (solid paraffin) and above. The boiling point is approximately 300 °C [5].

All waxes are hydrocarbons and consist of hydrogen ( $H$ ) and carbon ( $C$ ). Paraffin wax is a combination of carbon and hydrogen, whose chemical formula is  $C_nH_{2n+2}$ , where  $n \geq 16$  [6]. After sparking the candle, the wax melts around the wick. Liquid wax is a capillary force drawn into the flame of a candle, where it turns into warm gas and begins to decompose on the atoms of hydrogen ( $H$ ) and carbon ( $C$ ). Hydrogen ( $H$ ) and carbon ( $C$ ) molecules react with oxygen ( $O$ ) from the ambient air during combustion, forming light, heat, water va-



por ( $H_2O$ ) and carbon dioxide ( $CO_2$ ). Chemical scheme of a burning candle:



When burning a candle flame (fig. 1), we see a blue area in the lower part of the flame, dark orange to a brown color above it, and a large yellow area of the flame above it, which is most visible. The blue zone of flame is rich in oxygen. In it, the molecules of hydrocarbons evaporate and begin to decompose on hydrogen and carbon. Here, water vapor and carbon dioxide [4] begin to form. Measuring the production of carbon dioxide at flames of candles is the subject of this study.



Fig. 1. Paraffin burning and size (Source: author's archive)

**Effect of candles burning on the environment.** Today candles are mainly used to improve the feelings in the room. For this reason, candlesticks are trying to produce candles with the smell that suits consumers. Scientists at universities and research laboratories around the world experiment with candles to learn more about burning candles and their effects on the environment in buildings.

For example, according to the authors of R. Masudi and A. Hamidi [7], some candles emit dangerous substances for human health and are pollutants in the air. In the period from 2008 to 2010, several types of paraffin candles were investigated and it was found that candle samples produce various hazardous products, including benzene, toluene and alkenes. Their conclusion was that the studied paraffin candles are dangerous to the human body in confined spaces.

Scientific group Derudi et al. [8] During their studies, the emission factors for pollutants, in particular for VOCs, which the EU identifies as priority pollutants in the room from the burning of scented candles, have been identified.

Climate engineering [9] argues that air in the average economy contains two to five times more pollutants than external air – which, of course, depends on the method of ventilation, and so on. In article "How to improve indoor air quality" [9] there are 9 ways to improve the air quality in the room, which, besides proper ventilation, mainte-

nance of the air conditioner, etc., recommends that you do not smoke indoors and avoid the use of sparkling candles.

For more information on how candles affect indoor air quality, we can find it on various other sites. such as Safe Air Environmental Inc. In the article "Candles affect the quality of air indoors" [10] states that the burning of some aromatic or aromatherapy candles in the apartment can be compared to smoking cigars.

Christian Seacher (Denmark) concluded [11] in his review that burning candles and cooking is the largest source of pollution in households.

**The aim.** The aim of the article is to indicate how the burning of candles affects the need for ventilation of the room. Experimental measurements were made to achieve this aim.

**Experimental measurement.** Experimental measurements were carried out in an office located on the second floor of a five-story building. The office has the following dimensions: length 5.63 m, width 3.4 m and height 2.72 m. The room has one open window with a height of 1.75 m and a width of 1.1 m. The internal volume of the room is 52.07 m<sup>3</sup>. The measurements are performed in winter.

The measurement took place in three stages with order to method [12-15]. During the first stage of the measurement in the office there was one person, and the candle did not fire. During the second stage of the measurement, one person was in the office, and a paraffin candle 22 mm in diameter was burnt all the time (fig. 1). During the third stage of the measurement there was no person in the office, and a 22 mm paraffin candle was constantly burned. During all three measuring stages, the window and the door in the room were closed.

**Results of experimental measurements.** The course of the concentration of carbon dioxide from all three stages of measurement is shown in Fig. 2.

From Fig. 2 we can observe:

- during the first stage of measurement from 7:29 am to 7:59 am, the concentration of carbon dioxide increased from 653 ppm to 781 ppm;
- during the second measurement step from 8:41 am until 9:10 am the concentration of carbon dioxide has increased from 719 ppm to 944 ppm;
- during the third measurement step from 10:00 am to 10:30 am, the concentration of carbon dioxide increased from 590 ppm to 659 ppm.

From the given data, it can be argued that the greatest increase in the concentration of carbon dioxide occurred during the second stage of measurement, when the person was in the room when the candle burned. The concentration of oxide in the room increased by about 7.5 ppm/min.



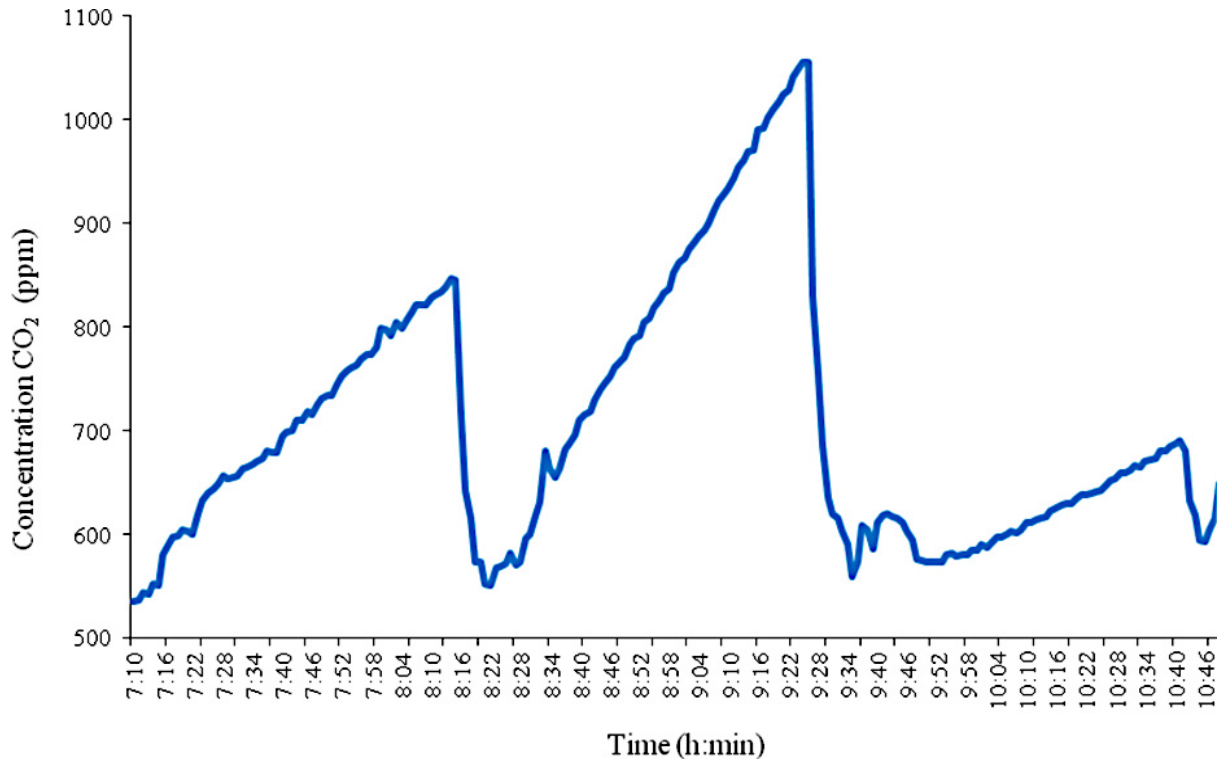


Fig. 2. Measurement of carbon dioxide concentration

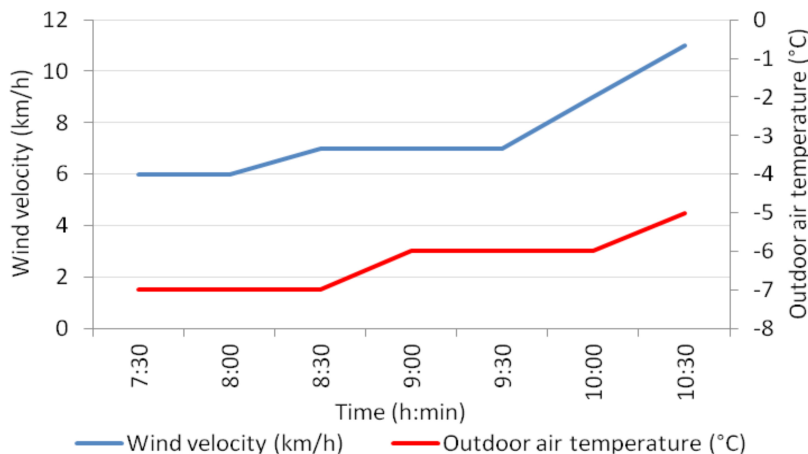


Fig. 3. Outdoor air parameters

The slightest increase in the concentration of carbon dioxide occurred during the third stage of measurement, when there was no man in the room, and the candle was burned. The oxygen concentration in the room increased by about 2.3 ppm/min. During the first phase of the measurement, when the person was indoors and the candle did not light up, the oxygen concentration increased to about 4.3 ppm/min.

The increase of the concentration of carbon dioxide in the room is strongly influenced by the intensity of ventilation resulting from the leakage of the construction structures, which also depends on the weather – mainly on wind speed and air temperature. Measured external air parameters are

documented in Fig. 3.

From Fig. 3 shows that at the first stage of the experimental measurement, the average wind speed was about 6 km / h. In the second stage, the average wind speed was about 7 km/h, and in the third stage, the average wind speed was about 10 km/h. The temperature of the outside air during the entire measuring period was from minus 5 to minus 7 °C. It can be assumed that if the wind speed in the third stage was similar to the previous two stages, the increase in concentration would be about 3.2 ppm/min.

**Conclusion.** From measured and calculated data it can be argued that the flame of candles during an experimental measurement causes an in-

crease in the concentration of carbon dioxide by 76%, as in the case of human being. From the above results it can be argued that for this case, in the presence of a person in the room and the simultaneous burning of candles, it is necessary to provide almost twice the air exchange than if the

candle did not used. Also, when buying candles it is necessary to take into account the material from which they are made, so as not to harm the health.

**Acknowledgements.** This article was elaborated within the framework of the project VEGA 1/0697/17.

### References

1. <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/cesta-svicky-historii-cast-2--16329>
2. Stanislaw M. Brzozowski. *Biogram: Jan Józef Ignacy Łukasiewicz. Biogram został opublikowany w 1973 r. w XVIII tomie Polskiego Słownika Biograficznego. Wydawca Polskiego Portalu Biograficznego jest Filmoteka Narodowa - Instytut Audiowizualny All Rights Reserved 2017 Filmoteka Narodowa.* <https://www.biogramy.pl/a/biografia/jan-jozef-ignacy-lukasiewicz>
3. Holub Ludek a kol. *Století benzínu. Histórie rafinérského průmyslu v Českých zemích.* Asco. Praha. str 18. 10 ISBN 80-85377-98-5
4. National Candle Association. <http://candles.org/history/>
5. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Paraf%C3%ADn>
6. Mansoori G. A. "Characterization of alkanes and paraffin waxes for application as phase change energy storage medium." *Energy sources journal.* Vol. 16. P. 117-128, 1994. <https://trl.lab.uic.edu/1.OnlineMaterials/NOLY/Paraffin.Wax.Characterization.pdf>
7. Ruhullah Massoudi, Amid Hamidi. "Some Candles Emit Hazardous Materials for Human Health and are Indoor Air Pollutants." *International Journal of TROPICAL DISEASE & Health.* 24(2): 1-10, 2017; Article no.IJTDH.34965. ISSN: 2278-1005, NLM ID: 101632866. DOI: 10.9734/IJTDH/2017/34965. [http://www.journalrepository.org/media/journals/IJTDH\\_19/2017/Jul/Massoudi2422017IJTDH34965.pdf](http://www.journalrepository.org/media/journals/IJTDH_19/2017/Jul/Massoudi2422017IJTDH34965.pdf)
8. Marco Derudi, Simone Gelosa, Andrea Slipecevic, Andrea Cattaneo, Renato Rota, Domenico Cavallo, Giuseppe Nano. "Emissions of air pollutants from scented candles burning in a test chamber." *Atmospheric Environment.* Vol. 55, 2012, P. 257-262. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012002683?via%3Dihub>
9. Climate Design. <https://www.climatedesign.com/how-to-improve-indoor-air-quality/>
10. <https://www.safeair.ca/blog/candles-affect-air-quality>
11. Kristian Secher. *Dánsko. Zdroj: http://sciencenordic.com/our-homes-are-filled-soot-nanoparticles-candle-flames*
12. Firemné materiály: Testo s.r.o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5, ČR
13. Kapalo P., Voznyak O. T. "Experimental measurements of a carbon dioxide concentration for determining of a ventilation intensity in a room at pulsing mode." *Czasopismo Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury.* T. XXXII, zeszyt 62 (nr 4/2015). P. 201-210.
14. Kapalo P., Vilcekova S., Voznyak O. "Using experimental measurements the concentrations of carbon dioxide for determining the intensity of ventilation in the rooms." *Chemical Engineering Transactions.* Vol.39, 2014 ISBN 978-88-95608-30-3; ISSN 2283-9216, P.1789 - 1794.
15. Kapalo P., Vilceková S., Domnita F., Voznyak O. "Determine a methodology for calculating the needed fresh air." *The 9-th International Conference "Environmental Engineering" 22-23 May 2014, Vilnius, Lithuania.* Selected papers, eISSN 2029-7092 / eISBN 978-609-457-640-9 Section: Energy for Buildings.

УДК 697.922.565; 697.921.47

### Вплив горіння свічок на вентиляцію

П. Капало<sup>1</sup>, О. Т. Возняк<sup>2</sup>, М. Адамські<sup>3</sup>, О. М. Довбуш<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Кошицький технічний університет, Кошице, Словаччина, [peter.kapalo@tuke.sk](mailto:peter.kapalo@tuke.sk) ORCID: 0000-0001-9571-3887

<sup>2</sup>д.т.н., доц. Национальный университет "Львовская политехника", м. Львів, Україна, [orest.voznyak@i.ua](mailto:orest.voznyak@i.ua)  
ORCID:0000-0002-6431-088X

<sup>3</sup>к.т.н., доц. Політехніка Бялистоцька, Бялисток, Польща, [mariusz.adamski@pb.edu.pl](mailto:mariusz.adamski@pb.edu.pl), ORCID: 0000-0002-1686-8301

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Национальный университет "Львовская политехника", м. Львів, Україна, [dovbush.ol@gmail.com](mailto:dovbush.ol@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-0272-6764

*Анотація. У даний час використання різних свічок у будинках значно збільшилося задля створення приємного середовища для людини. У той же час, з точки зору підвищення енергоефективності будівлі реконструюються та будуються якомога більш цільними, щоб забезпечити найменшу втрату теплоти через неорганізований повітрообмін. Чи безпечно користуватися в приміщеннях свічками? У роботі наведена коротка документальна історія свічок, принцип їхнього горіння та вплив спалювання свічок на внутрішнє середовище. Метою роботи є дослідити, як горіння свічок впливає на потребу вентиляції приміщення. Для досягнення цієї мети були проведені*

експериментальні дослідження приміщення. Вимірювання кількості вуглекислого газу при горінні свічок є предметом даного дослідження. Результати досліджень представлені у числовому вигляді та у вигляді аналітичних рівнянь. Вимірювання відбувалося в три етапи: у присутності людини в приміщенні, те ж з горінням свічки та горіння свічки без присутності людини. Вимірювалися як внутрішні, так і зовнішні параметри повітря. З отриманих даних випливає, що найбільше зростання концентрації діоксиду вуглецю відбувалося на другому етапі вимірювання, коли людина перебувала в кімнаті, де горіла свічка. Найменше зростання концентрації діоксиду вуглецю спостерігалось на третьому етапі, при горінні свічки без присутності людини. Представлено вплив горіння свічок на навколишнє середовище. Наприклад, деякі свічки виділяють небезпечні речовини для здоров'я людини і забруднюють повітря. Проаналізовано процес горіння свічок і представлено хімічну схему горіння свічки. З вимірних і розрахункових даних можна стверджувати, що полум'я свічок під час експериментального дослідження викликає збільшення концентрації вуглекислого газу на 76 %, ніж людина. При горінні свічки слід збільшити повітрообмін у приміщенні близько двох разів.

*Ключові слова:* Свічка, приміщення, вуглекислий газ, вентиляція, витрата повітря.

УДК 697.922.565; 697.921.47

## Влияние горения свечей на вентиляцию

П. Капало<sup>1</sup>, О. Т. Возняк<sup>2</sup>, М. Адамски<sup>3</sup>, М. Довбуш<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Кошицкий технический университет, Кошице, Словакия, [peter.kapalo@tuke.sk](mailto:peter.kapalo@tuke.sk) ORCID: 0000-0001-9571-3887

<sup>2</sup>д.т.н., доц. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, [orest.voznyak@i.ua](mailto:orest.voznyak@i.ua)  
ORCID:0000-0002-6431-088X

<sup>3</sup>к.т.н., доц. Политехника Бялыстоцкая, Бялысток, Польша, [mariusz.adamski@pb.edu.pl](mailto:mariusz.adamski@pb.edu.pl) , ORCID: 0000-0002-1686-8301

<sup>4</sup>ст. преп.. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов Украина, [dovbush.ol@gmail.com](mailto:dovbush.ol@gmail.com) ,  
ORCID: 0000-0003-0272-6764

*Аннотация.* В настоящее время использование различных свечей в домах значительно возросло, чтобы создать приятную обстановку. В то же время, с энергетической точки зрения при реконструкции и строительстве зданий их делают максимально герметичными, чтобы обеспечить наименьшие потери теплоты из-за неорганизованного воздухообмена. Безопасно ли использовать при этом свечи? В статье представлена краткая документированная история свечей, принцип горения и влияние горящих свечей на внутреннюю среду. Цель статьи - показать, как горение свечей влияет на вентиляцию помещения. Для достижения этой цели были проведены экспериментальные исследования. Измерение количества углекислого газа при горении свечей является предметом данного исследования. Проведены экспериментальные исследования и результаты исследований представлены в числовом виде и в виде аналитических уравнений. Измерение проводилось в три этапа. Были измерены как внутренние, так и внешние параметры воздуха. Из приведённых данных можно утверждать, что наибольшее увеличение концентрации углекислого газа произошло во время второго этапа измерения, когда человек находился в комнате, где горела свеча. Представлено влияние горения свечей на окружающую среду. Например, некоторые свечи выделяют опасные для здоровья человека вещества и загрязняют воздух. Проанализирован процесс горения свечей и представлена химическая схема горения свечи. Согласно измеренным и расчётным данным можно утверждать, что пламя свечей во время экспериментального измерения вызывает увеличение концентрации углекислого газа на 76%, как и в случае пребывания человека.

*Ключевые слова:* свеча, помещение, углекислый газ, вентиляция, расход воздуха

Надійшла до редакції / Received 08.04.2019.

УДК 745/749:628.9

## Специфіка дизайну світлодіодних світильників прямого світла

Л. М. Коваль<sup>1</sup>

<sup>1</sup>канд. мистецтвознавства, доц., докторант. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

*Анотація. У статті досліджено дизайн світлодіодних світильників прямого світла і встановлено, що його специфіка полягає у спрямуванні світлового потоку кожного джерела перпендикулярно до освітлюваної поверхні для підвищення загальної світлової ефективності світильника, використанні поверхні якомога більшої площі для монтажу світлодіодів, застосуванні для виготовлення відбивачів теплопровідних матеріалів, таких як алюміній або теплопровідний пластик, передбаченні отворів у зовнішній обмежувальній поверхні оболонки відбивача для покращення циркуляції повітря та тепловідводу від світильника, використанні світлодіодів з різними тілесними кутами випромінювання і наданні можливості автономного управління невеликими групами світлодіодів для забезпечення варіативності світлового розподілу, розміщенні світлодіодів з якомога меншою відстанню між їхніми центрами для пом'якшення множинних тіней, використанні в одному світильнику світлодіодів з однаковими формами лінз для забезпечення естетичної узгодженості всього виробу. За наведеними вище положеннями, було спроектовано дві серії світлодіодних світильників прямого світла зі ступінчастою формою відбивача: з двома площинами симетрії та круговою симетрією відбивача. Ці конструкції захищено патентом на корисну модель № 135975.*

*Ключові слова: дизайн, світлодіодний світильник, світильник прямого світла, симетричний світильник.*

**Вступ.** Ефективність використання електроенергії, що витрачається в галузі світлотехніки, у значній мірі визначається номенклатурою і характеристиками освітлювальних приладів (ОП). До групи ОП входять світильники, прожектори і проєктори. Як правило, ОП не лише виконують роль функціональних виробів, що забезпечують відповідні умови праці та відпочинку, але також є архітектурними елементами, яким властивий значний емоційний вплив на людей [1, с. 5-11].

Відомо, що номенклатура, якість і кількість наявних джерел світла у значній мірі визначають асортимент і кількість ОП, що виробляються, а також їхні конструктивні особливості й експлуатаційні характеристики [1, с. 22]. Тому застосування новітніх джерел світла – світлодіодів – для загального освітлення актуалізує потребу дослідження специфіки дизайнерського проектування світильників на основі цих джерел.

Однією з важливих проблем світлодіодного освітлення є забезпечення відповідного теплового режиму світильників. Адже на сьогодні відомо, що основною причиною зниження з часом світлової ефективності світлодіодів є їхній перегрів у робочому стані. Вони випромінюють набагато менше теплоти, ніж інші джерела штучного світла. Водночас цієї теплоти достатньо для пришвидшення деградації та саморуйнування. Таким чином, одна із основних задач при проектуванні світлодіодно-

го освітлення і світлодіодних світильників – забезпечення максимального тепловідведення. Основна теплота випромінюється в області пайки світлодіодів, тобто в місцях їхнього суміщення з монтажною поверхнею. Різні виробники різним чином намагаються вирішувати проблему тепловідведення від потужних світлодіодів: переважна більшість розміщують їх на алюмінієвій підкладці, інші (Seoul Semiconductor [2, с. 16-17]), навпаки, експериментують зі світлодіодами без корпусу з використанням технології прямого монтажу безпосередньо на плату. Деякі виробники використовують при виготовленні світлодіодних ламп теплопровідну пластмасу або кераміку, інші – охолоджують потужні світлодіодні модулі тепловими трубами [3].

Проте, проблема ефективного тепловідведення властива і світлодіодам з невисокою одиночною потужністю до 0,5 Вт. Тому її необхідно вирішувати комплексно, не лише за рахунок конструкції світлодіода, матеріалу підкладки під кристал (при проектуванні самих світлодіодів) та матеріалів конструктивних частин ОП, але і за рахунок геометричної форми монтажної поверхні та способу розміщення на ній світлодіодів (при проектуванні світильників і освітлювальних систем).

Одне з перших питань, що з'являється при світлотехнічному проектуванні ОП, є вибір типу, потужності, кількості і розміщення джерел світла [1, с. 218-219]. Світлодіоди мають порі-

вняно невелику одиничну потужність. Для відповідного рівня освітленості і теплового режиму більш доцільно розміщувати їхню велику кількість на поверхні якомога більшої площі. Тому другою важливою проблемою проектування світлодіодних світильників прямого світла є утворення множинних тіней. Як відомо [4], множинні тіні можна одержати, якщо освітити об'єкт декількома джерелами, розташованими на одній прямій паралельно екрану (відбивній поверхні).

Сучасні світлодіоди мають високу світлову ефективність і мініатюрні розміри, що призводить до концентрації значного світлового потоку в одній точці. Ця обставина визначає третю проблему проектування світлодіодних світильників – захист зору користувачів від прямого попадання світла як окремих світлодіодів, так і їх груп

Перелічені фактори важливо враховувати при дизайнерському проектуванні світлодіодних світильників, адже вимоги технічної естетики і дизайну ОП органічно пов'язані з вимогами світлотехнічними, оскільки світловий потік і його спектральні та інші властивості значно впливають на середовище [1, с. 114].

**Актуальність дослідження.** З огляду на все вищезазначене можна констатувати, що визначення специфіки дизайну світлодіодних світильників прямого світла є актуальним завданням.

**Останні дослідження та публікації.** Ю. Б. Айзенбергом окреслено основні напрямки розробки освітлювальних приладів (до них належать і світильники), які і на сьогодні залишаються актуальними [1, с. 24]:

- підвищення світлотехнічної ефективності;
- підвищення раціональності конструкції, надійності й тривалості роботи;
- зниження трудомісткості виробництва й матеріальних затрат;
- покращення монтажних характеристик і полегшення обслуговування;
- покращення архітектурно-художніх характеристик.

Вищезазначені напрямки стали визначальними при формуванні проектних пропозицій і способів вирішення окремих проблем світлодіодного освітлення, що розглядаються у даному дослідженні.

Традиційно, світильник визначається за [5] як прилад, який перерозподіляє, фільтрує та перетворює випромінюване однією чи кількома лампами світло, і який має всі необхідні частини для утримання й захисту ламп і, якщо

необхідно, електричне коло з пристроями для приєднання до мережі живлення. Світлодіод, як і лампа, є джерелом світла. Світлодіодна лампа як джерело може містити декілька світлодіодів, а світлодіодні світильники можуть містити декілька світлодіодних модулів чи ламп або ж велику кількість окремих світлодіодів. Тому з урахуванням визначення (за [6]) поняття «освітлювальний прилад», і щоб уникнути звуження поняття «світильник», у його визначенні доречно замінити «лампи» на «джерела світла». При цьому передбачається можливість використання у конструкції світильників множини джерел світла (світлодіодів).

Світильники для житлових і громадських приміщень є однією з найбільш широких, численних і різноманітних груп ОП. До неї можна віднести світильники для житлових кімнат і допоміжних приміщень квартир, готелів, санаторіїв і будинків відпочинку, для бібліотек, підприємств громадського харчування (ресторанів, кафе, їдалень), театрів, клубів, палаців культури тощо. Характерними властивостями їхньої конструкції є: широка уніфікація вузлів і деталей у серіях виробів; використання модульної системи; розробка комплектів світильників; високий рівень дизайнерського опрацювання конструкції. Відносно цієї групи світильників немає жорстких вимог щодо кривих сили світла (КСС), а використання уніфікованих формуютьвальних елементів дозволяє знизити собівартість і отримати широку номенклатурну різноманітність виробів [1].

У статті розглядається специфіка дизайну світильників прямого світла, що за призначенням належать до найширшої групи звичайних (незахищених) світильників – без спеціального захисту від пилу та вологи [5]. Їхнє використання є доречним у приміщеннях без суттєвого виділення пилу, до яких відноситься переважна більшість житлових і громадських приміщень.

Традиційно вважається, що світильник перерозподіляє світло всередині значних тілесних кутів (до 4π) і призначений для освітлення відносно близько розміщених об'єктів (таких, що знаходяться на відстанях, звичайно менших 20-кратних розмірів відбивача світильника) [1]. Стосовно світильників для загального освітлення громадських і житлових інтер'єрів це твердження не має протиріч. У даній роботі світильник розуміється як освітлювальний прилад з вищезазначеними властивостями.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є визначення специфіки дизайну світлодіодних світильників прямого світла і розробці на основі отриманих результатів відповідних сві-



тильників.

**Основна частина.** В історії розвитку галузі освітлення вже відбувалися етапи переходу на джерела світла, що принципово відрізнялися від попередніх. Один зі шляхів впровадження нових джерел світла полягав у адаптації до них наявної системи освітлення. Так сталося з електричною «свічкою» Яблочкова, яка досить широко використовувалася в адаптованих газових ліхтарях [7], або з підвісним світильником, розробленим Чарльзом Ренне Макінтошем (Charles Rennie Mackintosh) для газового освітлення у власній квартирі, металевий абажур якого він потім адаптував для використання електричного світла [7]. Сучасним прикладом цього підходу може бути застосування світлодіодних ламп (так званих ретрофітних), створених для прямої заміни ламп розжарювання [2].

Такі заходи необхідні на початкових етапах впровадження нових освітлювальних технологій для забезпечення їхньої інтеграції в існуючі системи освітлення, швидка і повна перебудова яких стримується економічними факторами. Відповідно, світлодіоди вбудовуються у світильники, створені за традиційними конструктивними схемами, призначеними для інших джерел світла. Для таких адаптованих світильників номенклатурна класифікація за експлуатаційними групами, що донедавна входила до стандартів з освітлення, може бути розширена за рахунок доповнення третьою групою конструктивно-світлотехнічних схем світильників зі світлодіодами (табл).

Інший шлях переходу на принципово нові джерела в освітленні полягає у впровадженні відповідно до їхніх технологічних характеристик нової системи централізованого освітлення. Історичним прикладом цього підходу в минулому може слугувати розробка і виробництво компанією Едісона [7], окрім першої масової лампи розжарювання, повного комплексу обладнання, необхідного для введення електричного світла в будинки людей – від генераторів до розеток і вимикачів.

Такий підхід також передбачає пошуки найбільш доцільних конструкцій і форм світильників, виготовлених для використання нового джерела світла. Тому, для класифікації світлодіодних світильників, розроблених виключно для використання світлодіодів з урахуванням їхніх технологічних можливостей, необхідно застосовувати більш узагальнений видовий поділ.

У цьому контексті доречною є класифікація світильників для загального освітлення в

приміщенні відповідно до відсоткового розподілу світлового потоку над і під горизонтальною площиною (рис. 1). Також, залежно від симетричності випромінюваного світлового потоку, виокремлюють дві групи світильників [8]:

1. Світильники з симетричним світловим розподілом, у яких світловий потік випромінюється симетрично відносно осі симетрії. Просторовий розподіл світлової інтенсивності може бути представлений у вигляді одної кривої сили світла (для світильників з круговою симетрією) та двох кривих сили світла (для світильників з двома осями симетрії світлового розподілу).

2. Світильники з асиметричним світловим розподілом, у яких світловий потік випромінюється асиметрично відносно осі симетрії. Просторовий розподіл світлової інтенсивності може бути поданий у вигляді фотометричного тіла світлового випромінювання або декількома (багатьма) плоскими кривими цього фотометричного тіла, залежно від характерних площин перерізу.

Окрім джерел світла, світильники також містять світлотехнічну арматуру, яка перерозподіляє світло в просторі або перетворює його властивості, а також виконує захисну функцію від впливу навколишнього середовища та механічних пошкоджень джерел світла, забезпечує їхнє кріплення і приєднання до мережі [1]. Оскільки світлодіоди – це продукт нанотехнологій, вони підтримують розвиток нової парадигми усієї виробничої діяльності – від окремих складових до цілого виробу [9]. Наслідком цієї властивості для світлодіодних світильників прямого світла є формування фотометричного тіла упорядкуванням множини світлодіодів на поверхні певної форми.

Запропоновані в даному дослідженні конструктивні рішення світлодіодних світильників спираються на такі положення: для забезпечення ефективної роботи нових джерел світла, необхідна переоцінка наявних методів дизайну світильників і створення нової системи освітлення [10]; як точкове джерело світла світлодіод має визначений світловий розподіл [10] і, відповідно до своїх властивостей, може бути суміщеним з поверхнею майже будь-якої форми [10]. Саме така властивість світлодіодів як широка варіативність монтажних поверхонь дозволяє використати для визначення можливих форм відбивачів світильників загальноприйняту в нарисній геометрії (згідно з [11-16]) класифікацію геометричних форм.

Таблиця

Конструктивно-світлотехнічні схеми		Експлуатаційні групи світильників															
		I			II			III			IV		V		VI		VII
3 лампами розжарювання	A																
3 люмінесцентними лампами	B1																
	B2																
3 світлодіодами	B1																
	B2																
	B3																
Група твердості світлотехнічних матеріалів (покриттів)		T	CT	M	T	CT	M	T	CT	M	T	CT	T	CT	T	CT	T
Експлуатаційна група світильників		5	4	3	6	5	4	2	2	1	7	6	5	4	6	5	7

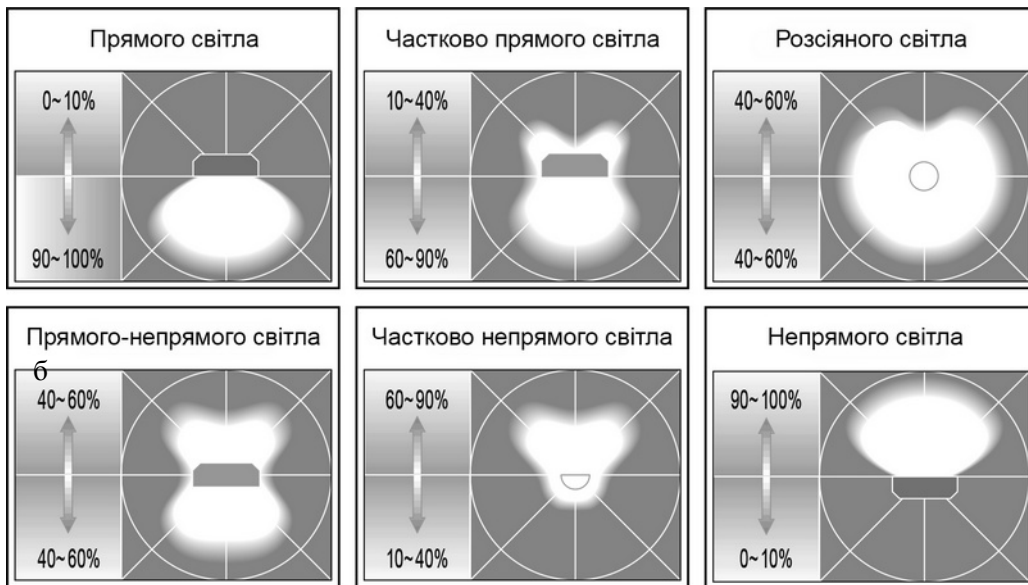


Рис. 1. Класифікація світильників за випромінюванням світлового потоку, відповідно до класифікації CIE світильників для освітлення приміщень [8].

Першим кроком до раціонального використання будь-якої форми для створення відбивача світлодіодного світильника є розуміння того, що чим більшою є площа монтажної поверхні, на якій розміщуються світлодіоди, тим кращим буде тепловий режим і експлуатаційні характеристики світильника.

Другим кроком є вибір доречної обмежувальної поверхні оболонки відбивача світильника для монтажу множини світлодіодів. Використання для цього зовнішньої обмежу-

вальної поверхні оболонки додатної гаусової кривини (опуклої поверхні) може призвести до концентрації теплоти. Відповідно, монтаж світлодіодів краще проводити на плоскі або гнуті поверхні (внутрішні поверхні незамкнених оболонок додатної гаусової кривини). Монтаж на гнуті поверхні добре узгоджується з необхідністю захистити очі користувачів від попадання прямого світла, оскільки ховає з поля зору відкриті світлодіоди. Монтаж на плоску поверхню не забезпечує відповідного захисту.

Оскільки світловий потік концентрується вздовж осьової сили світла, а світло повинно з мінімальними втратами спрямовуватися на освітлювані об'єкти, то найефективнішим способом освітлення є спрямування світлового потоку джерела перпендикулярно до освітлюваної поверхні. Це досягається розміщенням світлодіодів на плоскій поверхні, паралельній до освітлюваної. Проте такий підхід не сприяє захисту від прямого світла, а також має обмежені естетичні властивості щодо формоутворення відбивачів світильників. Рішенням цієї проблеми може бути ступінчаста форма внутрішньої монтажної поверхні, побудована на основі зовнішньої обмежувальної поверхні оболонки відбивача світильника. За допомогою такого рішення світло від джерел з мінімальними втратами можна спрямувати на освітлюваний об'єкт або перпендикулярно освітлюваній поверхні. При цьому забезпечується виконання захисної функції відбивача світильника з мінімізацією можливих випадків засліплювальної блискавості. Відповідно, при такому підході:

1. Розподіл загального світлового потоку світильника стає більш очевидним і прогнозованим на ранніх етапах проектування, а також забезпечується спрощення монтажу, адже його проводити зручніше на площину кожної сходинки, ніж криволінійну поверхню;

2. За рахунок збільшення площі монтажної поверхні підвищується ефективність тепловідведення, адже відомо [1], що збільшення площі поверхні корпусу, зазвичай, покращує тепловий режим світильника;

3. Використання алюмінію для виготовлення відбивача світильника забезпечуватиме конструктивну жорсткість і високу теплопровідність [1], покращення теплового режиму світильника також можливе за рахунок виготовлення відбивача з теплопровідного пластика;

4. Передбачення отворів у зовнішній обмежувальній поверхні оболонки відбивача світильника сприятиме як додатковому естетичному збагаченню форми відбивача (завдяки створенню множиною отворів певної метричної чи ритмічної композиції), так і покращенню теплового режиму. Раціональне облаштування [1] природної вентиляції внутрішньої порожнини приладів за рахунок вентиляційних отворів дозволяє знизити надлишкову температуру на 20...25%. Зниження тим ефективніше, чим більшою є загальна площа вентиляційних отворів та площа одиничних вентиляційних отворів у загальній сукупності. Також якщо вентиляційні отвори розміщено на нижній ча-

стині корпусу світильника, ефективність підвищується через менше пилове забруднення похилих і вертикальних поверхонь порівняно із горизонтальними [1];

5. Додаткові можливості урізноманітнення світлового розподілу світильників, створених на основі однакової форми відбивача, надає використання світлодіодів з різними тілесними кутами випромінювання, а також варіації ширини сходинок монтажної поверхні і, відповідно, кількості рядів світлодіодів на рівні кожної зі сходинок;

6. Окрім загального контролю інтенсивності випромінювання світильника, можливе автономне увімкнення/вимкнення світлодіодів на кожній сходинці, що є додатковим інструментом впливу на світловий розподіл;

7. Для пом'якшення множинних тіней від світлодіодного світильника прямого світла необхідне розміщення світлодіодів з якомога меншою відстанню між їхніми центрами. Такий підхід мінімізує неприємне враження від цього світлового ефекту, що супроводжує використання в освітлювальних приладах великої кількості одиничних джерел світла;

8. У межах одного світильника форма лінз (або їхня відсутність) всіх світлодіодів повинна бути однаковою для забезпечення естетичної узгодженості, адже з певної відстані світлодіоди своєю множиною створюють метричну чи ритмічну композицію;

9. Для розміщення світлодіодів на кожній зі сходинок можуть використовуватися стандартизовані (в рамках певної виробничої серії світильників) плати. Це може:

- спростити і пришвидшити процес збирання світильника за рахунок використання плат-заготовок із заздалегідь напаяними світлодіодами;
- допомогти розділити технологічно різні операції з пайки світлових елементів і загального збирання виробу;
- підвищити надійність і експлуатаційні характеристики виробу.

Зазначені положення вказують на те, що при використанні світлодіодів як джерел світла відбивач світильника прямого світла виконує не стільки роль поверхні для перерозподілу світлового потоку за рахунок його відбивання, як роль поверхні для монтажу множини точкових джерел світла. У цьому випадку перерозподіл світла фактично відбувається визначенням геометричного місця кожної світлової точки відносно внутрішньої поверхні оболонки відбивача світильника.



За вищенаведеними положеннями розроблено дві серії світлодіодних світильників прямого світла: з двома площинами симетрії та круговою симетрією відбивача. Ці конструкції захищено патентом України на корисну модель №135975 [17]. У даній роботі при побудові діаграм світлового розподілу частини спроектованих світильників, відповідно до кожної конструктивної схеми, використано спрощену методику розрахунку кривих сили світла, розроблену для початкових етапів дизайнерського проектування. Ця методика потребує детального розгляду в межах окремої публікації. Конструктивні схеми світильників з двома площинами симетрії для лаконічності містять лише характерний переріз (рис. 2).

У загальному вигляді запропонований світильник складається з корпуса, який містить блок живлення та кріпиться безпосередньо до стелі або стіни, і відбивача, який виконано у вигляді незамкненої оболонки. Оболонка відбивача містить внутрішню ступінчасту поверхню, на яку монтуються світлодіоди, та зовнішню поверхню з отворами для забезпечення тепловідведення. Між внутрішньою і зовнішньою поверхнями відбивача міститься вільний простір, достатній для розміщення електронних компонентів, пристрою керування, дротів, необхідних для монтажу і приєднання світлодіодів. Поєднання внутрішньої і зовнішньої поверхонь забезпечується байонетним (штиковим) з'єднанням. При цьому відбивачі світильника можуть мати в основі різноманітні геометричні форми. Наприклад, для світильників з круговою симетрією це можуть бути:

1. Одна з порожнин двопорожнинного гіперолоїда обертання – вихідний отвір відбивача світильника знаходиться в площині перпендикулярній його осі (рис. 2 а);

2. Параболоїд обертання – вихідний отвір відбивача світильника знаходиться в площині, перпендикулярній його осі. (рис. 2 б);

3. Сфера, зрізана площиною, перпендикулярною її осі, а вихідний отвір відбивача світильника знаходиться у січній площині (рис. 2 в);

4. Тор, зрізаний площиною, перпендикулярною його осі, а вихідний отвір відбивача світильника знаходиться у січній площині (рис. 2 г).

Для світильників з двома площинами симетрії форма оболонки відбивача світильника може мати в основі, наприклад:

1. Прямий круговий циліндр (циліндр обертання), зрізаний площиною, паралельною його осі, а вихідний отвір відбивача світильника знаходиться у січній площині (рис. 3 а).

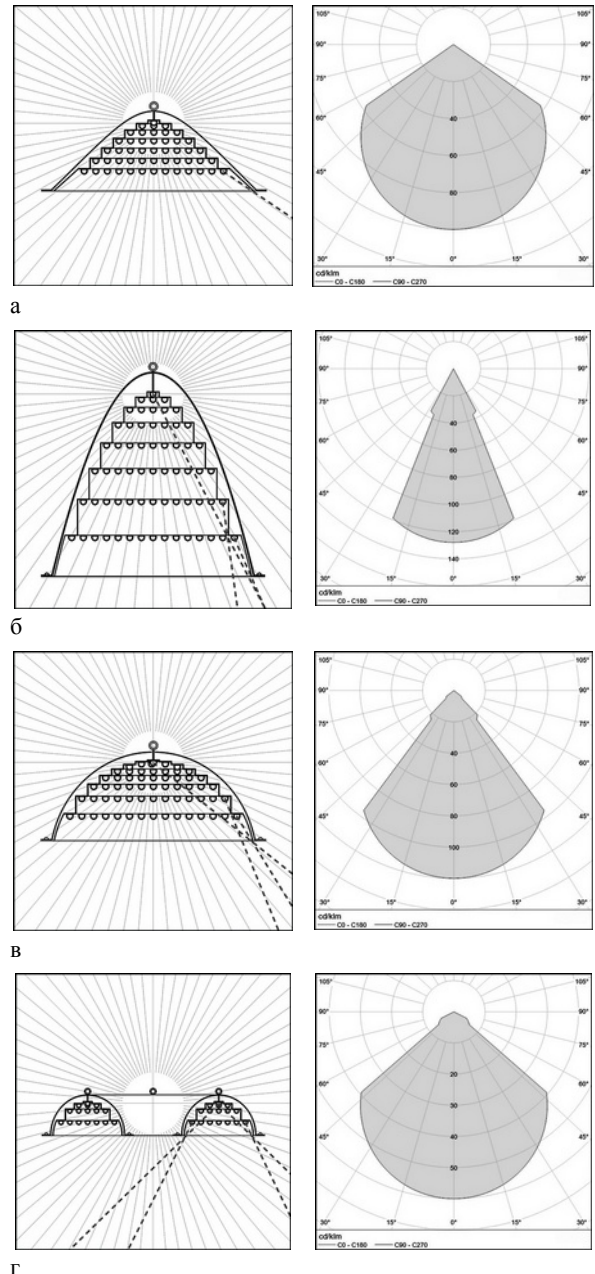


Рис. 2. Конструктивні схеми і діаграми світлового розподілу відбивачів світильників з круговою симетрією на основі:  
а – гіперолоїда, б – параболоїда, в – сфери, г – тору.

2. Пряму трикутну призму, а вихідний отвір відбивача світильника знаходиться у площині однієї з її бічних граней (рис. 3 б);

3. Пряму чотирикутну призму, основи якої є рівнобічними трапеціями, а вихідний отвір відбивача світильника знаходиться у площині більшої бокової грані призми (рис. 3 в).

Згідно з концепцією, з одним корпусом може поєднуватися один, декілька або багато відбивачів, а також декілька або багато корпусів можуть поєднуватися між собою.

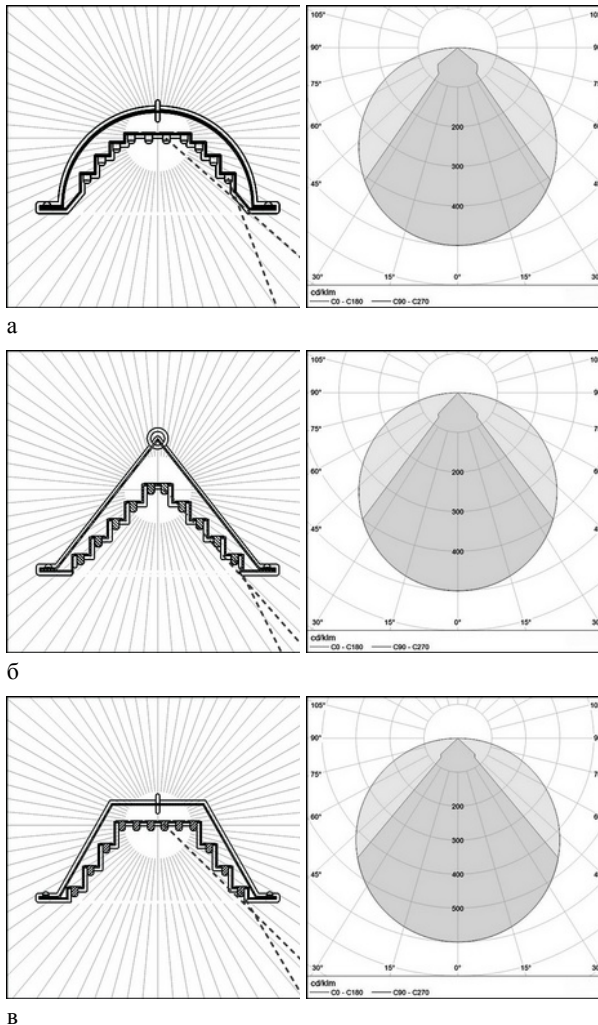


Рис. 3. Конструктивні схеми і діаграми світлового розподілу відбивачів світильників з двома площинами симетрії на основі:  
 а – циліндра, б – трикутної призми,  
 в – чотирикутної призми.

Поєднання відбивача з корпусом відбувається за допомогою підвісу, на кінці якого знаходиться застібка-карабін, яка забезпечує кріплення відбивача за кільце на його вершині. Дріт, який виходить з відбивача, приєднується до дроту, який виходить з корпусу, за допомогою конектора, що забезпечує відповідні умови для технічного обслуговування світильника. Отвори в зовнішній поверхні оболонки відбивача світильника виконують дві функції:

- утилітарну – забезпечують пасивне тепловідведення від світлодіодів;
- естетичну – за рахунок виконання у вигляді фігурних прорізів і групування в різноманітні орнаментальні, ритмічні і

метричні композиції, чим сприяють збагаченню пластики форми відбивача.

До внутрішньої поверхні оболонки відбивача світильника у будь-якій кількості можуть кріпитися тонкі підвіси з гранованими прозорими елементами, які виконують декоративну функцію. Заломлення світла гранями прорізів створюють легкі відблиски та додаткові світлові ефекти. Світлодіоди, змонтовані на кожній зі сходинок, приєднуються до пристрою керування як окремий канал, що забезпечує можливість незалежного ввімкнення і вимкнення груп світлодіодів, які належать до різних сходинок.

**Висновки.** Встановлено, що специфіка дизайну світлодіодних світильників прямого світла полягає у наступному: спрямування світлового потоку кожного джерела перпендикулярно до освітлюваної поверхні для підвищення загальної світлової ефективності світильника; використання для монтажу світлодіодів поверхні якомога більшої площі; виготовлення відбивачів з алюмінію або теплопровідного пластику; передбачення отворів у зовнішній обмежувальній поверхні оболонки відбивача світильника для покращення теплового режиму світильника; використання світлодіодів з різними тілесними кутами випромінювання і надання можливості автономного управління невеликими групами світлодіодів для забезпечення варіативності світлового розподілу; розміщення світлодіодів з якомога меншою відстанню між їхніми центрами для пом'якшення множинних тіней; використання в одному світильнику світлодіодів з однаковою формою лінз (або їхньою відсутністю) для забезпечення естетичної узгодженості всього виробу.

Спроектвані на базі цих положень дві серії світлодіодних світильників прямого світла: з двома площинами симетрії та круговою симетрією відбивача – забезпечують високі технічні та естетичні властивості. Світильники захищені патентом України на корисну модель №135975.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальшому доцільно дослідити специфіку дизайну світлодіодних світильників розсіяного світла, а також детально розглянути спрощену методику розрахунку і побудови кривих сили світла світлодіодних світильників прямого світла на початкових етапах дизайнерського проектування.



### Література

1. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы : учеб. для электротехнических техникумов / Ю. Б. Айзенберг. - Москва: Энергия, 1980. - 464 с.
2. Світлодіоди: Новинки. Практика. Перспективи. Офіційний каталог виставки світлодіодного освітлення LED expo. Матеріали конференції LED Progress. 13-15 вересня 2017 р., Київ, Україна, 2017. - 128 с.
3. Сорокін В. М. Проблеми підвищення енергетичної ефективності та якості світла [Електронний ресурс] / В. М. Сорокін // доповідь на конференції LED Progress 13-15 вересня 2017 р., Київ, Україна. – Режим доступу: <http://ualedlight.org/images/LedExpo2017/1/Sorokin.pdf>
4. Исмагилов Д. Г. Театральное освещение / Д. Г. Исмагилов, Е. П. Древалёва. - Москва: ЗАО «ДОКА Медиа», 2005. - 360 с.
5. ДСТУ ІЕС 60050-845:2012 (ІЕС 60050-845:1987, ІДТ). Міжнародний словник електротехнічних термінів. Частина 845. Світлотехніка. - Чинний від 01.03.2013. - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2013. – 210 с.
6. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. – Чинні від 01.03.2019. – Київ: Укрархбудінформ, 2018. – 137 с.
7. Charlotte & Peter Fiell. 1000 Lights / Charlotte Fiell, Peter Fiell. - Köln: TASCHEN GmbH, 2013. – 639 p.
8. Chapter 7. Luminaires // Lighting Engineering. - INDALUX, 2002. - S. 67-87.
9. Пул Ч. Нанотехнологии. 4-е издание, исправл. и дополн. / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс; пер. с англ. под. ред. Ю. И. Головина. - Москва: Техносфера, 2009. - 336 с.
10. Коваль Л.М. Дизайн & LED-технології : монографія / Л. М. Коваль. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 132 с.
11. Тимофеева Л. Г. Основы начертательной геометрии : учеб. пособие / Л. Г. Тимофеева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. – 140 с.
12. Забелин А. В. Основы начертательной геометрии / А. В. Забелин; под. ред. д.т.н., проф. В. И. Горячева. – ТГТУ, 2006. – 188 с.
13. Михненко Л. В. Основы начертательной геометрии : учеб. пособие / Л. В. Михненко. – Москва: МГТУ ГА, 2001. – 79 с.
14. Гордон В. О. Курс начертательной геометрии : учеб. пособие / В. О. Гордон, М. А. Семенов-Огиевский; под. ред. Ю. Б. Иванова. – 23-е изд., перераб. – Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1988. – 272 с.
15. Словарь терминов по начертательной геометрии и инженерной графике / сост. Т. В. Семенова, Г. А. Евдокимова, Е. В. Петрова. – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т, 2011 – 156 с.
16. Ковальов Ю. М. Прикладна геометрія : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / Ю. М. Ковальов, В. М. Верещага. – Київ: 2012. – 472 с.
17. Пат. 135975 Україна. МПК F21S 4/00, F21S 10/00. Світильник на світлодіодах / Л. М. Коваль ; власник Л. М. Коваль. - № у 2019 01849 ; заявл. 25.02.2019, опублік. 25.07.2019 бюл. № 14.

### References

1. Aizenberg Yu. B. *Svetovyye pribory*. Energiia, 1980.
2. Svitlodiody: Novynky. Praktyka. Perspektyvy. Ofitsiyniy kataloh vystavky svitlodiodnoho osvittennia LED expo. *Materialy konferentsii LED Progress. 13-15 veresnia 2017 r., Kyiv, Ukraina*, 2017.
3. Sorokin V. M. “Problemy pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti ta yakosti svitla.” *LED Progress 13-15 veresnia 2017 r., Kyiv, Ukraina*, <http://ualedlight.org/images/LedExpo2017/1/Sorokin.pdf>
4. Ismagilov D. G., DrevalYova E. P. *Teatralnoe osveschenie*. ЗАО «ДОКА Медиа», 2005.
5. *Mizhnarodnyi slovnyk elektrotekhnichnykh terminiv*. Chastyna 845. Svitlotekhnika: DSTU IES 60050-845:2012 (IES 60050-845:1987, IDT). DP «UkrNDNTs», 2013.
6. *Pryrodne i shtuchne osvittennia*. DBN V.2.5-28-2018, Ukrarkhbudinform, 2018.
7. Charlotte & Peter Fiell. *1000 Lights*. TASCHEN GmbH, 2013.
8. Chapter 7. Luminaires. *Lighting Engineering*. INDALUX, 2002.
9. Pul Ch., Ouens F. *Nanotekhnologii. 4-e izdanie, ispravl. i dopoln.* Tehnosfera, 2009.
10. Koval L.M. *Dyzain & LED-tekhnolohii*. ZNTU, 2014.
11. Timofeeva L. G. *Osnovy nachertatelnoi geometrii*. Ural. gos. lesotehn. un-t, 2004.
12. Zabelin A. V. *Osnovy nachertatelnoi geometrii*. TGTU, 2006.
13. Mihnenkov L. V. *Osnovy nachertatelnoi geometrii*. MGТУ GA, 2001.
14. Gordon V. O., Sementsov-Ogievskii M. A. *Kurs nachertatelnoi geometrii*. Nauka, Gl. red. fiz.-mat. Lit., 1988.
15. Semenova T. V., Evdokimova G. A., Petrova E. V. *Slovar terminov po nachertatelnoi geometrii i inzhenernoi grafike*. Novosib. gos. agrar. un-t, Inzhener. in-t, 2011.
16. Kovaliov Yu. M., Vereshchaha V. M. *Prykladna heometriia*. Kyiv, 2012.
17. Koval L. M. “Svitylnyk na svitlodiodakh.” Patent of Ukraine 135975. 25 July 2019.

УДК 745/749:628.9

## Специфика дизайна светодиодных светильников прямого света

Л. М. Коваль<sup>1</sup>

<sup>1</sup>канд. искусствоведения, доц., докторант. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

*Аннотация. В работе исследуется дизайн светодиодных светильников прямого света и определяется, что его специфика заключается в направлении светового потока каждого источника перпендикулярно освещаемой поверхности (для повышения общей световой эффективности светильника), использовании поверхности как можно большей площади для монтажа светодиодов, применении для изготовления отражателей таких материалов как алюминий или теплопроводный пластик, обеспечении отверстий во внешней ограничительной поверхности оболочки отражателя (для улучшения теплового режима светильника), использовании светодиодов с различными телесными углами излучения и предоставлении возможности автономного управления небольшими группами светодиодов для обеспечения вариативности светового распределения, размещении светодиодов с как можно меньшим расстоянием между их центрами для смягчения множественных теней, использовании в одном светильнике светодиодов с одинаковыми формами линз для обеспечения эстетической согласованности всего изделия. Руководствуясь вышеприведёнными положениями сконструированы две серии светодиодных светильников прямого света со ступенчатой формой отражателя: с двумя плоскостями симметрии и круговой симметрией отражателя. Разработанные конструкции защищены патентом Украины на полезную модель № 135975.*

*Ключевые слова: дизайн, светодиодный светильник, светильник прямого света, симметричный светильник.*

UDC 745/749:628.9

## Design Specificity of Direct Light LED Fixtures

L. Koval<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor, doctoral student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

*Abstract. The efficiency of electricity consumed in the field of lighting is largely determined by the nomenclature and characteristics of lighting fixtures. The nomenclature, the quality and the number of available light sources affect the range, design features and operational characteristics of lighting fixtures. The transition of society to digital light-emitting diode technology in lighting is a change in the paradigm that occurs at a rapid pace. Therefore, the use of such new light sources as LEDs for general illumination actualizes the need to investigate the specifics of light fixture design based on these sources. The article deals with the design of LED direct light fixtures. It was determined that its specificity consists in the following factors: directing the luminous flux of each light source perpendicular to the illuminated surface to improve the overall luminous efficiency of a fixture, using a surface as large as possible for the installation of LEDs, applying materials such as aluminium or thermal-conductive plastic for the manufacturing of reflectors, providing holes in the outer bounding surface of the reflector shell to improve the thermal conditions of a fixture, using LEDs with different body angles and the possibility of autonomous control of small groups of LEDs to ensure the variability of light distribution, placing LEDs with the shortest distance possible between their centres to soften multiple shadows, using LEDs with identical lens shapes in the same fixture to ensure aesthetic consistency of the entire product. Guided by the above-mentioned design features, two series of direct light LED lamps were designed using stepped shape of the reflector: one with two symmetry planes and the other with circular symmetry of a reflector. These constructions are protected by the Ukrainian Patent for utility model # 135975. In the future, it is expedient to study the design specifics of scattered light LEDs, as well as to consider in detail the simplified method of calculation and formation of light intensity curves of LED direct light fixtures at the early stage of their design.*

*Keywords: design, LED direct light fixtures, symmetrical fixtures.*

Надійшла до редакції / Received 31.07.2019.

УДК 661.162.63:001.891.5

## Експериментальні дослідження процесів сушіння лікарських рослин

Д. В. Гузик<sup>1</sup>, О.Б. Борщ<sup>2</sup>, А. В. Рибалка<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, guzkd64@ukr.net

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, borshch@ukr.net

<sup>3</sup>магістрант, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, toha.rubalka@gmail.com

*Анотація. Розглянуто проблеми сушіння та зберігання лікарської рослинної сировини. Показано, що сушіння є найбільш простим і економічним методом консервування лікарської сировини, що забезпечує збереження біологічно активних речовин. Зроблено аналіз останніх досліджень та публікацій, що були присвячені розгляду теоретичних і практичних аспектів розвитку сушіння лікарських рослин і висвітлені в працях як вітчизняних так і зарубіжних вчених. Наведені головні вимоги до сушильних установок. Розглянуто способи сушіння лікарської рослинної сировини. Сформульовані цілі і необхідність проведення експериментів щодо дослідження впливу змін температури повітря і швидкості його руху на процес сушіння. Визначені головні умови отримання на виході якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними енерговитратами. Представлено конструкцію камерної конвективної сушарки в якій проводилися досліді в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наведено результати її перевірки на аеродинамічні та теплотехнічні показники. Проведені досліді з сушіння кропиви, їхній аналіз та порівняння. Обрано найбільш доцільний варіант сушіння кропиви. Зроблені основні висновки за результатами проведених експериментів. Показано необхідність і перспективи подальших досліджень з сушіння лікарських рослин.*

*Ключові слова: природне сушіння, конвективне сушіння, сушильна камера, лікарська рослинна сировина.*

**Вступ.** Протягом останніх років має місце тенденція до зростання попиту споживачів на лікувально-профілактичні засоби природного походження. Більша частина лікарської рослинної сировини використовується в медицині та в інших галузях промисловості у висушеному вигляді. У зв'язку з цим постає проблема сушіння та зберігання лікарської рослинної сировини.

**Актуальність дослідження.** Процес сушіння використовується як найбільш простий і економічний метод консервування лікарської сировини, що забезпечує збереження біологічно активних речовин. Також це дає змогу збільшити термін придатності продукції та дозволяє зменшити об'єми приміщень для її зберігання. Процес сушіння потрібно проводити не пізніше ніж через 1-2 години після заготівлі сировини, що дає можливість максимально зберегти її зовнішній вигляд і корисні речовини, та не виходити за рамки рекомендованого температурного режиму.

**Останні дослідження та публікації.** Теоретичні й практичні аспекти розвитку сушіння лікарських рослин висвітлені в працях вітчизняних і зарубіжних вчених: І. В. Кузнєцова, Т. В. Мірзоева, Я. Д. Ярош, С. В. Філенко, О. О. Аннамухаммедова, А. О. Аннамухаммедов та інші.

До сушильних установок висувається достатньо багато вимог, а саме:

- забезпечення рівномірного сушіння та отримання високоякісної продукції у всьому об'ємі сушильної камери;
- конструкція сушарки повинна мати мінімальні габарити з мінімальними витратами на матеріал, із якого вона виготовляється;
- сушильна установка повинна бути простою в обслуговуванні;
- на процес сушіння одного кілограму сировини повинно бути затрачено мінімальну кількість енергоресурсів.

Одним з основних факторів, що характеризує сушильну установку, є рівномірність сушіння. Для зменшення тривалості процесу сушіння потрібно здійснювати процеси зовнішнього тепло- та масообміну [1, 2]. Ефективність сушильних установок залежить від таких факторів як:

- комбіновані методи енергопідведення;
- раціональне включення сушильних установок в енергетичну та теплову схеми підприємства;
- невисока температура агента сушіння;
- вибір методів та режимів сушіння;
- вибір типу установки.

При проектуванні сушильної установки

використовуються основні принципи технології сушіння. Залежно від сировини та об'ємів сушіння вибирається тип сушильної установки та здійснюється її проектування для потрібних цілей [3].

Методи сушіння лікарських рослин поділяють на дві групи: сушіння природною теплою, без штучного підігрівання (повітряно-тіньове, сонячне); сушіння зі штучним підігріванням (теплове); сушіння під вакуумом; сушіння в середовищі рідкого азоту.

Повітряно-тіньове сушіння ведеться під наметами, на пристосованих горищах, краще під залізним дахом у спеціально обладнаних приміщеннях. Головні вимоги – максимальне використання теплоти сонячних променів і сбалансована вентиляція. Місця для сушіння зазвичай обладнують стелажми з полотном або металевою сіткою. Сировину розкладають на рамках тонкими прошарками, на верхніх полицях розміщують сировину, яку необхідно висушити швидше (квітки конвалії, трава горіцвіту, сировину, яка містить глікозиди). Ефіроолійну та іншу сировину, яка для сушіння потребує низької температури, розміщують на нижніх полицях таким чином, щоб її запах не поширювався на інші види сировини.

Сонячне сушіння, яке ведеться з використанням теплоти сонячних променів, є найбільш простим, енергоощадним і доступним методом. Але при цьому руйнується хлорофіл. Тому листки набувають бурого кольору, змінюється забарвлення багатьох квітів. Хоча ці зміни не завжди супроводжуються розкладанням активних речовин, зовнішній вигляд сировини погіршується, тому листя, трави і квіти слід сушити тільки повітряно-тіньовим способом.

Сонячне сушіння використовують без шкоди для коріння, кореневищ та кори, однак треба пам'ятати, що для глікозидомістких і деяких алкалоїдомістких видів сировини воно не придатне (у кореневищах таких рослин, як скополія та жовтозілля, зменшується кількість алкалоїдів). Цей метод використовується для досушування «зернових» видів сировини.

Теплове штучне сушіння використовують для висушування різних морфологічних груп сировини. Воно забезпечує швидке зневоднення та може бути використане за будь-яких кліматичних умов. За характером завантажування і вивантажування матеріалу та умовами проведення процесу сушарки поділяють на два типи: періодичної та безперервної дії. Сушарками періодичної дії є в основному каме-

рні, парові, вогневі, сонячні та електросушарки. Сушарки безперервної дії є стрічковими [4].

Численні конструкції сушарок можуть бути поділені на сушарки стаціонарні й переносні. Переносні сушарки бувають різної конструкції. Для сушіння соковитих ягід (малини, чорниці) найбільш придатні плодо- і овочесушарки.

Розрізняють конвективне та терморадіаційне сушіння. У сушарках конвективного типу, які найбільше поширені в промисловості, сушильним агентом пропонується використовувати нагріте повітря [5]. Для теплового сушіння лікарської рослинної сировини в сілських умовах використовуються печі.

**Формулювання цілей статті.** Метою проведення експериментальних досліджень з лікарською рослиною (кропивою) було визначення впливу зміни температури повітря (агента сушки) та його швидкості на процес сушіння, а також отримання на виході якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними енергозатратами.

**Дослідна установка.** Для проведення дослідження процесу сушіння використовувалася камерна конвективна сушарка, яка знаходиться в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Загальний вид стенду зображено на рис. 1.

Основним елементом сушарки є камера рис. 2, всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом всього процесу сушіння [1].

Для регулювання швидкості потоку повітря в стенді використано вентилятор Systemair KV 160 M з частотно-регульованим двигуном. Для отримання необхідної температури повітря встановлено електричний калорифер AeroStar SEH 50-25/22,5. Цей калорифер має дев'ять тенів сумарною потужністю 22,5 кВт. При дослідженнях використовувалося лише три тени потужністю по 2,5 кВт кожен.

Огороджувальні конструкції сушильної камери виготовлені з деревини та обшиті з середини фольгою, що дає змогу зменшити променеві тепловтрати. У дверцятах камери влаштоване віконце для візуального спостереження за процесом та фіксації температури в об'ємі камери. Також стенд обладнаний трьома спиртовими термометрами, які дають змогу спостерігати за температурою без порушення температурного режиму [6].





Рис. 1. Загальний вид стенду: 1 – сушильна камера, 2 – повітряний нагнітач, 3 – електричний калорифер, 4 – спиртовий термометр, 5 – частотний регулятор обертів, 6 – оглядове віконце.



Рис. 2. Камера сушіння:  
1 – лампа «холодного світла», 2 – спиртовий термометр, 3 – решітка для сировини.

**Дослідження температурного режиму.** Метою проведених досліджень було визначення можливості регулювання кількісно-якісних показників параметрів агента сушіння, а саме температури та витрати. Перший параметр регулюється увімкненням одного, двох або трьох ТЕНів сумарною тепловою потужністю, відповідно, 2,5, 5,0 та 7,5 кВт.

Другий параметр – це витрата повітря (регулюється за рахунок зміни швидкості руху), зміна якої здійснювалася за допомогою частотного перетворювача.

На кожному етапі проводилися заміри температури при зміні витрати повітря. Сам експеримент проводився в три етапи, при увімкненні одного, двох та трьох ТЕНів, відповідно. За результатами випробувань було побудовано графік зміни температури в камері залежно від швидкості агента сушіння (рис. 3) [6]. Крім того, були проведені обстеження сушильної камери за допомогою тепловізора з метою з'ясування питання рівномірності розподілу температури на поверхні робочої частини стенду. Результати фотофіксації цих випробувань наведені на рис. 4.



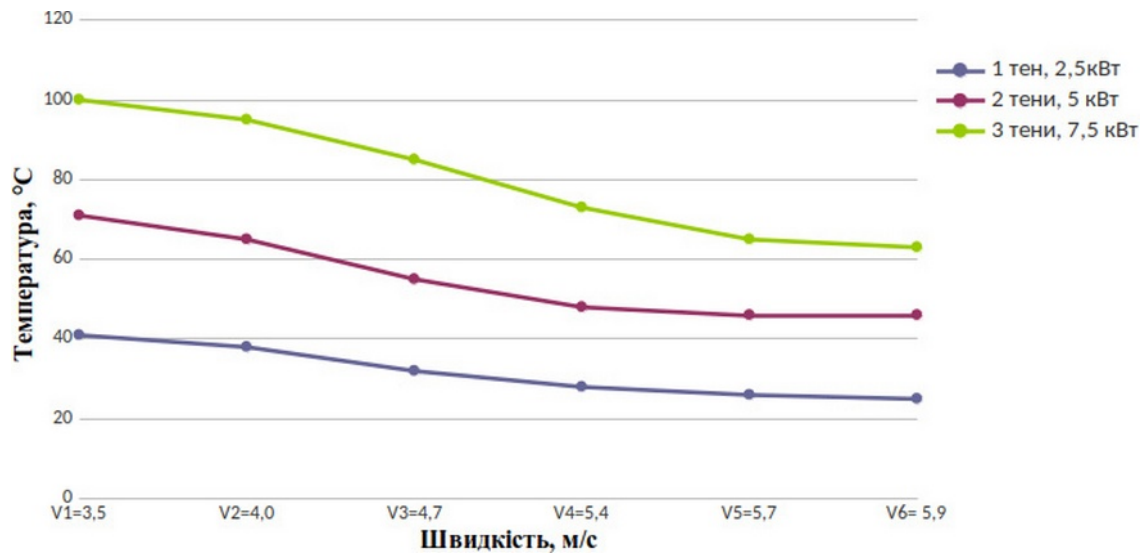


Рис. 3. Результати досліджень температурного режиму.

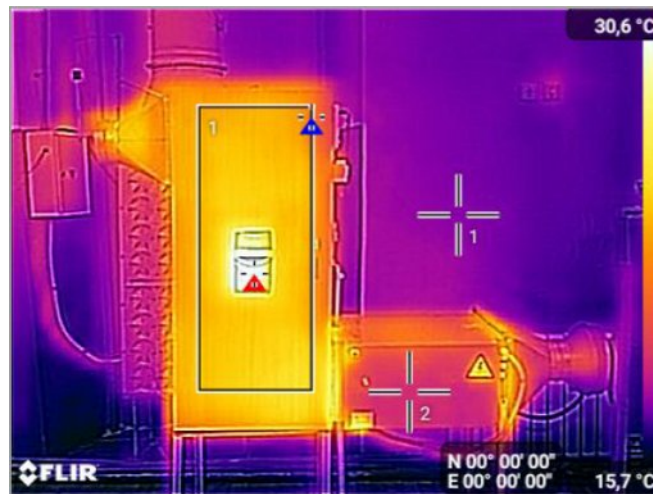


Рис. 4. Знімок стенду з тепловізора.

**Дослідження аеродинамічних характеристик.** Наступним кроком проводилося тестування аеродинамічних характеристик стенда з метою визначення «застійних зон».

Так, для перевірки розподілу повітряних потоків у сушильній камері були проведені лабораторні випробування з візуалізацією руху повітря через камеру. Для визначення розподілу потоків у різних площинах за висотою камери до сушильних рамок рівномірно були прикріплені короткі нитки.

Після розміщення сушильних рамок у всій висоті сушильної камери та увімкнення нагнітача через оглядове віконце були проведені візуальні спостереження з метою визначення «застійних зон» (рис. 5).

Досліди показали наявність таких зон. Для запобігання цих зон та задля рівномірного розподілу повітряних потоків у камері було встановлено шибер. Це надало можливості вирівняти епюру повітряного потоку у всій висоті

камери й одночасно проводити сушіння на всіх ярусах даного стенду [6].



Рис. 5. Зображення «Застійних зон».

**Дослідження процесів сушіння.** Для визначення рівня впливу швидкості потоку повітря та температури на процес сушіння було проведено ряд експериментів. Умовами кожного з експериментів були: стала теплова потужність, стала температура сушильного агента (повітря) протягом усього експерименту та однаковий проміжок часу сушіння. У результаті досліджень визначалась якість продукції і зміна її маси в часі. За основу було прийнято три години на проведення кожного досліді. Для сушіння було використано кропиву дводомну (рис. 6).



Рис. 6. Підготовка сировини для проведення експерименту.

Перші чотири експерименти були проведені при сталій тепловій потужності та температурі протягом експерименту, але при зміні швидкості повітря протягом усіх експериментів.

До початку кожного експерименту заздалегідь вмикався стенд для встановлення в сушильній камері сталого температурний режиму. Перед розміщенням в камері порції сировини її було попередньо зважено. У ході досліджень щогодини проводилося вимірювання маси сировини. Сировину на решітку було розкладено тонким шаром для більш рівномірного висушування за всією площею решітки. Отримані результати перших чотирьох досліджень (табл.) дозволяють проаналізувати протікання процесу сушіння. Для більш чіткого розуміння було побудовано загальний графік втрати маси в проміжку часу (рис. 7). При цьому масу сировини перераховано в процентному співвідношенні. За 100 % було взято початкову масу.

За графіками досліджень (рис. 7) найкра-

шим є варіант сушіння кропиви за умов досліді №1, а саме: при температурі 49°C (рекомендовано 40-60°C), та швидкості руху агента сушіння 3,7 м/с. При таких параметрах агента сушіння втрачається найбільше вологи. З точки зору технології сушіння не було виходу за межі рекомендованого температурного режиму. При проведенні всіх експериментальних досліджень витрачалася однакова кількість теплової енергії. Однак, судячи з графіка (рис. 7) близько 75 % вологи втрачається протягом першої години сушіння, а протягом 2 і 3 години втрачалася незначна кількість вологи. Отже, не доцільно проводити сушіння ще 2 години задля заощадження 2/3 теплової енергії.

За результатами проведених досліджень можна вважати, що перший дослід найбільше підходить для сушіння кропиви і з точки зору отримання якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними енерговитратами.

Наступні п'ять експериментів були проведені аналогічно першим чотирьом, але в них застосовувалися два ТЕНи. При дослідженні температурних режимів сушарки було прийнято рішення не використовувати в експериментах три ТЕНи, оскільки температурний режим у камері виходив за рамки рекомендованого. Аналогічно першим дослідженням отримані дані (табл., рис. 8) дозволили зробити висновок, що при кожному досліді при застосуванні двох ТЕНів втрачається майже однакова кількість вологи. Крім того, спостерігається втрата близько 80 % вологи протягом першої години експерименту. З точки зору технології сушіння в п'ятому та шостому експериментах відбувся вихід за межі рекомендованого температурного режиму, а в сьомому, восьмому і дев'ятому досліді експерименти проходили за рекомендованої температури.

Для всіх експериментів цієї серії витрачено однакову кількість теплової енергії. У сьомому, восьмому і дев'ятому досліді близько 80 % вологи втрачається також протягом першої години сушіння. Таим чином, умови саме ці досліді забезпечують допустимі умови сушіння, оскільки не було порушення технології сушіння та отримано якісну сировину.

**Висновки.** Аеродинамічні випробування розробленої сушарки показують доцільність організації руху агента сушіння чітко у вертикальному напрямку (знизу догори) для запобігання утворення "застійних зон". Дослідження температурного режиму стенду показали можливість регулювання кількісно-якісних показників у досить великому діапазоні.

Таблиця 1.

Результати лабораторних досліджень										
Номер досліду		1	2	3	4	5	6	7	8	
Теплова потужність, кВт		2,5				5				
Середня температура, °С		49	46	40	39	76	65	57	51	
Швидкість, м/с		3,7	4,3	4,6	4,9	4,3	4,6	4,9	5,2	
Положення регулятора		1	2	3	4	2	3	4	5	
Маса, г	початкова	211	201	243	185	257	166	197	212	
	після 1 год.	83	115	157	106	64	47	72	59	
	після 2 год.	54	77	126	71	40	33	52	37	
	після 3 год.	42	60	98	57	33	28	43	29	

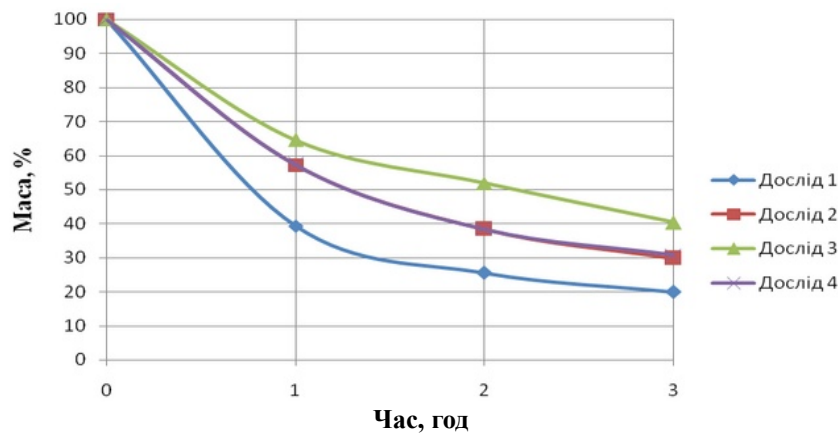


Рис. 7. Порівняльний графік втрати маси чотирьох експериментів

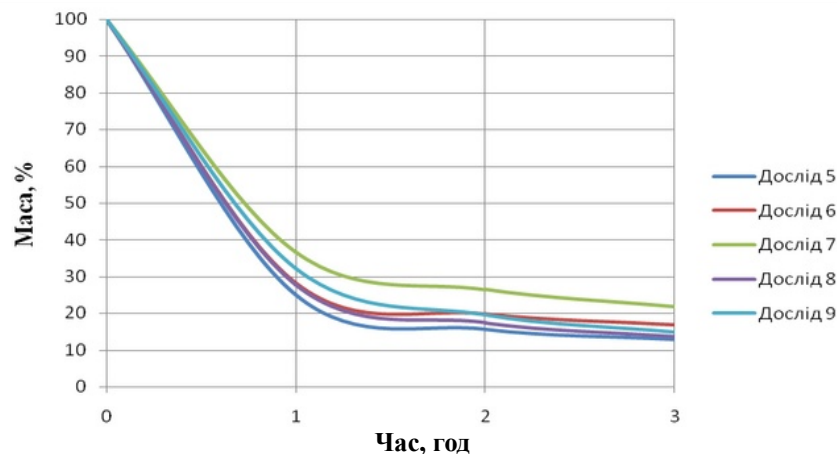


Рис. 8. Порівняльний графік п'яти експериментів

Визначений у результаті досліджень найбільш доцільний варіант сушіння кропиви дає якісну сировину за короткий проміжок часу та з мінімальними енергозатратами. Для коректного зняття показів зміни температури сировини необхідно удосконалити процес фіксації цього показника без порушення температурного режиму сушарки.

**Перспективи подальших досліджень.** Стенд буде вдосконалено шляхом покращення теплоізоляції сушильної камери, обладнання стенду стаціонарними вагами, щоб при зважуванні сировини щогодини не діставати її з камери [7]. Також буде розроблено комп'ютерну систему керування сушильною камерою, як наведено у [8], що зменшить трудомісткість.

### Література

1. Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки: навч. пос. / С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 86 с. – URL: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>
2. Borshch O. B. The non-stationary thermal mode for barrier building constructions in non-symmetric boundary conditions / O. B. Borshch, V. V. Borshch, D. V. Guzyk // *International Journal of Engineering & Technology*. – 2018. – Vol. 7, №3.2. – pp. 535-538.
3. Розробка проектів різних видів сушарок. / А.Ф. Строй, О.Б. Борщ, Р.С. Мягкохліб, Л.В. Гирман. – Каталог наукових розробок. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 165с.
4. Сушіння лікарської рослинної сировини. URL: <https://lifelib.info/botany/pharmaceutical/3.html>.
5. Тарасенко Т. А. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів / Т. А. Тарасенко, В. В. Євлаш, О. В. Неміріч, О. М. Вашека, А. В. Гавриш, О. І. Кравченко // *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. – Том 17 № 4 (64). – 2015. – с. 148-158.
6. Гузик Д. В. Експериментальні випробування лабораторного стенда для дослідження процесів сушіння / Д. В. Гузик, М. П. Єршов // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник*. – Вип. 27. – 2018. – с. 52-60.
7. Гузик Д. В. Лабораторні дослідження процесів сушіння лікарських трав при застосуванні примусової конвекції. Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів (Полт НТУ 22 квітня – 17 травня 2019 р.) / Д. В. Гузик, А. В. Рыбалка. – 2019. – Том 2. – С. 180-181.
8. Комп'ютерна система керування сушильною камерою. URL: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/541/524>.

### References

1. Tkachenko S. I., Spivak O. Yu. *Sushylni protsesy ta ustanovky*. VNTU, 2009. URL: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>
2. Borshch O. B., Borshch V. V., Guzyk D. V. "The non-stationary thermal mode for barrier building constructions in non-symmetric boundary conditions." *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7, №3.2. pp. 535-538.
3. Stroi A. F., Borshch O. B., Miahkokhlib R. S., Hyrman L. V. *Rozrobka proektiv riznykh vydiv susharok*. Katalog naukovykh rozrobok. PoltNTU, 2011. 165 p.
4. *Sushinnia likarskoi roslinnoi syrovyny*. URL: <https://lifelib.info/botany/pharmaceutical/3.html>.
5. Tarasenko T. A., Yevlash V. V., Niemirich O. V., Vasheka O. M., Havrysh A. V., Kravchenko O. I. "Teoretychne doslidzhennia sposobiv sushinnia ovochiv ta fruktiv." *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Gzhytskoho*. Tom 17 № 4 (64). 2015. pp. 148-158.
6. Huzyk D. V., Yershov, M. P. "Eksperymentalni vyprobuvannia laboratornoho stenda dlia doslidzhennia protsesiv sushinnia." *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. 2018. Vyp. 27. pp. 52-60.
7. Huzyk D. V., Rybalka A. V. "Laboratorni doslidzhennia protsesiv sushinnia likarskykh trav pry zastosuvanni prymusovoi konveksii." *Tezy 71-oi naukovoї konferentsii profesoriv, vykladachiv, naukovykh pratsivnykiv, aspirantiv ta studentiv (Polt NTU 22 kvitnia – 17 travnia 2019 r.)*. 2019. Tom 2. C. 180-181.
8. *Kompiuterna sistema keruvannia sushylnoiu kamerou*. URL: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/541/524>.

УДК 661.162.63:001.891.5

## Экспериментальные исследования процессов сушки лекарственных растений

Д. В. Гузик<sup>1</sup>, Е. Б. Борщ<sup>2</sup>, А. В. Рыбалка<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, [guzikd64@ukr.net](mailto:guzikd64@ukr.net)

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, [borshch@ukr.net](mailto:borshch@ukr.net)

<sup>3</sup>магистрант, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина, [toha.rubalka@gmail.com](mailto:toha.rubalka@gmail.com)

*Аннотация. Рассмотрены проблемы сушки и хранения лекарственного растительного сырья. Показано, что сушка является наиболее простым и экономичным методом консервирования лекарственного сырья, обеспечивающим сохранение биологически активных веществ. Сделан анализ последних исследований и публикаций, посвящённых рассмотрению теоретических и практических аспектов развития сушки лекарственных растений, которые освещены в работах как отечественных так и зарубежных авторов. Приведены основные требования к*



сушильным установкам. Рассмотрены способы сушки лекарственного растительного сырья. Сформулированы цели и задания проведения экспериментов по исследованию влияния изменений температуры воздуха и скорости его движения на процесс сушки. Также определены главные условия получения на выходе качественного сырья за короткий промежуток времени с минимальными энергозатратами. Представлена конструкция камерной конвективной сушилки, в которой проводились опыты в лаборатории кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и теплоэнергетики Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Приведены результаты её проверки на аэродинамические и теплотехнические показатели. Проведены опыты по сушке крапивы, их анализ и сравнение. Выбран наиболее целесообразный вариант сушки крапивы. Сделаны основные выводы по результатам проведённых экспериментов. Показана необходимость и перспективы дальнейших исследований сушки лекарственных растений.

*Ключевые слова:* естественная сушка, конвективная сушка, сушильная камера, лекарственное растительное сырьё.

**UDC 661.162.63:001.891.5**

## **Experimental Studies of Drying Processes of Medicinal Herbs**

D. V. Guzyk<sup>1</sup>, O. B. Borshch<sup>2</sup>, A. V. Rybalka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD, docent, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University Poltava, Ukraine, guzkd64@ukr.net

<sup>2</sup> PhD, docent, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University Poltava, Ukraine, borshch@ukr.net

<sup>3</sup> student. Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University Poltava, Ukraine, toha.rubalka@gmail.com

*Abstract.* In recent years, there has been a trend of increasing consumer demand for natural health remedies. Most medicinal herbs are used in medicine and other industries in the dried form. Due to this, there is a problem of the drying and storage of medicinal herbs. The article is belongs to the task of drying and storage of medicinal herbs. The relevance of drying is proved - as the most simple and economical method of preserving medicinal raw materials ensuring the conservation of biologically active substances. It also increases the shelf life of the product and reduces the storage space. The drying process should be carried out no later than one-two hours after the raw material is harvested, which makes it possible to preserve its appearance and active substances as much as possible, and does not go beyond the recommended temperature regime. The analysis of recent studies and publications devoted to the consideration of theoretical and practical aspects of the development of medicinal herb drying has been made and highlighted in the works of both domestic and foreign scientists. The main requirements for drying the herbs are given. Methods of drying medicinal herbal materials are considered. The goals and the need for experiments to study the effect of changes in air temperature and its velocity on the drying process are formulated. The main conditions for obtaining high-quality raw materials at the output for a short period of time with minimal energy consumption are determined. The design of a chamber convective dryer in which experiments were carried out in the laboratory of the Department of Heat Gas Supply, Ventilation and Heating of the Poltava National Technical Yuri Kondratiuk University is presented. The results of its verification for aerodynamic and thermal performance are presented. Carrying out experiments on drying nettles, their analysis and comparison. The most appropriate option for drying nettles was selected. The main conclusions are drawn from the results of field laboratory experiments. The necessity and prospects of further research on the drying of medicinal plants are proved.

*Keywords:* natural drying, convective drying, drying chamber, medicinal plant raw materials.

Надійшла до редакції / Received 05.09.2019.



УДК 636.03

## Застосування геотермальної вентиляції для теплопостачання приміщень пташників

Н.А. Сподинок<sup>1</sup>, Л.П. Горбаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>викладач. Львівський техніко-економічний коледж національного університету "Львівська політехніка", м. Львів, Україна, lililviv72@gmail.com

*Анотація. Існує потреба додаткових заходів підвищення енергоефективності систем теплозабезпечення пташників. Комплексне застосування системи інфрачервоного опалення у поєднанні з системою геотермальної вентиляції дозволить значно скоротити енерговитрати об'єкту та покращити екологічні показники системи в цілому. Робота геотермальної системи вентиляції полягає у використанні енергії ґрунту для часткового нагрівання припливного повітря, що надходить до приміщення пташника. Також доцільне застосування додаткових заходів рекуперації теплоти витяжного повітря з пташника. У роботі представлена розроблена система подачі теплоти для пташника з інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву зон перебування птиці. Показано ефективність застосування такої системи. Отримано результати досліджень раціональних розмірів модуля для вирощування птиці. Розміри інфрачервоного обігрівача становлять 0,54×0,1 м. Модулі розташовані в два яруси з зонами технологічного обслуговування в пташнику.*

*Ключові слова: інфрачервоне опалення, геотермальна енергія, ґрунтовий теплообмінник, пташник.*

**Вступ.** Завдяки постійному зростанню ціни на енергоносії у всьому світі інтенсивно розвивається вторинна та поновлювана енергетика: вітрова, сонячна, енергія біомаси, геотермальна тощо. Це вказує на актуальність розробок у цьому напрямку. Об'єкти агропромислового комплексу є найбільш енергомісткими і потребують додаткових заходів для економії енергії за рахунок впровадження енергоефективних систем теплозабезпечення.

При передбаченні необхідного мікроклімату в приміщеннях сільськогосподарських комплексів, зокрема пташників, існують значні втрати енергії.

Усі відхилення параметрів навколишнього середовища від нормативних значень негативно впливають на продуктивність м'ясних порід птиці та ефективність виробництва [1]. Тому виникає потреба використання енергоефективної інфрачервоної системи опалення в місцях розміщення птиці.

Інфрачервоні системи опалення на відміну від інших систем забезпечення мікроклімату в пташниках здійснюють локальне опалення. Крім того, інфрачервоне випромінювання позитивно впливає на організм птиці, особливо на молодняк.

**Актуальність дослідження.** Існує потреба застосування додаткових заходів підвищення енергоефективності системи теплозабезпечення пташника. Комплексне застосування си-

стеми інфрачервоного опалення у поєднанні з системою геотермальної вентиляції дозволить значно скоротити енерговитрати об'єкту та покращити екологічні показники системи в цілому.

Робота геотермальної системи вентиляції полягає в використанні енергії ґрунту для часткового нагрівання припливного повітря, що надходить до приміщення пташника. Також доцільним є застосування додаткових заходів рекуперації теплоти витяжного повітря з пташника.

**Останні дослідження та публікації.** На глибині 3 м і більше температура ґрунту протягом року практично не змінюється і приблизно дорівнює середньорічній температурі зовнішнього повітря. На глибині 1,5...3,2 м взимку температура коливається від +5°C до +7°C, а влітку від +10°C до +12°C [2, 3]. Під землею нижче рівня промерзання ґрунту встановлюється система повітроводів, які виконують функцію теплообмінника між землею та повітрям, що проходить цими каналами. Взимку припливне холодне повітря, що потрапляє в будинок і проходить через ґрунтовий теплообмінник, нагрівається, а влітку – охолоджується. При раціональному розподілі повітроводів можна виводити з ґрунту значну кількість теплової енергії з низькими витратами невідновлюваної енергії [5]. Тому енергію земних надр доцільно використовувати для попереднього нагрівання

зовнішнього повітря у механічних системах вентиляції [4].

**Формулювання цілей статті.** Мета даної роботи розробити систему подачі теплоти для пташника із інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря, та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву місця розміщення птиці. При цьому слід отримати раціональні розміри модуля для вирощування птиці задля ефективного забезпечення технологічного процесу.

**Основна частина.** На основі аналізу діючих систем теплопостачання в зоні перебування птиці запропоновано модульне вирощування птиці як альтернативу традиційному вирощуванню птиці в клітках. При такому способі вирощування є можливість утримувати різновікові групи птиці і забезпечувати температурний режим відповідно до її зростання. Використання модульного вирощування птиці можливо як у всьому пташнику, так і в окремих господарствах як окремому підрозділі [6, 7].

При розробці моделі модуля вирощування птиці виникає необхідність вибору його раціональних конструктивних параметрів. Якщо відомий допустимий діапазон зміни деяких параметрів модуля, то з усього можливого набору потрібно вибрати найбільш доцільні варіанти. Ефективність розв'язку визначалася наявністю бінарного відношення вибору  $R$ , у якому з двох альтернативних варіантів було обрано кращий.

Позначимо через  $x$  раціональний розв'язок і через  $\Omega$  набір допустимих розв'язків. Кожен розв'язок  $x$  від  $\Omega$  відповідає одному з  $n$  числових показників  $X_1(x), \dots, X_n(x)$ . При порівнянні двох варіантів  $x_1, x_2 \in \Omega$ , умова  $x_1 R x_2$  повинна бути виконана [8].

Розміри модуля визначалися з умов технологічного процесу при максимальних показниках випуску продукції в пташнику з урахуванням нормованої щільності посадки птиці,  $n_{\text{норм}} = 0,035 \text{ м}^2$  на голову та нормованої інтенсивності опромінення підлоги у діапазоні  $q_{\text{норм}} = 174 \dots 290 \text{ Вт/м}^2$ .

При опаленні модуля інфрачервоним нагрівачем радіаційна складова передачі теплоти відіграє важливу роль у забезпеченні комфортних умов перебування птиці в модулі.

Зі збільшенням швидкості повітря, м/с, у модулі збільшується інтенсивність конвективної теплопередачі над нагрітою поверхню підлоги. Внаслідок цього знижується температура поверхні підлоги та тіла птиці, що призводить до їхнього швидкого охолодження.

Тому критерієм оцінки раціональних розмірів модуля є мінімальна швидкість припливного повітряного потоку в модулі,  $v_{\text{пр}}$ , м/с, яка знаходиться в межах  $v_{\text{пр}} = 0,2 \dots 0,3 \text{ м/с}$ .

$$v_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} / (3600 F_{\text{пр}} \rho_{\text{пр}}) \rightarrow \min, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $G_{\text{пр}}$  – масова витрата припливного повітря, кг/год;  $F_{\text{пр}}$  – площа припливного повітророзподільника,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_{\text{пр}}$  – густина повітря в модулі,  $\text{кг/м}^3$ . У цьому випадку бінарне відношення вибору  $R$  може бути представлене як

$$x_1 R x_2 = v_{\text{пр}}(x_2) > v_{\text{пр}}(x_1). \quad (2)$$

При визначенні раціональних розмірів модуля в зоні розміщення птиці, а саме довжини  $a$  та ширини  $b$ , м, вводяться обмеження на кількість птиці в модулі  $n \leq n_{\text{норм}}$  та інтенсивність опромінення підлоги  $q \leq q_{\text{норм}}$ .

У табл. 1 представлені результати вирішення проблеми вибору раціональних параметрів модуля вирощування птиці.

Таблиця 1

Результати вирішення проблеми вибору раціональних параметрів модуля

Номер гілки еволюційного пошуку	$a$	$b$	$v_{\text{пр}}$ , м/с
1	1,2	0,8	0,2
2	1,2	1,6	0,26
3	1,2	2,4	0,3

З урахуванням умови критерію вибираються раціональні параметри модуля: довжина 1,2 м і ширина 0,8 м. Для розміщення максимальної кількості модулів у пташнику висоту модуля прийнято 1,5 м.

Інженерний спосіб розрахунку проектних розмірів інфрачервоного обігрівача полягає у визначенні площі поверхні опромінення модуля з відомими його раціональними параметрами, а саме площі модуля та висоти установки нагрівача (рис. 1).

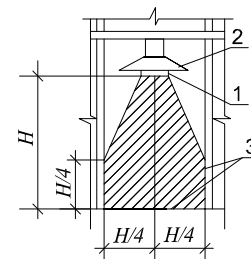


Рис. 1. Опромінення поверхні модуля інфрачервоним нагрівачем:

- 1 - інфрачервоний обігрівач, 2 - витяжна витяжка,
- 3 - поверхня опромінення

Залежність площі опромінення в модулі  $F_{\text{опром}}$ ,  $\text{м}^2$ , від розмірів інфрачервоного нагрівача,  $\text{м}$ , і висоти встановлення випромінювача  $H$ ,  $\text{м}$ , буде мати вигляд:

$$F_{\text{випром}} = (a_{\text{нагр}} + H) (b_{\text{нагр}} + H), \text{ м}^2, \quad (3)$$

Тут  $a_{\text{нагр}}$  – довжина нагрівача,  $\text{м}$ ;  $b_{\text{нагр}}$  – ширина нагрівача,  $\text{м}$ .

При відомих конструктивних розмірах модуля та висоті встановлення нагрівача, отриманих з бінарного співвідношення вибору, розміри інфрачервоного обігрівача будуть рівними  $0,54 \times 0,1 \text{ м}$ .

Модулі розташовані у два яруси з передбаченими у пташнику зонами для технологічного обслуговування (рис. 2).

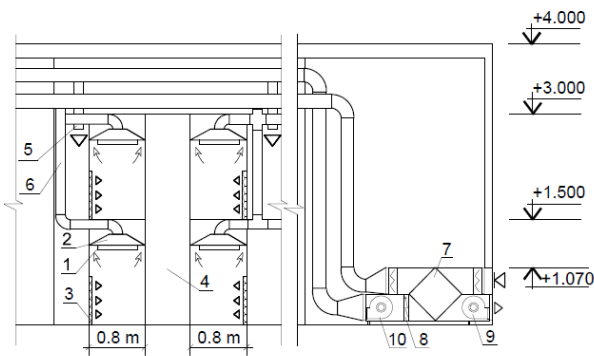


Рис. 2. Розташування модулів у пташнику з рекуперацією теплоти:

- 1 – інфрачервоний обігрівач; 2 – витяжний зонт;
- 3 – перфорований повітророзподільник; 4 – зона технологічного обслуговування; 5 – припливний повітровід;
- 6 – витяжний повітровід; 7 – рекуператор теплоти;
- 8 – калорифер; 9 – вентилятор на всмоктуванні;
- 10 – вентилятор на нагнітанні

Нагрівальним елементом у модулі є інфрачервоний випромінювач 1, який слугує для нагріву поверхонь. Повітря нагрівається за рахунок конвективного теплообміну. Через перфорований повітророзподільник 5 подається припливне повітря для асиміляції надлишку теплоти та вологи протягом усього технологічного процесу. Видалення забрудненого повітря відбувається за допомогою витяжного зонта 2. Надалі це повітря застосовується для нагрівання зовнішнього повітря в рекуператорі 6.

Приєднання модуля до припливно-витяжної системи з пластинчастим рекуператором дозволяє знизити енерговитрати, пов'язані з нагріванням відпрацьованого повітря. Нагрівач повітря 8 використовується для нагрівання припливного повітря до необхідних параметрів після секції рекуператора.

Для економії енергії на нагрівання повітря в повітронагрівачі необхідно застосувати ґрунтовий теплообмінник.

На рис. 3 наведена принципова схема системи геотермальної вентиляції із застосуванням ґрунтового теплообмінника з вентиляційною установкою з рекуперацією теплоти.

Система розроблена для використання теплоти землі. У ґрунт прокладені повітроводи 2, у яких холодне повітря нагрівається завдяки низькотемпературній теплоті ґрунту. При проходженні через установку з рекуперацією теплоти 11, повітря нагрівається до необхідної температури і надходить до пташника.

Повітря, що видаляється із зони розміщення птиці, надходить до рекуператора теплоти і нагріває припливне повітря. Таким чином відбувається економія енергії для додаткового нагрівання повітря у вентиляційній установці.

Оскільки температура ґрунту протягом року сильно не змінюється, а температура навколишнього середовища змінюється, рекуперація теплоти відбувається завдяки різниці температури.

Влітку температура зовнішнього повітря досить висока. Коли повітря проходить повітроводами під землею, воно віддає частину своєї теплоти до ґрунту і потрапляє до споруди охолодженим.

**Висновки.** Розроблена система подачі теплоти для пташника із інтегрованим застосуванням ґрунтового теплообмінника для нагріву припливного повітря та інфрачервоного обігрівача для локального обігріву зони перебування птиці забезпечує енергоефективне вирощування птиці.

Отримані розміри модуля для вирощування птиці дозволяють ефективно вести технологічний процес. Доцільні розміри інфрачервоного обігрівача становлять  $0,54 \times 0,1 \text{ м}$ . Модулі розташовані в два яруси, з зонами технологічного обслуговування в пташнику.

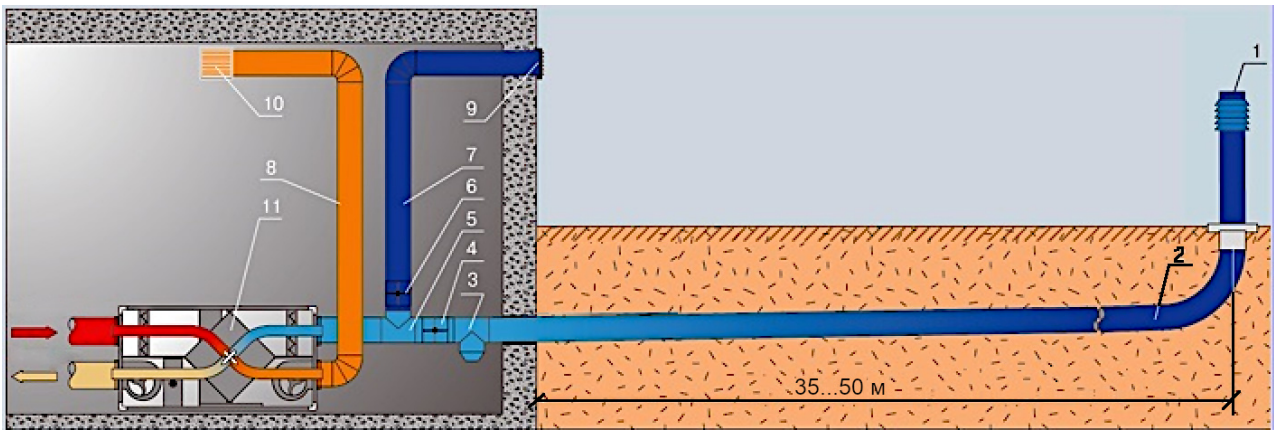


Рис. 3. Принципова схема системи геотермальної вентиляції [9]:

1 – колонка подачі повітря, 2 – повітровід ґрунтового теплообмінника, 3 – пристрій для збору та відведення конденсату, 4 - автоматичний затворний клапан, 5 – трійник, 6 – автоматичний байпас, 7 - байпасний канал живлення, 8 – витяжний повітровід, 9 – припливна решітка, 10 - витяжна решітка, 11 – припливно-витяжна система з рекуперацією теплоти

### Література

1. Dolgikh D. Results of Experimental Studies of the Air Heat Exchanger / D. Dolgikh, O. Kovyazin, Ye. Rensevich // Design, Manufacture and Operation of Agricultural Machinery. – 2013. – No. 43 (1). – p. 263-267.
2. Nakorchevsky A. Optimal design of ground heat exchangers / A. Nakorchevsky, B. Basok // Industrial Heat Engineering. – 2005. – No. 27(6). – p. 27-31.
3. Nakorchevsky A. Problems of soil heat accumulation and methods of their solution / A. Nakorchevsky, A. Basok, T. Belyaeva // Industrial Heat Engineering. – 2003. – No. 25(3). – p. 42-50.
4. Савченко О. Технічні передумови влаштування геотермальної вентиляції пасивних будинків / О. Савченко, В. Желих, К. Дуднік, О. Конончук // Вісник НУ «ЛП» «Теорія і практика будівництва». – 2015. – № 823. – с. 281-285.
5. Zhelykh V. Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems / V. Zhelykh, O. Savchenko, V. Matushevych // Fyzyka Budowli w Teorii i Praktyce. – 2016. – 8. – № 4. – p. 43-46.
6. Zhelykh V. Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface / V. Zhelykh, M. Ulewicz, N. Spodyniuk, S. Shapoval, V. Shepichak // Diagnostyka. – 2016. – No. 3(17). – p. 81-85.
7. Spodyniuk N. Combined Heating Systems of Premises for Breeding of Young Pigs And Poultry / N. Spodyniuk, V. Zhelykh, O. Dzeryn // FME Transactions. - 2018. – No. 46. – p. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S
8. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник / О.Ф. Волошин, С.О. Машенко. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 336 с.
9. Свинчук В. О., Коберський Д. В. Аналіз доцільного впровадження ґрунтових теплообмінників для створення мікроклімату в виробничих приміщеннях та в індивідуальних будинках фермерських господарств АПК Житомирської області // Студентські наукові читання. – 2013: Наук.-теор. зб. – 2014. – Т. IV. – С. 101-112.

### References

1. Dolgikh D., Kovyazin O., Rensevich Ye. "Results of Experimental Studies of the Air Heat Exchanger." *Design, Manufacture and Operation of Agricultural Machinery*, Vol. 43, No.1, 2013, pp. 263-267.
2. Nakorchevsky A., Basok B. "Optimal design of ground heat exchangers." *Industrial Heat Engineering*, Vol. 27, No.6, 2005, pp. 27-31.
3. Nakorchevsky A., Basok A., Belyaeva T. "Problems of soil heat accumulation and methods of their solution." *Industrial Heat Engineering*, Vol. 25, No.3, 2003, pp. 42-50.
4. Savchenko O., Zhelykh V., Dudnik K., Kononchuk O. "Tekhnichni peredumovy vlashtuvannia heotermalnoi ventilyatsii pasyvnykh budynkiv." *Visnyk NU «LP» «Teoriia i praktyka budivnytstva»*, Vol. 823, 2015, pp. 281-285.
5. Zhelykh V., Savchenko O., Matushevych V. "Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems." *Fyzyka Budowli w Teorii i Praktyce*, Vol.8, No. 4, 2016, pp. 43-46.
6. Zhelykh V., Ulewicz M., Spodyniuk N., Shapoval S., Shepichak V. "Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface." *Diagnostyka*, Vol. 3, No.17, 2016, pp. 81-85.
7. Spodyniuk N., Zhelykh V., Dzeryn O. "Combined Heating Systems of Premises for Breeding of Young Pigs And Poultry." *FME Transactions*, No. 46, 2018, pp. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S
8. Voloshin O. F., Mashchenko S. O. *Models and methods of decision-making*. Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet», 2006, 336 p.



9. Svyinchuk V. O., Koberskyi D. V. "Analiz dotsilnoho vprovadzhennia gruntovykh teploobminnykiv dlia stvorennia mikroklimatu v vyrobnychkykh prymishchenniakh ta v individualnykh budynkakh fermerskykh hospodarstv APK Zhytomyrskoi oblasti". *Studentski naukovi chytannia*. 2013. 2014. Vol. IV. P. 101-112.

УДК 636.03

## Применение геотермальной вентиляции для теплоснабжения помещений птичников

Н. А. Сподинок<sup>1</sup>, Л. П. Горбаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>преподаватель. Львовский технико-экономический колледж национального университета «Львовская политехника», г. Львов, Украина, lililviv72@gmail.com

*Аннотация. Существует потребность дополнительных мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплообеспечения птичника. Комплексное применение системы инфракрасного отопления в сочетании с системой геотермальной вентиляции позволит значительно сократить энергозатраты объекта и улучшить экологические показатели системы в целом. Работа геотермальной системы вентиляции заключается в использовании энергии почвы для частичного нагрева приточного воздуха, поступающего в помещение птичника. Также целесообразно применение дополнительных мероприятий по рекуперации теплоты вытяжного воздуха из птичника. В работе представлена разработанная система подачи теплоты для птичника с интегрированным применением грунтового теплообменника для нагрева приточного воздуха и инфракрасного обогревателя для локального обогрева зоны пребывания птицы. Показана эффективность применения такой системы. Получены результаты исследований рациональных структурных размеров модуля для выращивания птицы. Размеры инфракрасного обогревателя равны 0,54x0,1 м. Модули расположены в два яруса, с зонами технологического обслуживания в птичнике.*

*Ключевые слова: инфракрасное отопление, геотермальная энергия, почвенный теплообменник, птичник.*

UDC 636.03

## Application of Geothermal Ventilation for Heat Supply of Poultry Premises

N.A. Spodyniuk<sup>1</sup>, L.P. Horbachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, n\_spoduniuk@meta.ua, ORCID: 0000-0002-2865-9320

<sup>2</sup>lecturer, Lviv Technical and Economic College, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, lililviv72@gmail.com

*Abstract. The facilities of the agricultural complex are the most energy-intensive and require additional energy-saving measures through the introduction of energy-efficient heat supply systems. Considering the necessary microclimate in the premises of agricultural complexes, in particular poultry houses, there are significant energy costs. Therefore, there is a need for additional measures to be taken to improve the energy efficiency of heat supply systems in a poultry house. Based on the analysis of existing heat supply systems in the poultry area, modular poultry production is proposed and substantiated as an alternative to traditional poultry farming in cages. With this method of cultivation, it is possible to keep different age groups of birds and to carry out the appropriate temperature regime as they grow. The integrated use of infrared heating in combination with geothermal ventilation will significantly reduce the energy consumption of the facility and improve the environmental performance of the system as a whole. The work of the geothermal ventilation system is to use the energy of the soil to partially heat the supply air entering the poultry house. As the soil temperature does not change much during the year and the ambient temperature changes, the recovery occurs due to the temperature difference. In summer, the outside air temperature is high. When the air passes through the underground ducts, it gives off some of its heat to the soil. Therefore, the inlet air cools before coming to the air handling unit. It is also advisable to apply additional heat recovery measures using the heat potential of the exhaust air from the house. The work presents the developed system of heat supply for the poultry house with the integrated ground heat exchanger for heating of the supply air and an infrared heater for local heating of the stay of the bird. The effectiveness of such systems is shown. The results of studies of rational dimensions for the poultry breeding module have been obtained. The size of the infrared heater is 0.54 × 0.1 m. The modules are located in two tiers, with technological areas in the poultry house.*

*Keywords: infrared heating, geothermal energy, soil heat exchanger, poultry house.*

Надійшла до редакції / Received 06.09.2019.



## ДО 70-РІЧЧЯ КАФЕДРИ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ

Кафедра теплогазопостачання і вентиляції заснована в 1949 р. на базі кафедри санітарної техніки КІБІ. Першим її очільником був видатний учений у галузі опалення та вентиляції доктор технічних наук, професор **Борис Микитович Лобаєв** (1900–1976) — дійсний член Академії будівництва й архітектури УРСР.



У КІБІ працював з 1949 р. Паралельно з діяльністю на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції у 1949-1956 рр. був заступником директора з навчальної роботи.

Напрямок наукової діяльності вченого — розробка нових і удосконалення існуючих розрахунків трубопроводів систем опалення й повітропроводів систем вентиляції та пневмотранспорту, використання вторинних і поновлюваних енергетичних ресурсів.

Б. М. Лобаєв — засновник наукової школи теплогазопостачання і вентиляції в Україні. Створив науково-дослідницьку лабораторію аеродинаміки вентиляції (1936) і науково-дослідний інститут Санітарної техніки та обладнання будинків і споруд (1956), директором якого він працював у 1957-1962 рр.

Автор понад 300 наукових праць, серед яких п'ять монографій. Основні праці: «Отопление жилых и общественных зданий перегретой водой и паром», «Расчёт трубопроводов систем водяного и парового отопления», «Расчёт воздухопроводов вентиляционных, компрессорных и пневмотранспортных установок».

Ще в середині ХХ ст. професор Б. М. Ло-

баєв сформував основні напрями підготовки спеціалістів з «Теплогазопостачання і вентиляції», які й на сьогодні залишаються актуальними та успішно розвиваються. Під його керівництвом захищено близько 40 кандидатських дисертацій.

Значна частина викладачів, що нині працюють на кафедрі, є учнями Бориса Микитовича.

У 1976 р. завідувачем кафедри став професор **Андрій Якович Ткачук** (1928–2002) — відмінник освіти України, дійсний член Академії будівництва України. Випускник КІБІ (1953).



Учений проводив теоретичні дослідження усередненого турбулентного руху у двовимірних приміжових шарах, працював над удосконаленням методів аеродинамічного розрахунку будівель і споруд. Опублікував понад 200 наукових і методичних праць, серед яких чотири монографії, навчальні посібники, 70 винаходів. Основні праці: «Расчёт аэрации промышленных зданий», «Проектирование систем водяного отопления», «Застосування методу особливостей при розрахунках приграничних шарів», «Аеродинаміка вентиляції» (посмертно, 2009).

Значною мірою завдяки зусиллям А. Я. Ткачука майже всі викладачі кафедри здобули вчені ступені та звання. Особисто він підготував понад 30 кандидатів наук, частина з яких працює на кафедрі.

Так, у кінці 60-х років педагогічний колектив кафедри поповнили випускники Київсько-

го інженерно-будівельного інституту (КІБІ), які й нині передають свої знання та досвід молодому поколінню.

У 2000 р. керівником кафедри став професор **Юрій Костянтинович Росковшенко** (1944-2015) – відмінник освіти України, винахідник СРСР. Дійсний член Академії будівництва України. Випускник КІБІ (1966).



Ветеран КНУБА. Працював у виші з 1972 року, обіймав посади асистента, старшого викладача (1976), доцента (1980), професора (1998), завідувача кафедри теплогазопостачання і вентиляції (2000-2014). Досліджував питання енергоефективності систем формування мікроклімату сільськогосподарських будівель. Автор біля 100 наукових і науково-методичних праць, зокрема 20 авторських свідоцтв та патентів на винаходи, двох навчальних посібників. Був експертом МОН України з акредитації та ліцензування, членом секції будівництва та будівельних матеріалів Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки, заступником відповідального редактора науково-технічного збірника «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». Нагороджений медаллю «На згадку про 1500-ліття Києва».

З 2014 р. посаду завідувача обіймає кандидат технічних наук, професор **Володимир Борисович Довгалюк** (1955 р. н.) – Відмінник освіти України, Дійсний член Академії будівництва України, нагороджений нагрудним знаком МОН України за наукові та освітні досягнення. Випускник КІБІ (1978).

Працював у рідному виші інженером науково-дослідного сектора, завідувачем лабораторії, асистентом, доцентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції. Є автором понад 150 наукових та методичних праць, серед яких 16 винаходів, навчальний посібник, який витримав два видання.



Основні праці: «Аеродинаміка вентиляції» (два видання), «Мікроклімат музейних приміщень».

Є заступником головного редактора науково-технічного збірника «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». Вчений секретар спеціалізованої Вченої ради для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня в КНУБА Д 26.056.07.

Підготував трьох кандидатів наук.

За роки існування на кафедрі засновані та набули розвитку науково-методичні напрями:

- розробка нових та удосконалення існуючих інженерних систем формування мікроклімату приміщень: опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (В. Б. Довгалюк, В. П. Корбут, О. М. Скляренко, О. П. Любарець, В. О. Мілейковський, М. П. Сенчук та ін);
- розробка нових та удосконалення існуючих інженерних систем і заходів для зменшення забруднення атмосфери вентиляційними викидами (В. П. Корбут, О. В. Задоянний, О. П. Любарець);
- енергоефективність інженерних систем, удосконалення обладнання і систем газопостачання (О. М. Скляренко, К. М. Предун та ін.);
- удосконалення методів навчання, дистанційне навчання (В. Б. Довгалюк, В. О. Мілейковський);

На кафедрі видають науково-технічний збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» (відповідальний редактор – В. П. Корбут; заступник відповідального редактора – В. Б. Довгалюк, відповідальний секретар – В. О. Мілейковський). Співробітники кафедри є авторами численних монографій, навчальних посібників і довідників.

Щорічно на базі кафедри проходять міжнародні конференції, конкурси курсових

проектів, олімпіади.

Науковці кафедри приділяють велику увагу налагодженню зв'язків з виробничими, проектними, науковими організаціями та установами різних форм власності, на яких працюють та працюватимуть випускники. З метою розробки й упровадження спільних науково-дослідних програм і проектів з проблем систем інженерного забезпечення мікроклімату в приміщеннях будівель і споруд різного призначення, підвищення енергоефективності систем теплогазопостачання і вентиляції укладено договори про співпрацю з ПАТ «Київгаз», Herz Armaturen GMBH, ТОВ «Вентс», ТОВ «Вентсервіс» ТОВ «Данфос-Україна», Rehau GMBH, KAN Sp. z o. o., Nemetschek Group та ін.

На кафедрі працює доктор технічних наук, професор **Вадим Павлович Корбут** (1946) – відмінник освіти України, заслужений будівельник України, винахідник СРСР.



Дійсний член академії будівництва України, член секції будівництва та будівельних матеріалів Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки, член експертної ради з питань проведення експертизи дисертаційних робіт Міністерства освіти і науки України, експерт Наукової ради Міністерства освіти і науки України за фаховим напрямком «Технології будівництва, дизайн, архітектура», член спеціалізованої Вченої ради для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня в КНУБА Д 26.056.07, відповідальний редактор науково-технічного збірника «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» Випускник КІБІ (1971).

Після служби в армії у 1973 вступив до

аспірантури КІБІ, а з 1975 р. працює у рідному виші асистентом, доцентом, професором.

Протягом багатьох років є науковим керівником комплексних науково-технічних програм, які з 1991 р. виконуються у межах державної програми «Створення систем і обладнання екологічно безпечних енерготехнологічних комплексів України». Основні напрями робіт: наукове обґрунтування та вдосконалення систем локалізації пилогазових і теплових шкідливостей ТЕС та АЕС, розробка фізико-математичних моделей формування повітряного та теплового режимів у теплонапружених об'єктах будівель різного призначення. Розробка систем формування мікроклімату будівель різного призначення.

В. П. Корбут розробив теоретичні основи природної турбулентності конвекції біля вертикальних тепловіддавальних поверхонь, створив та впровадив нові конструкції витяжних аераційних пристроїв при будівництві головних корпусів ТЕС та АЕС із безліхтарним покриттям, а також енергоефективні технології формування повітряно-теплових режимів ТЕС, АЕС і обладнання для їх реалізації.

Як член експертної ради інноваційних проектів при Кабінеті Міністрів України брав участь у формуванні пріоритетів розвитку науки та технології при виконанні Державних програм прогнозування науково-технологічного розвитку.

Опублікував понад 250 наукових праць, науково-методичних розробок, монографій та навчальних посібників. Є автором 32 винаходів. Основні праці: «Вентиляція. Експериментальні дослідження», «Природна турбулентна конвекція між вертикальними тепловіддавальними поверхнями», «Формування тепловоздушного режиму головних корпусов теплових електростанцій».

Напрямок наукової діяльності – енергетика та енергоефективність у будівництві, тепло-масообмінні процеси.

Підготував двох кандидатів наук та одного доктора наук.

Нагороджений Почесною грамотою Кабінету Міністрів України, золотою медаллю «За досягнення в науці», орденами «Святого рівноапостольного князя Володимира» IV ст. та «Преподобного Нестора Літописця» III ст., медаллю «На згадку про 1500-ліття Києва», медаллю ВДНГ СРСР. За заслуги перед Українською Православною Церквою нагороджений грамотою і ювілейною медаллю «Різдво Христове 2000» та грамотою «У благословення за старанні труди на славу Святої Церкви».



Колектив кафедри у 2019 р.



*Верхній ряд:*

Франчук Юрій Йосипович, асистент;  
Мойсеєнко В'ячеслав Вадимович, кандидат технічних наук, доцент;  
Ковальчук Наталя Олександрівна, провідний інженер;  
Швець Світлана Миколаївна, провідний інженер;  
Коновалюк Вікторія Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент;  
Почка Ольга Богданівна, асистент;  
Кузенкова Тетяна Володимирівна, інженер;  
Кордюков Михайло Іванович, асистент;  
Рибачов Сергій Григорович, асистент;  
Дмитроченкова Елла Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент;  
Шишина Марія Олексіївна, асистент, учений секретар;  
Панчук Наталя Михайлівна, завідувач лабораторії;  
Задоянний Олександр Васильович, кандидат технічних наук, доцент;  
Вахула Володимир Романович, асистент;  
Москвітінна Анна Сергіївна, асистент;  
Мілейковський Віктор Олександрович, кандидат технічних наук, доцент.

*Нижній ряд:*

Сенчук Михайло Петрович, кандидат технічних наук, доцент;  
Любарець Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент;  
Скляренко Олег Михайлович, кандидат технічних наук, професор;  
Довгалюк Володимир Борисович, завідувач кафедри, кандидат технічних наук, професор;  
Корбут Вадим Павлович, доктор технічних наук, професор ;  
Предун Костянтин Миронович, кандидат технічних наук, професор



**Дмитроченкова Елла Ігорівна** (1981 р. н.) – кандидат технічних наук, доцент; фахівець з питань енергоефективності та ресурсозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції. У 2005 році закінчила Донбаську національну академію будівництва та архітектури за спеціальністю «Теплогазопостачання та вентиляція».

У 2006 році вступила до аспірантури. З цього ж року працювала асистентом кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції Донбаської національної академії будівництва та архітектури.

У 2012 році захистила кандидатську дисертацію.

З 2015 року доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури.

Автор понад 30 наукових та науково-методичних праць.



**Задоянний Олександр Васильович** (1949 р. н.) – випускник КІБІ 1976 р.; кандидат технічних наук, доцент; фахівець з питань очищення вентиляційних викидів промислових підприємств, створення мікроклімату в спорудах штучного вирощування грибів; ексерго-економічного аналізу систем теплогазопостачання і вентиляції.

З 1976 року працював науковим співробітником в інституті УкрНДІінжпроект, з 1980

року – асистент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, з 1992 року і по теперішній час – доцент.

У 1987 році захистив кандидатську дисертацію.

З 2012 до 2015 р. докторант. Працює над докторською дисертацією в напрямку ексерго-економічного аналізу систем кондиціонування повітря.

Автор понад 110 наукових та навчально-методичних праць, 15 винаходів.



**Коновалюк Вікторія Анатоліївна** (1974 р. н.) – кандидат технічних наук, доцент; фахівець з питань удосконалення систем формування мікроклімату. Закінчила Криворізький технічний університет у 1996 році за спеціальністю «Теплогазопостачання, вентиляція та охорона повітряного середовища».

З 1996 року працювала в ВАТ «Криворіжгаз», де з 2001 року обіймала посаду провідного інженера у відділі режимів газоспоживання та оперативного аналізу.

У 2002 році закінчила аспірантуру в Криворізькому технічному університеті. У 2003 році захистила кандидатську дисертацію.

З 2003 року працювала в Криворізькому технічному університеті (з 2011 року ДВНЗ «Криворізький національний університет») на посаді асистента (2003-2004рр), старшого викладача (2006-2007рр) на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції і на посаді доцента кафе-



дри теплогазоводопостачання, водовідведення і вентиляції (з 2008 року).

В 2012 році отримала другу вищу освіту за спеціальністю «Водопостачання та водовідведення» у Криворізькому національному університеті.

Автор понад 50 наукових та науково-методичних праць, два винаходи.



**Любарець Олександр Петрович** (1960 р. н.) – випускник КІБІ 1982 р.; кандидат технічних наук, доцент; Дійсний член Академії будівництва України; атестований енергоаудитор ДАЕЕ Мінрегіону України; судовий експерт зі спеціальності 10.06. Спеціаліст із питань пилогазоочищення в системах промислової вентиляції й аспірації, промислової екології, систем опалення, комп'ютерного забезпечення інженерних розрахунків санітарно-технічних систем.

З 1982 року працював лаборантом НДІ санітарної техніки, інженером, молодшим науковим співробітником науково-дослідної лабораторії НДІ санітарної техніки, асистентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1991-1997). У 1993 р. захистив кандидатську дисертацію. З 1997 року і по теперішній час – доцент, з 1998 був заступником декана факультету довузівської підготовки.

Автор понад 80 наукових та методичних праць, серед яких посібник для проєктувальників, інженерів і студентів “Проєктування систем водяного опалення”; співавтор програмного забезпечення для розрахунку розповсюдження забруднень “EOL” та “Audytor OZC” ver.6.9-6.11 для розробки паспорта та сертифіката енергетичної ефективності будівель;

Був секретарем Фахової ради по ліцензуванню та акредитації ВНЗ України будівельного профілю.



**Мілейковський Віктор Олександрович** (1977 р. н.) – випускник КНУБА 1999 р.; кандидат технічних наук, доцент; член Міжнародної асоціації геометрії та графіки (ISGG); спеціаліст із питань геометричного та кінематичного аналізу макроструктури турбулентних приміжових шарів, енергоефективності організації повітрообміну, термомодернізації опалення.

З 1999 року працював інженером Державного підприємства “Академпроект”, НАН України, з 1999 до 2002 р. навчався в аспірантурі КНУБА. Працював інженером кафедри теплогазопостачання і вентиляції (2002-2003), асистентом (2003 – 2009). У 2007 році захистив кандидатську дисертацію і з 2009 року до теперішнього часу працює доцентом.

Автор понад 170 наукових і методичних праць серед яких 14 патентів на винаходи України.



**Мойсеєнко В'ячеслав Вадимович** (1964 р. н.) – випускник КІБІ 1986 р.; кандидат технічних наук; спеціаліст з питань використання нетрадиційних та поновлюваних енергетичних ресурсів.

Працював у НДІ санітарної техніки, інших проектних та наукових закладах. У 1993 році захистив кандидатську дисертацію. З 2011 року працює в КНУБА на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції на посадах провідного інженера, асистента, доцента.

Опублікував понад 50 наукових праць серед яких 5 авторських свідоцтв.



**Предун Костянтин Миронович** (1960 р. н.) – випускник КІБІ 1982 р.; член-кореспондент Академії будівництва України; фахівець у сфері обліку та ефективного використання природного газу, енергоефективності в системах опалення і вентиляції.

З 1982 р. працює у рідному виші спочатку в науково-дослідному секторі, а з 1990р. – асистентом кафедри. У 1999 р. захистив кандидатську дисертацію. У 2002 р. став доцентом кафедри, з 2016 р. – професором.

З 2007 до 2016 р. обіймав посаду заступника декана з навчальної роботи факультету Інженерних систем та екології (колишнього санітарно-технічного). Є співавтором навчальних планів підготовки фахівців для набуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр в галузі будівництва», «Спеціаліст», «Магістр» з «Теплогазопостачання і вентиляції».

Автор понад 80 наукових та методичних праць, серед яких: «Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом», «Експлуатація систем газопостачання», три винаходи;

Є відповідальним секретарем Експертної групи при Громадській раді Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України з впровадження та функціонування систем обліку енергоносіїв.



**Сенчук Михайло Петрович** (нар.1954) – кандидат технічних наук, доцент; фахівець у галузі спалювання твердого палива в механічних топках опалювальних котлів, нагрівання повітря в рекуперативних повітрянагрівачах для технологічних потреб та повітряних систем опалення;

У 1976 р. закінчив Львівський політехнічний інститут. З 1976 року працював майстром, виконробом, начальником дільниці, начальником виробничо-технічного відділу, головним інженером у спеціалізованих будівельних організаціях; науковим співробітником, старшим науковим співробітником, завідувачем лабораторії опалювальних котлів, заступником директора з наукової роботи у Державному НДІ санітарної техніки, обладнання будівель і споруд (м. Київ, 1985–2004 рр.). У 1997 році захистив кандидатську дисертацію. З 2004 року

і по теперішній час – доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

Автор понад 60 наукових та науково-методичних праць, понад 10 винаходів;

Є головою науково-методичної комісії спеціалізації «Теплогазопостачання і вентиляція».



**Скляренко Олег Михайлович** (1938 р. н.) – фахівець з питань теорії й практики спалювання газу в опалювальних приладах та теплових агрегатах. Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор. Випускник КІБІ (1965).

З 1965 року працював старшим інженером, начальником дільниці пуско-налагоджувального управління треста «Промтехмонтаж – 2». З 1967 року – асистент кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ, аспірант. Працював завідувачем проблемної лабораторії при кафедрі. У 1973 році захистив кандидатську дисертацію. У 1975 р. отримав звання старшого наукового співробітника. З цього ж року працює старшим викладачем, з 1980 року – доцентом, а з 2016 року – професором.

Опублікував понад 150 наукових і науково-методичних праць, серед яких підручник «Газопостачання», який є першим в Україні підручником з цієї дисципліни, а також посібник «Газопостачання. Наукові та інженерні розробки удосконалення теплогенеруючого обладнання».

#### **СПОГАДИ ПРОФЕСОРА КАФЕДРИ О. М. СКЛЯРЕНКА**

Спогадами поділився професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Скляренко Олег Михайлович, який з 1958 року під керівництвом Бориса Микитовича Лобаєва працював спочатку в НДІ санітарної техніки, а потім на

кафедрі теплогазопостачання і вентиляції до останньої хвилини його життя.

Київ 1950 рік. Післявоєнна розруха, голод, бандитизм. З Харкова запрошено доктора технічних наук 50-річного Бориса Микитовича Лобаєва на створену кафедру теплогазопостачання і вентиляції. Керівництво Інституту потурбувалося про умови роботи і життя талановитого вченого і надало пристойну квартиру з п'яти кімнат на четвертому поверсі в елітному будинку біля Оперного театру.

Насамперед Борис Микитович починає з кадрів. На кафедрі працювали колишні виробники та проектувальники, заслужені люди, деякі ще з громадянської війни, а кандидати технічних наук були як антикваріат. Борис Микитович Лобаєв розумів, що без сучасних наукових кадрів кафедра безперспективна. Тому в 1957 році його зусиллями був створений науково-дослідний інститут санітарної техніки. Була відкрита аспірантура, до якої потягнулася талановита молодь: Андрій Якович Ткачук, Володимир Володимирович Трофімович, Всеволод Андрійович Березовський, Анатолій Андрійович Худенко, Едуард Семенович Малкін, які стали відомими вченими і з часом прийшли працювати в Київський інженерно-будівельний інститут.

Одночасно науковою роботою на кафедрі активно займалися та отримали науковий ступінь Євген Сергійович Зайченко, Володимир Миколайович Голубенков, Вадим Андрійович Бойко, Вадим Олександрович Кашеев, Вадим Павлович Корбут, Вадим Олексійович Потапов, Юрій Костянтинович Росковшенко, Олег Михайлович Скляренко та інші. Авторитет кафедри зростав не тільки в Радянському Союзі, а і за кордоном. До аспірантури були прийняті фахівці з Китаю, В'єтнаму, Сирії.

При реалізації наукової геотермальної проблематики помітний внесок зробила інженер кафедри Світлана Миколаївна Швець. Вона багато допомагала в проведенні експериментів на свердловині, а крім того була одночасно головним поваром творчої групи кафедри.

Борис Микитович відрізнявся якоюсь особливою мудрістю і незвичайною інтелігентністю. Будучи з бідної сільської родини, до всіх звертався тільки на «Ви» і, взагалі, складалося таке враження, що не знав і не чув «смачних, розповсюджених вульгарних слів». Коли китайський аспірант поскаржився, що в нього «спістіли» мікроманометр, Борис Микитович викликав інтелігента Всеволода Андрійовича Березовського для перекладу і виявилось, що



мікроманометр вкрали (позичили). Це довгі роки розповідали як анекдот.

У червні він, як правило, переїжджав жити на дачу в Кончу-Заспу, де серед живої природи, лугів починав свій ранок з годинної прогулянки по росі.

Якось я приїхав до нього по роботі вранці. Зустрілися з ним після спортивного моціону. Він каже: “Давайте поснідаємо.” Взяв торбинку, і ми пішли з ним у сільську лавку, де купили хліб, трилітрову банку молока і яйця. Борис Микитович приготував дуже смачну яечню на шкварках. Потім запили це все кухлем молока з хлібом і тільки після цього почали обговорювати поточні справи.

Борис Микитович створив і на протязі багатьох років керував республіканським семінаром з теплогазопостачання і вентиляції. До роботи семінару запрошувалися відомі вчені, завідувачі кафедр з усього Союзу. Особливі дискусії виникали між двома науковими школами Московського та Ленінградського інженерно-будівельних інститутів. Борис Микитович у підсумках їх об’єднував, і всі з почуттям власної гідності йшли на дружній обід. Традиційним ритуалом усіх гостей було відвідування Бесарабського ринку, де в травні можна було купити і вдосталь поїсти полуниці та придбати традиційний Київський торт.

Але йшов час і Борисові Микитовичу було вже біля 75 років. Ректорат уже пропонував готувати заміну. Це дуже пригнічувало його, бо відчував ще творчий потенціал, а тут на тобі, шукай заміну.

Закінчувався 1975 рік. 28 грудня випав сніг, було біля 15 години. Борис Микитович вийшов з Вченої ради, де Юрій Олександрович Ветров проводив засідання, на якому мене затверджували на конкурсну посаду. Випадково на другому поверсі ми з ним зустрілися. Він був у доброму гуморі, і запропонував мені провести його, щоб розказати цікаві моменти наради стосовно кафедри.

Ми вийшли з інституту і потихеньку попрямували до зупинки тролейбуса. На пів шляху він мені каже: “Ви роздягнуті, а дуже холодно. Тут декілька метрів я сам дійду.” Один одного привітали з наступаючим Новим роком. Тільки я відбіг від нього, Борис Микитович посковзнувся, і серце не витримало.

Після таких важких спогадів я зробив паузу, пішов до Храму і по християнському згадав всіх, кого вже нема з нами.

Треба сказати, що ректорат Інституту не був готовий до розвитку такого сумного сюжету. Кафедра надовго залишалася з виконувачем

обов’язки завідувача (Георгій Євгенович Бем), поки не повернувся через багаторічну перерву на кафедрі вже в ролі завідувача талановитий учень Бориса Микитовича – Андрій Якович Ткачук. Задачу, яку він поставив перед собою, – не втратити, а розвивати все напрацьоване Борисом Микитовичем. Ця задача була виконана.

Сьогодні кафедру очолює професор Володимир Борисович Довгалюк, який підняв на сучасний рівень лабораторну базу. Оновлені лабораторії газопостачання, опалення, вентиляції. Створено нові лабораторії кондиціонування повітря, технології монтажу й експлуатації систем теплогазопостачання і вентиляції та сформований сучасний комп’ютерний клас.

Укріпленню авторитету кафедри багато уваги приділяє Вадим Павлович Корбут (останній аспірант Бориса Микитовича), який захистив докторську дисертацію у 2003 році. На кафедрі працює багато поважних викладачів, які з честю продовжують справи своїх учителів.

Успіхів усім!

З повагою. Скляренко О. М.

## ВОНИ ПРАЦЮВАЛИ НА КАФЕДРІ



### **БЕМ Георгій Євгенович**

(1910–1996) – фахівець у галузі вентиляції, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ (1959).

У 1938 році закінчив КІБІ. Після закінчення КІБІ під час служби в армії керував будівництвом складних інженерних споруд військового призначення.

Під час Великої Вітчизняної Війни працював начальником відділу опалення і вентиляції Военпроекту. З 1957 до 1985 року працював доцентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції. У 1959 році йому присвоєно звання доцента. З 1976 до 1977 року очолював кафедру теплогазопостачання і вентиляції.

Напрями наукової діяльності: вентиляція кагатів тривалого зберігання цукрових буряків, системи вентиляції промислових споруд, система обігріву відвального моста роторного екскаватора для збільшення його продуктивності.

Найбільш відомі наукові праці – «Довідник сільського будівельника» (1956), «Водяное отопление» (1960), «Справочник по теплоснабжению и вентиляции» (1959, 1962, 1968). Має біля 10 винаходів.

Нагороджений медалями «За трудовую доблесть» (1941), «За Победу над Германией» (1945), «За доблестный труд» (1945), «20 лет Победы» (1966), «30 лет Победы» (1975), «1500 лет Киеву» (1982), «40 лет Победы» (1985), «Ветеран труда» (1985), «50 лет Победы» (1995).



**БОЙКО Вадим Андрійович** (1936–1989), фахівець у галузі вентиляції, к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

Закінчив КІБІ у 1959 році. У 1959–1962 працював інженером, старшим інженером, керівником групи, в.о. головного інженера проекту ДПН «Промстройпроект». У 1962–1965 роках був аспірантом кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ. Працював на кафедрі асистентом (1965–1969), старшим викладачем (1969–1975), заступником декана санітарно-технічного факультету (1969–1974), доцентом (1975–1980). У 1977 році присвоєно звання доцента. Опублікував понад 50 науково-методичних робіт. Напрями наукової роботи: вентиляція сільськогосподарських споруд, формування мікроклімату музейних приміщень.



**БЕРЕЗОВСЬКИЙ Всеволод Андрійович** (1928–1990), к.т.н. (1965), доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1966).

Закінчив КІБІ у 1949 році за спеціальністю «Теплогазопостачання та вентиляція». У 1949–1950 роках – інженер, начальник дільниці, БМУ–4 тресту «Київгазбуд–2», у 1950–1952 роках – інженер, старший інженер «Укргіпробума», у 1952–1954

роках – Контролер міністерства державного контролю УРСР, у 1955–1956 роках – викладач кийвського гірського (потім – будівельного) технікуму, у 1956–1959 роках – аспірант Академії будівництва і архітектури УРСР, з 1959 до 1966 року працював у НДІСантехніки ученим секретарем, керівником сектора, керівником лабораторії теплообмінних апаратів. З 1966 до 1990 року – доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції. У 1965 році захистив кандидатську дисертацію. У 1966 році присвоєно звання старшого наукового співробітника, а у 1968 році – доцента. Підготував двох кандидатів технічних наук. Член ради НДІСТ, член редколегії республіканського науково-технічного збірника «Строительные материалы, изделия и санитарная техника». Автор понад 60 наукових робіт,



**ГОЛУБЕНКОВ Володимир Миколайович**

(1933–2011) – кандидат технічних наук, доцент.

У 1956 році закінчив Київський інженерно–будівельний інститут, працював у будівельно-монтажних організаціях Казахстану (1956–1959),

асистентом, старшим викладачем, доцентом у КІБІ, завідувачем учбово-методичним кабінетом, начальником учбово-методичного відділу учбово-методичного управління по вищій освіті МІНВУЗу УРСР, радником ректора Технічного університету в м. Сьєн-Фуегос Республіки Куба, радником міністра вищої освіти Республіки Куба, головою науково-методичної ради радянських спеціалістів вищої освіти, що працюють в Республіці Куба (1980–1984), з 1984 по 2011 р. – доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

У 1972 році захистив кандидатську дисертацію.

Напрямок наукової діяльності – дослідження температурно-вологісних режимів у сховищах зберігання цукру.

Автор понад 40 наукових та методичних праць, серед них один посібник (у співавторстві). Основні праці: «дослідження температурно-вологісних режимів у сховищах зберігання цукру».





**ДОСУЖИЙ Віктор Володимирович** (1924 – 2014) к.т.н. (1970), доцент (1969), Ветеран Великої Вітчизняної Війни.

Навчався в Київському інженерно-будівельному інституті з 1945 року по 1949 рік на санітарно-технічному факультеті.

Після закінчення Київського інженерно-будівельного інституту з працював у БМУ-1 Всесоюзного зварювально-монтажного тресту майстром, виконробом, начальником дільниці, начальником БМУ, головним інженером треста, керівником треста.

З 1969 року працював у КІБІ в. о. доцента кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

У 1970 році захистив кандидатську дисертацію.

З 1970 року до 1998 року працював у КІБІ доцентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції.



**ЗАЙЧЕНКО Євген Сергійович** (1935–2002) – фахівець у галузі опалення, к.т.н. (1974), професор (2001) кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

У 1959 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут, асистент кафедри теплогазопостачання і

вентиляції (1960-1964).

Працював старшим інженером, начальником вентиляційного бюро заводу “Комуніст” (1964-1969).

З 1969 до 1972 р. – аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції.

З 1972 працює в КІБІ асистентом, старшим викладачем кафедри.

З 1971 до 1976 р. – заступник декана, а з 1976 до 1983р. – декан санітарно-технічного факультету.

У 1974 р. захистив кандидатську дисертацію, вчене звання професора присвоєно в 2001.

Автор 65 наукових і методичних праць.

Напрями наукової діяльності - удосконалення систем опалення; енергозбереження та використання вторинних і поновлюваних енергетичних ресурсів для систем теплогазопостачання і вентиляції.

Відзначений урядовими нагородами – медаллю “1500 р. Києву”, медаллю “Ветеран труда” та подякою від Київського міського голови “За вагомий особистий внесок у створення духовних та матеріальних цінностей та досягнення високої майстерності у професійній діяльності”.



**ЗАЙЧЕНКО Роман Мусійович** (1923–1976) – фахівець у галузі газопостачання, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції. У серпні 1943 роках брав участь у бойових діях як солдат сьомої гвардійської повітряно-десантної

дівізії четвертої ударної армії першого українського фронту. У вересні 1943 року на Полтавському напрямку одержав важке поранення. Після лікування у евако-госпіталі був демобілізований. У 1948 р. закінчив Київський інститут цивільних інженерів зі спеціальності «Теплогазопостачання та вентиляція». Працював інженером проектного відділу Кавказької контори «Центроспецстройпроекта» «Главнефтегазстрой» при РМ СРСР, у подальшому, Міністерства нафтової промисловості, у 1949 р. – переведений до тресту «Укргазнафтобуд» інженером-проектувальником, заступником начальника проектного бюро, редактором «Держбудвидав УРСР». У 1950–1953 роках він – аспірант, 1953–1961 – асистент, 1961–1962 – начальник навчальної частини, з 1962–1976 – старший викладач, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції. Напрямок наукової діяльності – удосконалення систем газопостачання.



**КАЩЕСВ Вадим  
Олександрович**  
(1937–1978). к.т.н.  
(1970), доцент (1974)  
кафедри теплогазопос-  
тачання і вентиляції.

У 1960 році закінчив КІБІ за спеціальністю «Теплогазопостачання та вентиляція». Працював майстром Київського спеціалізованого управління № 521 (1960–1961), виконробом Київського спеціалізованого управління № 522 (1961–1962) треста «Сантехмонтаж-1», інженером ДПІ «Київський Промбудпроект» (1962–1963), II Секретарем Радянського РК ЛКСМУ м Києва (1963–1965), аспірантом (1965–1968), асистентом (1968–1972), старшим викладачем (1972–1974), доцентом (1974–1978) кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ. У 1970 році захистив кандидатську дисертацію. Напрями наукової діяльності: аеродинаміка розподільних систем вентиляції, гідродинаміка змішувальних теплоі масо обмінників, дослідження мікроклімату і аерації будівель.



**КОРЕНЕВСЬКИЙ  
Сергій Михайлович**  
(1907 – 1986) – фахі-  
вець у галузі проми-  
слової вентиляції та  
кондиціонування  
повітря, к.т.н. (1954),  
доцент (1955).

У 1930 році закінчив механічний факультет Київського політехнічного інституту. До початку війни працював інженером трестів «Промвентиляція», «Сантехпроект», «Теплоэлектропроект», ВНДІОП, а у 1941–1944 роках – начальником енергопаливного відділу Наркомхарчопрому УРСР. З 1946 до 1973 року працював доцентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ. У 1954 році захистив кандидатську дисертацію, у 1955 році йому присвоєно звання доцента. Має більше 50 наукових праць, серед яких авторські свідоцтва на винаходи. Найбільш відомою працею є «Справочник по теплоснабжению и вентиляции».



**МАРЧУК Петро  
Федорович**  
(1935 – 2018) – кан-  
дидат технічних наук,  
доцент.

Випускник КІБІ (1957). Спеціаліст з питань будівництва систем газопостачання, автор понад 60 наукових і методичних праць, серед яких ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання» та навчальний посібник «Використання поліетиленових труб для будівництва газопроводів». З 1958 по 1994 рік працював в інституті УкрНДІінжпроект, де пройшов шлях від інженера до старшого наукового співробітника. У 1977 році захистив кандидатську дисертацію. В 1994-1996 р.р. працював головним спеціалістом СП «Укрфрагаз», пройшов перепідготовку в фірмі Gaz de France в Парижі. В 1997-1999 р.р. працював заступником директора, директором центру нових технологій концерну Укргазифікація; у 1999-2002 р.р. – інженером кафедри теплогазопостачання і вентиляції, з 2002 року – доцентом.



**МОГИЛЕВСЬКИЙ  
Віктор  
Володимирович**

(1941 – 2015) — кандидат технічних наук, доцент. Випускник КІБІ (1965). Напрямок наукових досліджень - системи очищення вентиляційних викидів, засоби знепилювання повітря. Автор понад 30 наукових і методичних праць.



**ПИСАРЕВ В'ячеслав  
Євгенович**  
(нар. 1941) – доктор  
технічних наук, профе-  
сор кафедри теплога-  
зопостачання і венти-  
ляції.

У 1969 р. закінчив Київський політехнічний інститут. З 1969 до 1978 року працював у Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) АН УРСР інженером, стажером-дослідником, аспірантом, молодшим науковим співробітни-

ком. Захистив кандидатську дисертацію в 1974 р. З 1978 до 1980 року працював старшим науковим співробітником ВНИЭКИЭМП АН УРСР, а з 1980 до 1981 року – старшим науковим співробітником НДІБВ Держбуду УРСР, потім – завідувачем сектора ДКТБ ІТТФ АН УРСР. У 1998 році захистив докторську дисертацію. З 2000 до 2002 р. Працював професором кафедри теплогазопостачання і вентиляції. Автор понад 187 робіт.

Напрямок наукової діяльності – зберігання сільськогосподарської продукції при зниженому тиску, енергозбереження.



**ПОТАПОВ Вадим  
Олексійович**

(нар. 1941) – канд. техн. наук (1972), професор (1993) кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1993-1999).

У 1965 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут. Працював асистентом (1968), доцентом (1979), професором (1993) на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції.

У 1972 р. захистив кандидатську дисертацію. Вчене звання професора присвоєно в 1993 році.

Напрямок наукової діяльності – удосконалення опалювальної техніки, в тому числі, міських теплових та газових мереж.

Підготував 3 кандидати наук. Автор понад 100 наукових праць, у тому числі 2 монографії, 2 навчальні посібники.



**САМГІН Олександр  
Миколайович**

(1898–1976) – фахівець у галузі опалення та технології і організації сантехнічних робіт, к.т.н. (1962), доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1966).

Закінчив Залізничне технічне училище м. Воронеж (1917) за спеціальністю «Технік залізничного будівництва»; Політехнікум шляхів сполучення м. Воронеж (1925) за спеціальністю «Технік залізничного будівництва I розряду», Курси інженерів залізничного транспорту м. Воронеж

(1931) за спеціальністю «Інженер шл.спол. буд. спец.»

З 1925 до 1947 року працював керівником проектно-монтажної групи в Управлінні Південно-Східної залізниці та головним інженером Монтажних управлінь трестів «Сантехмонтаж» (до 1942), «Південсантехмонтаж» (після 1945). Під час Великої Вітчизняної Війни з 1942 до 1945 року служив у лавах Радянської армії, служив старшим інженером в Управлінні Військово-відновлювальних і загороджувальних робіт 1 Українського фронту.

З 1947 році працював асистентом, старшим викладачем КІЦІ та КІБІ. У 1962 році захистив кандидатську дисертацію.

Вчене звання доцента одержав у 1968 році.

У 1966–1973 р.р. працював на посаді доцента кафедри опалення теплогазопостачання і вентиляції.

З 1969 році працює доцентом кафедри.

Напрямки наукової діяльності: Удосконалення технології і організації монтажних робіт з урахуванням прогресивних методів сантехнічних робіт, досягнень радянської та зарубіжної науки і техніки; удосконалення систем опалення; розробка та удосконалення квартирних систем водяного опалення, розробка обладнання для квартирних систем опалення. Розробив та впровадив комбіновані газові котли для опалення житлових приміщень.

Основні наукові праці: «Теплоснабжение и вентиляция малоэтажных зданий» (1956).

У 1970 р. нагороджений почесною грамотою.



**СОЛОДОВ**

**Яків Іванович**  
(1901 – 1976) – фахівець у галузі організації і планування сантехнічних робіт, к.т.н. (1959), доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1966).

Закінчив Таганрозькі командні курси (1920-1922), Харківський Робфак ХТІ (1926–1928(9)), Одеський фронтний інститут (1929–1934). У 1934 році закінчив Одеський інститут інженерів громадського і комунального буді-



вництва зі спеціальності «Опалення і вентиляція» У 1938–1939 роках – виконроб з сантехніки тресту «Укрग्रомадбуд», у 1939–1940 роки працював у «Воєнсантехбуді» начальником контори, Районним інженером, начальником дільниці. У 1940–1945 роках працював у 9-му будмонтажтресті, тресті №2 та №8 НКАП СРСР начальником сантехконтори і головний інженером, у 1946–1947 роках – головний інженер УСР–327 СУ КВО. У 1947–1950 роках – начальник та головний інженер БМУ тресту «Укрособросмонтаж» Міністерства вугільної промисловості. 1953–1955 – викладач Київського будівельного технікуму, 1955–1959 – головний інженер тресту «Київспецбуд». За сумісництвом у 1945–1953 роках викладав у Київському будівельному технікумі. З 1959 до 1975 року – доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції КІБІ. Звання доцента присвоєно у 1961 році.

Напрямки наукової діяльності: підвищення ефективності організації та планування санітарно-технічних робіт.

Нагороджений медаллю «За отвагу» (1967).



#### **СТЕПАНОВ**

**Микола**

**Васильович**

(1943 – 2013) – кандидат технічних наук, доцент.

У 1970 році закінчив Київський інженерно-будівельний інститут,

працював інженером, асистентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1970-1984), з 1984 року – доцент.

У 1980 році захистив кандидатську дисертацію.

Напрямок наукової діяльності – використання теплоти низькопотенціальних нетрадиційних джерел енергії та ВЕР.

Автор понад 80 наукових та навчально-методичних праць, 4 навчальних посібників, в тому числі один французькою мовою для студентів алжирських вищих навчальних закладів. Був відповідальним секретарем фахового науково-технічного збірника «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». Відзначений 3 державними нагородами, знаком „Відмінник освіти України”.



#### **ТІМІНСЬКИЙ**

**Георгій**

**Миколайович**

(нар.1941) – доцент, голови профкому університету, голова комісії соцстраху університету.

У 1969 році закінчив Київський інженерно-будівельний інститут, працював інженером, асистентом, старшим викладачем кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1969-2003), з 2003 року – доцент.

Автор понад 40 наукових та методичних праць.



#### **ТКАЧЕНКО**

**Володимир**

**Аркадійович**

(1948 – 2010) – кандидат технічних наук, доцент.

У 1976 році закінчив Київський інженерно-будівельний інститут, працював

асистентом кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1978-1987), з 1987 року і по теперішній час – доцент.

У 1985 році захистив кандидатську дисертацію.

Напрямок наукової діяльності – формування мікроклімату споруд захищеного ґрунту, комп'ютерні технології проектування систем теплогазопостачання і вентиляції.

Автор понад 50 наукових і методичних праць, серед яких підручник “Газопостачання”, перший в Україні підручник з цієї дисципліни.



#### **ЩЕКІН Ростислав**

**Володимирович**

(1910-1977) – фахівець у галузі опалення, теплопостачання і вентиляції, канд. техн. наук (1959), доцент (1947), декан санітарно-технічного факультету (1960-1968).

У 1934 р. закінчив Київський будівельний інститут. Працював інженером-проектувальником, начальником відділу Воєнпроекту. З 1941 року він – старший



інженер, заступник головного інженера заводу боєприпасів у місті Пензі, а з 1944 року – начальник технічного відділу Головспецбуду в м. Києві, потім головний інженер Республіканського тресту Укрсантехмонтаж. З 1947 р. працював у КІБІ викладачем, доцентом. У 1954 р. захистив кандидатську дисертацію. З 1960 до 1968 року він був деканом санітарно-технічного факультету КІБІ.

Напрямок наукової діяльності – розробка теплопостачального і вентиляційного обладнання і систем.

Автор понад 30 наукових праць, серед них двотомного довідника “Справочник по тепло-снабжению и вентиляции” (1952, 1964, 1970).

Відзначений 3 державними нагородами.

#### ВІДОМІ ВИПУСКНИКИ КАФЕДРИ



#### **АДРІАНОВ**

**Володимир  
Павлович**

Заступник генерального директора з науково-технічної політики ТОВ «Укрінстальконструкція ім. В.М. Шимановського», колишній Віце-президент корпорації "Укрмонтажспец-

буд", віце-президент Академії будівництва України, член президії Творчої науково-технічної Спільки будівельників України, член будівельної секції Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки, Член Координаційної ради Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України з гармонізації вітчизняної нормативної бази у сфері будівництва з міжнародними та регіональними нормативними документами.

Народився у 1945 році в м. Києві.

У 1972 році закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за фахом інженер-будівельник і працював у науково-дослідній лабораторії при Київському інженерно-будівельному інституті.

У системі корпорації "Укрмонтажспецбуд" працює з 1974 року на різних інженерних посадах у тресті "Сантехмонтаж-1" та інституті "Укрспецмонтажпроект". З 1984 року – начальник відділу науково-дослідних робіт Головного технічного управління корпорації

"Укрмонтажспецбуд", а з 1987 року – начальник Головного технічного управління. З 2000 року він – віце-президент корпорації "Укрмонтажспецбуд". Безпосередньо брав участь у підготовці рішень Уряду України щодо покращання стану в будівельній галузі, а також у розробці державних, міжгалузевих і галузевих програм.

У 2005 році нагороджений Почесною грамотою Верховної Рпди України.



#### **БОРИСЕНКО**

**Семен Іванович**

Депутат Київради двох скликань 2002 і 2006 років, член правління благодійного фонду «Рідна оселя», член партії «Єдність», член президії Будівельної палати

України.

Народився у 1955 році в с. Глінка Чорнобильського району Київської області.

У 1974 році закінчив Київський будівельний технікум. У 1986 році закінчив Київський інженерно-будівельний інститут.

Служив у лавах Радянської армії (1974-1976).

Працював на Центральному заготівельному заводі (1974-1982) слюсарем, майстром, начальником цеху. З 1982 року по 1990 рік працював на УВТК тресту «Київспецбуд» головним інженером. З 1990 р. – директор «Заводу сантехнічних заготовок». З 1994 р. був головою правління ВАТ «Завод сантехнічних заготовок».

Депутат Київради.

Має почесне звання «Заслужений працівник промисловості України». Нагороджений орденом «За заслуги» III та II ступеня, орденом "Знак пошани", нагрудним знаком президента "Київгорстрой", орденом "Святого Володимира Великого III ступеня", орденом "Святого Архистратига Божого Михаїла I ступеня".



#### **ГОРОШКОВ**

**Григорій Андрійович**

Засновник та Ректор Інституту післядипломної освіти «КСИМЕ» (1988), к.т.н.

Навчався в Київському інженерно-будівельному інституті з

1962 року по 1967 рік на санітарно-технічному факультеті.

Служив у лавах Радянської армії. З 1968 по 1976 р. працював майстром, виконробом, головним інженером, наладчиком БМУ.

З 1976 року по 1988 рік - заступник начальника головного управління капітального будівництва Київміствиконкому.



**ДЕРОГАН**

**Дмитро  
Вікторович**

кандидат технічних наук (1976), старший науковий співробітник, лауреат премії Ради Міністрів СРСР (1985), член-кореспондент

Української нафтогазової академії (2005).

Народився в м. Києві 7 січня 1941 року.

У 1965 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю "теплогазопостачання та вентиляція". У 1966 р. служив у лавах радянської армії.

У 1967 р. працював старшим інженером у Київському ДПРОГРАДі. З 1967 до 1991 році працював старшим інженером, м.н.с., с.н.с., завідувачем лабораторії у КиївЗНДІЕПі; у 1991-1993 р.р. – завідувачем лабораторії в УкрНДІспецбуді; у 1993-1995 р.р. – начальником відділу, заступником начальника управління Держнафтогазпрому, а у 1995-1999 р.р. – начальником управління у Держкоменергозбереження. З 1999 р. працював начальником відділу, заступником начальника управління, начальником управління в ДК "Укртрансгаз". З 2004 р. був начальником управління ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України»

У 1985 р. здобув вчене звання старшого наукового співробітника.

Має більш 50 друкованих праць, в тому числі співавтор ряду державних законів і програм.



**ДЗЮБЕНКО**

**Володимир  
Григорович**

У 1972р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю "Теплогазопостачання і вентиляція".

У 1972-1980рр. служив в збройних силах СРСР на посадах командир понтонного зводу начальник інженерних ремонтних майстерень Київського військового округу.

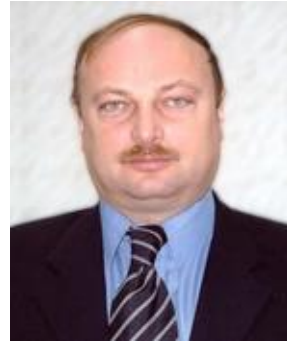
У 1985 р. закінчив Військово-інженерну академію ім. Куйбишева, за спеціальністю оперативна-тактична.

Брав активну участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

З 1980-2008 рр. служба на військовій кафедрі КНУБА на посадах викладач, старший викладач, начальник предметнометодичної групи військово-інженерної підготовки.

З 2008 р. працює на кафедрі охорони праці і навколишнього середовища КНУБА старшим викладачем, доцентом. У 2016 р. захистив кандидатську дисертацію.

Автор понад 40 наукових і науково-методичних праць, серед яких два навчальних посібники.



**ДУДНІКОВ Андрій  
Анатолійович**

Навчався в Київському інженерно - будівельному інституті з 1980 до 1985 року на санітарно-технічному факультеті.

Після закінчення інституту з 1985 до 2005 року працював у тресті «Київспецбуд» Холдингової компанії «Київміськбуд»: виконробом, головним інженером у БМУ-4, начальником управління в БМУ-5, керуючим тресту ВАТ «Київспецбуд».

Брав участь у реконструкції Державного театру опери та балету, готелю «Спорт», залізничного вокзалу «Південний», у будівництві оздоровчого комплексу «Феофанія» в Конча-Заспі, лікарень, шкіл, житлових комплексів тощо.

З 2003 року є Дійсним членом Академії будівництва України.

У 2004 році йому присвоєне почесне звання «Заслужений будівельник України».



**ДУДНІКОВ  
Анатолій  
Пантелеймонович  
(1938-2016)**

У 1958 році закінчив Київський будівельний технікум, служив у лавах Радянської армії. У 1966 році закінчив санітарно-технічний факультет Київського інженерно-будівельного інституту.

рно-технічний факультет Київського інженерно – будівельного інституту.

Після закінчення інституту працював виконробом на будівництві.

З 1968 року більше 25 років працював у державному науково-дослідному інституті санітарної техніки, де пройшов шлях від рядового інженера до заступника директора інституту. Зараз працює директором Державного випробувального центру опалювального обладнання.

Науковий напрямок його досліджень – охорона повітряного басейну міст і сіл України

Науково-виробнича діяльність Дуднікова А.П. відзначена чотирма урядовими нагородами, найвищими дипломами і медалями ВДНГ України і СРСР.



### СНІН

**Петро Матвійович**  
(1937-2018)

У 1964 році закінчив з відзнакою санітарно-технічний факультет Київського інженерно-будівельного інституту.

У 1969-77 р. завідувач лабораторією Всесоюзного науково-дослідного інституту гідромеханізації, сантехнічних та спеціальних будівельних робіт Мінмонтажспецбуду СРСР. З 1977р. по 1993р. – декан, завідувач кафедри, проректор, в.о. ректора Інституту підвищення кваліфікації керівних працівників і спеціалістів Держжитлокомунгоспу України. З 1993р. до 2012 – завідувач кафедри, декан факультету, директор Інституту післядипломної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури.

Кандидат технічних наук (1970), професор (1991), академік Академії будівництва України (2000).

Наукові дослідження стосуються спеціальності теплогазопостачання та вентиляція. Вперше розробив теоретичні основи і методологію впровадження геотермальних установок зрідженого газу для газифікації населених пунктів і об'єктів з одержанням закритого авторського свідоцтва. Ініціатор організації в Україні системи післядипломної освіти в галузі будівництва.

Автор понад 180 публікацій, в т.ч. 10 монографій та 10 авторських свідоцтв.

Є членом - кореспондентом Міжнародної академії технічної освіти (1990), членом комі-

тету України з присудження Державних премій в галузі науки і техніки. Відмінник освіти України (2001). Нагороджений медалями.



### ШЧЕНКО

**Михайло**  
**Юрійович**

(нар. 1958) – Генеральний директор ХК “Енергомонтажвентиляція”.

У 1980 році закінчив санітарно-технічний факультет Київського інженерно – будівельного інституту. У 2011 р. захистив кандидатську дисертацію. Є членом Президії Будівельної палати України



### КЕЗЛЯ

**Євген Олексійович**

(нар. 1958 в м. Кисві) – приватний підприємець.

У 1980 році закінчив санітарно-технічний факультет КІБІ.

Після закінчення інституту рік працював на будівництві у КБУ-23 «Котломонтаж» Мінмонтажспецбуду, потім інженером науково-дослідного сектора, викладачем Київського інженерно – будівельного інституту на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції, потім – директором українського представництва Viessmann – одного з світових лідерів виробництва опалювальної котельної техніки. На сьогодні він є приватним підприємцем

У 1988 р. захистив кандидатську дисертацію.



### НАУМЕЦЬ Валерій

**Іванович**

(нар. 1961) – головний інженер ВАТ “Київський санітарно-технічний завод”.

У 1979 р. закінчив Київське профтехучилище № 25. Працював слюсарем-вентиляційником (1979-1980), служив у лавах Радянської армії (1980-1982), після чого працював на київському сантехзаводі слюсарем-вентиляційником, май-



стром старшим майстром, начальником дільниці вентиляційних виробів (1982-1997). З 1997 року працює головним інженером Київського сантехзаводу. У 2000 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю “Теплогазопостачання та вентиляція”.



**ПИРКОВ**

**Виктор Васильович**

(нар. 1962) – заступник генерального директора з наукової роботи ТОВ «Данфосс» (2003-2016). У 1980 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю “Теплогазопостачання та вентиляція”.

З 1985 р. по 1997 р. працював у НИС КІБІ інженером, м.н.с., н.с., с.н.с. У 1991 році захистив кандидатську дисертацію. З 1997 р. по 2003 р. – доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції. Віктор Васильович є знаним фахівцем з інженерних систем будівель. Брав активну участь у робочих групах Кабміну України: «З питань застосування квартирних систем опалення будинків і споруд», «З розробки стратегії теплозабезпечення України»; Комітету з галузевих реформ при Мінрегіонбуді України; Технічних комітетах Мінрегіонбуду України зі стандартизації: «Енергоефективність будівель і споруд», «Інженерні системи та споруди», «Громадські будівлі та споруди»; Секціях НТР Мінрегіонбуду України: «Житлового та комунального господарства», «Реформування та розвитку житлово-комунального господарства», «Технічного регулювання у будівництві та науково-технічної діяльності», «Містобудування і архітектури, будівництва об’єктів цивільного та виробничого призначення, будівельних матеріалів та виробів»; Робочих групах Держком-енергоефективності України: «З питань запровадження системи енергетичного менеджменту»; «Із затвердження переліку обладнання та матеріалів, на придбання яких братиметься кредит відповідно до затверджених змін до Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для здійснення заходів щодо ефективного використання енергетичних ресурсів та енергозбереження»; Технічного комітету Мінрегіонбуду Молдови «Мережі та обладнання»; Редакційної ради фахового журналу «INSTAL», Польща. Є членом наукової ради Мінрегіонбуду, екзаменатором Системи сертифікації Органу із сертифікації персоналу будівельної галузі

Всеукраїнської громадської організації «Асоціація експертів будівельної галузі». Є автором та співавтором більше 100 публікацій, серед яких: Галузева програма підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 роки; 14 винаходів; 4 монографії (видання в Україні, країнах СНД та ЄС); шість ДБН, вісім ДСТУ.



**ЦИБУХ**

**Валерій**

**Іванович**

(нар. 1951) – Надзвичайний і Повноважний посол України в Грецькій Республіці (2006-2010); голова Буковинського земляцтва у м. Києві (2000); професор

Київського університету туризму, економіки та права (2002); професор Інституту туризму Прикарпатського університету ім. В.Стефаника (2003).

У 1974 р. закінчив санітарно-технічний факультет Київського інженерно – будівельного інституту за спеціальністю “Теплогазопостачання і вентиляція”.

Працював майстром, начальником дільниці заводу №410 цивільної авіації. 1983-1989 р.р. – 2-й секретар, 1-й секретар ЦК ЛКСМУ. 1988-1990р.р. – народний депутат, член Президії ВР УРСР. 1989-1991 р.р. – народний депутат СРСР, член Президії ВР СРСР. 1991-1992 р.р. – голова Комітету ВР СРСР у справах молоді, голова Державного комітету СРСР у справах молоді, завідувач відділу міжнародних зв’язків. У 1992 р. захистив кандидатську дисертацію з філософії.

Нагороджений орденами “Дружби народів” (1983), “Знак Пошани” (1988), 5 медалями. Має звання “Заслужений працівник культури”.



**ЩЕКІН Андрій**

**Ростиславович**

У 1974 р. Закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю “Теплогазопостачання та вентиляція”. У 1974-1980 р.р. працює науковим

співробітником київського філіалу ВНДІМОНТАЖСПЕЦБУДУ, у 1980-1993 р.р. – науковим співробітником київського філіалу



ВНДІГС, 1993-1995 р.р. – заступником начальника, начальником відділу Держкомнафтогазу України. З 1995 р. працював заступником начальника, начальником управління Держкоменергозбереження України.

Має 88 наукових праць, серед яких 7 авторських свідоцтв.



**ЩЕКІН Ігор**

**Ростиславович**

(нар. 1936) канд. техн. наук, професор Харківського державного технічного університету будівництва й архітектури, Академік Української Академії

будівництва, Член-кореспондент Академії Наук технологічної кібернетики України.

У 1959 р. закінчив Київський інженерно-будівельний інститут за спеціальністю “Теплогазопостачання та вентиляція”. Тривалий час працював заступником директора ВНДІ “Кондиціонер”.

Автор понад 380 наукових праць, методичних посібників, винаходів і патентів.

Розробник методик розрахунку світового технічного рівня кондиціонерів різного призначення, ряду класифікаційних структур, філософських основ й історії опалювально-вентиляційної техніки. В останні роки - розроблювач напряму енергоресурсозбереження в опалювально-вентиляційній техніці.

Має звання “Заслужений винахідник України”.

**Колектив кафедри (2005 р.)**



*Верхній ряд* : доценти: В.М.Голубенков, К.М.Предун, О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.А.Ткаченко, О.М.Скляренко, Г.М.Тімінський, П.Л.Зінич, О.В.Задоянний, П.Ф.Марчук, М.В.Степанов; асистент В.О.Мілейковський

*Нижній ряд*: інженер С.Г.Михайленко, доцент В.Б.Довгалюк, завідувач кафедри, професор Ю.К.Росковшенко, професор В.П.Корбут, завідувач лабораторії С.М.Швець, професор М.Д.-Рабінович, технік С.Ю.Паєвський



Колектив кафедри теплогазопостачання і вентиляції (2001):



Колектив кафедри теплогазопостачання і вентиляції (1976).

Наукове видання

# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 30

Визнаний ВАК України як наукове фахове видання України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 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 [library.knuba.edu.ua](http://library.knuba.edu.ua) (<http://library.knuba.edu.ua/node/78>).

Підписано до друку 30.09.2019. Формат 60×84 1/8  
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 9,5. обл. вид. арк. 10,25.  
Тираж 100 прим. Замовлення № 161119

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.



*Create ecoclimate*

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ  
ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

[www.aerostar-vent.com](http://www.aerostar-vent.com)

