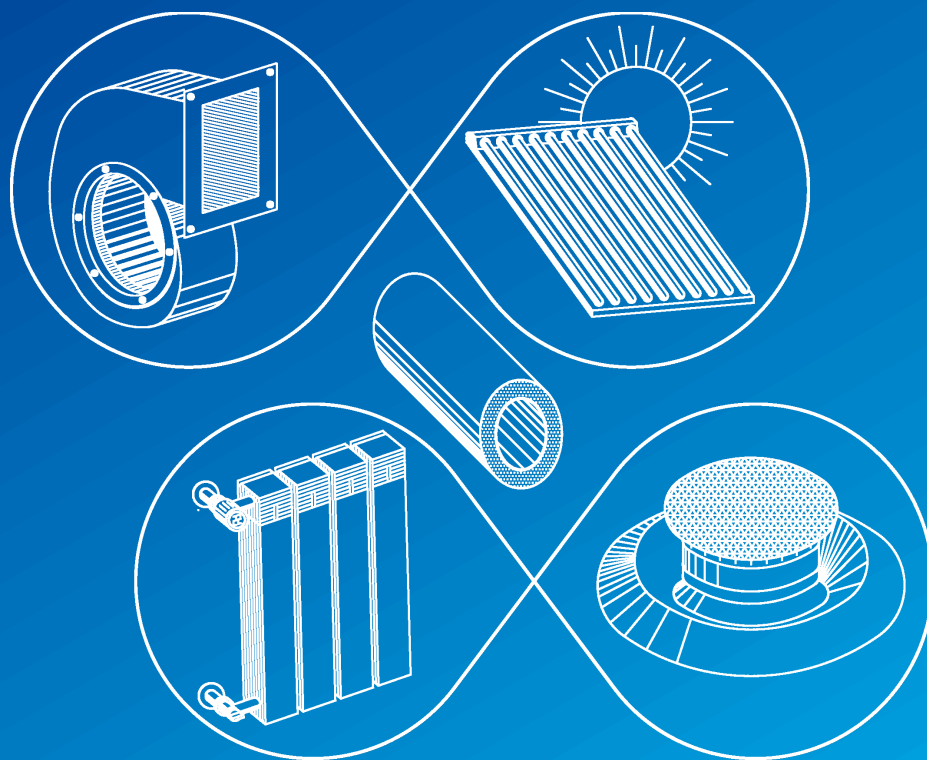


ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ



2022

Випуск 43



Міжнародна науково-практична конференція

Екологія, ресурси, енергія

ERE-2022

23-25 листопада 2022 р.

КИЇВ 2022

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 43

Kyiv 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

заснований у 2001 році

ВИПУСК 43

Київ 2022

УДК 697
В29

ISSN 2409-2606

Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 43 / відповідальний редактор В. О. Мілейковський. – Київ: КНУБА, 2022. – 65 с.

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

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

Рекомендовано до випуску Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 23 грудня 2022 р., протокол № 4.

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 і читачів</i>	<i>5</i>
<i>О.В. Приймак, І.О. Редько, О.І. Редько, А.О. Редько Аналіз тимчасової змінності сумарної інтенсивності сонячної радіації при оцінці енергетичних ресурсів</i>	<i>6</i>
<i>А. С. Макаров, А. І. Ходос, М. О. Кирієнко, М. П. Сенчук Енергоефективні вакуум-випарні установки для концентрування в молоч- ній промисловості</i>	<i>13</i>
<i>І. В. Клімова, В. В.Мойсеєнко Аналіз відповідності вікон новітнім вимогам з енергоефективності</i>	<i>27</i>
<i>В. А. Коновалюк , Ю. Й. Франчук Підвищення ефективності використання природного газу в побутових га- зових плитах</i>	<i>31</i>
<i>В. Петренко, А. Петренко, І. Голякова, В. Петренко Прогнозування залежності температури внутрішнього повітря від зміни робочих характеристик системи водяного опалення.....</i>	<i>38</i>
<i>П. М. Гламаздін, В. С. Вітковський, Д. В. Рогожин, М. А. Карпюк, К. О. Габа Підвищення ефективності систем централізованого тепло-постачання за рахунок оптимізації служби підготовки води. Досвід КП «Житомир- теплоенерго».....</i>	<i>50</i>

CONTENTS

<i>Information for the authors and the readers</i>	5
O. Prymak, I. Redko, O. Redko, A. Redko <i>Analysis of temporary variability of the total intensity of solar radiation when assessing energy resources</i>	6
A. Makarov, A. Khodos, M. Kirienko, M. Senchuk <i>Energy-efficient vacuum evaporation units for concentration in the dairy industry</i>	13
I. Klimova, V. Moiseienko <i>Analysis of the compliance of windows with up to day energy efficiency requirements</i>	27
V. Konovaliuk, Yu. Franchuk <i>Increasing the efficiency of the use of natural gas in household gas stoves</i>	31
V. Petrenko, A. Petrenko, I. Holiakova, V. Petrenko <i>Prediction of the dependence of the indoor air temperature on the change in the working characteristics of the water heating system</i>	38
P. Glamazdin, V. Vitkovskyi, D. Rogozhin, M. Karpyuk, K. Haba <i>Experimental research of electrical characteristics combined solar-electric air heater</i>	50

До відома авторів і читачів

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

В умовах воєнного часу під вий сирен, вибухи ракет, безпілотників і бомб, вдома, в університетах та в бомбосховищах ми продовжуємо працювати над випуском Збірника. Відновлення зруйнованих міст і сіл стає першочерговим завданням. При цьому головними умовами стане швидкість відбудови, енергоефективність і безпека, зокрема енергетична. Висока науковість такого будівництва вимагає від нас не зупинятися, а продовжувати розробляти енергоефективні рішення в галузі вентиляції, освітлення та теплогазопостачання і суміжних галузях.

Продовжуємо публікацію статей за матеріалами Третьої Міжнародної науково-практичної конференції “Довкілля, ресурси, енергія” ERE-2022 факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури. Сподіваємося провести цей захід вчасно.

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

Особливо зараз просимо максимально зосередитися на виконанні цих вимог. Адже рецензування, коригування та верстання відбувається в дуже складних умовах.

Information for the authors and the readers

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

During the war, we continue to work on the Collection under the accompaniment of sirens, missiles, drones and bombs explosions, at home, in universities, and in bomb shelters. Restoring destroyed cities, towns and villages is becoming a priority. The main conditions will be the speed of reconstruction, energy-efficiency and security, in particular energy. The high knowledge intensity of such construction requires us not to stop, but to continue to develop energy efficient solutions in the field of ventilation, illumination, heat-gas supply and related industries.

We continue to publish articles based on the materials of the Third International Scientific and Practical Conference "Environment, Resources, Energy" ERE-2022, Faculty of Engineering Systems and Ecology, Kyiv National University of Construction and Architecture. We hope to hold this event in time.

We draw your attention to the strict compliance with the Requirements for manuscripts at the site <http://vothp.knuba.edu.ua/about/submissions>.

Especially now, we ask you to focus as much as possible on fulfilling these requirements. After all, reviewing, correcting and compiling takes place in very difficult conditions.

УДК 624.176

АНАЛІЗ ТИМЧАСОВОЇ ЗМІННОСТІ СУМАРНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ПРИ ОЦІНЦІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

О.В. Приймак¹, І.О. Редько², О.І. Редько³, А.О Редько³

¹ д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури, просп., Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03037, 02orpiymak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3081-6057

² к.т.н., доц., Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61001, ihor.redko1972@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9863-4487

³ Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська, 40, Харків, Україна, 61002, alex.redko2002@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-756X

³ д.т.н., проф., Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська, 40, Харків, Україна, 61002, redko.andriy@kstuca.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-2331-7273

Наведено результати аналізу тимчасової мінливості середньомісячних та річних сум сонячної радіації в умовах України за період 2011–2020 років. Здійснено порівняння даних вимірів з більш ранніми періодами та стандартним періодом 1961-1990 рр. Визначено статистичні характеристики рядів зміни сонячної радіації. Виконано порівняння характеристик сонячної радіації із нормативними даними ДСТУ НБВ .1.1-27-2010. Показано, що в останні роки річні суми прямої радіації збільшилися на 18-23 %. Сумарна річна радіація в 2020 році збільшилася відповідно періоду 1961-1990 рр. на 6 %. Проведено аналіз розрахункових результатів визначення погодинних значень та добових сум прямої та розсіяної радіації, отриманих із застосуванням емпіричних залежностей методик інженерних розрахунків.

Ключові слова: сонячна радіація, зміна сумарної сонячної радіації, геліоенергетичний потенціал, кліматична стандартна норма.

Вступ. Клімат України змінюється суттєво за останні роки [1,2,5,9]. Нормативні дані потребують уточнення для розробки інженерно-технічних та архітектурних рішень енергоефективності будівель. В стандарті ДСТУ НБВ1.1-27: 2010 введено кліматичне районування території України. Але за останні десять років клімат змінився, що потребує уточнення кліматичних даних.

В умовах засухи в Україні період 2001-2010 рр. відбулося реформування тривалості сонячного сьйва, прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації. Суттєве збільшення тривалості сонячного сьйва та прямої сонячної радіації при одночасному зменшенні розсіяної не сприяли зростанню сумарної радіації [6].

При проектуванні установок, що використовують сонячну енергію, необхідно враховувати просторово-часову зміну розподілів сонячної радіації, яка залежить від астрономічних та метеорологічних факторів – географічної широти місця та висоти Сонця, прозорості атмосфери. Погодні умови України залежать від великомасштабної циркуляції атмосфери над Північною півкулею та регіональних особливостей. Східні регіони України знаходяться на осі позатропічного максимуму [3]. Ця вісь проходить через Україну із Південного Заходу на Північний Схід. Однією з ознак сучасних кліматичних змін є помітне послаблення швидко-

сті вітру над Україною, що викликає зміни у синоптичних процесах. Виявлено переважання типів із значними баричними градієнтами над сходом України. У [2] наведено порівняльний аналіз мінливості середньої добової температури повітря та добової кількості опадів зимового сезону у Києві щодо зміни глобальної температури у ХХ столітті. Виконано аналіз даних за період з 1910 року до 2002 року. Показано, що спостерігається збільшення мінливості середньої добової температури у грудні та різке зниження міждобової мінливості у січні та лютому.

Сонячна радіація змінюється в залежності не тільки від географічної широти, а і від регіональних кліматичних умов. Так, в Передкарпатті та Українських Карпатах геліоенергетичний потенціал складає 1400-1500 МДж/м² (влітку, на півночі України - 1550-1800 МДж/м², а у східних та центральних районах-1850-1950 МДж/м², збільшуючись у південних районах до 2000-2150 МДж/м².

В роботах [4,5] наведено результати районування за комплексом показників потенціалу сонячної енергії, тривалості сонячного сьйва та хмарності.

Метою роботи є аналіз закономірностей тимчасового розподілу фактичних потоків сонячної радіації в період 2011-2020 рр. та порівняння з даними більш ранніх періодів

Постановка проблеми. Згідно [12] території України поділено на архітектурно-будівельні райони-Полісся та Лісостеп (північно-західний), Степ (південно-східний), Українські Карпати, кліматичні характеристики яких суттєво відрізняються. Приводиться методика розрахунку середніх місячних сум прямої та розсіяної сонячної радіації для різних географічних широт (44-500 п.ш.) та табличні дані при умовах ясного неба та середньої хмарності. При розрахунку погодинних енергетичних освітленостей від прямої та розсіяної радіації наведено табличні дані за умов ясного неба. При значеннях хмарності 10 балів наведено табличні дані для січня та липня, при інших значеннях хмарності необхідна інтерполяція даних.

При проектуванні геліоенергетичних установок потрібні комплексні показники потенціалу сонячної енергії [4, 5], вимірювання яких проводиться недостатньо широко на території України. Тому необхідна розробка методик для проектування інженерних систем та вироблення архітектурних рішень.

В [8] наведено аналітичні вирази для розрахунків питомих сонячних теплових потоків для умов ясного неба в залежності від географічної широти, схилення, часового кута, та кута нахилу площини сонячного колектору. Наведено значення погодинної прямої та розсіяної радіації для умов м. Львів (500 п.ш.). В [7] вказані результати моделювання параметрів прямого потоку сонячної радіації при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери. В розрахунках використовуються усереднені середньомісячні значення погодинної зміни інтенсивності прямого сонячного потоку.

В моделях використані співвідношення які рекомендовані Європейським каталогом соня-

чної радіації (ESRA). Отримані чисельні результати спідставленні з актинометричними даними станцій Бориспіль та Ковель. Помітні відмінності обумовлені місцевими добовими та сезонними особливостями стану реальної атмосфери. В [17] наведено методики в яких енергетичну експозицію поверхні оцінюють за параметрами сонячного потоку, інтенсивність якого розраховують відносно сонячної сталої з використанням наближених емпіричних оцінок коефіцієнта прозорості атмосфери.

У [14] розробляються методи комп'ютерного моделювання та розрахунку сонячних надходжень для нестандартних рішень огорожувальних конструкцій з використанням апарату точкового числення. Розглядається формування режиму сонячних теплонадходжень у будівлі складної геометрії як від прямих сонячних променів так і розсіяного випромінювання.

В даний час створено велику кількість комп'ютерних програм. Комп'ютерна модель Atmospheric Radiation використовувалася для розробки ДСТУ -Н Б В. 1.1-27: 2010. Застосування комп'ютерних пакетів потребує високої кваліфікації будівельників-проектувальників. Тому розробляються розрахункові інженерні методики для практичного застосування.

Основні результати та їх обговорення. Дані вимірювань сонячної радіації за період 2011-2020 років були надані Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського для їхнього аналізу в ХНУБА. На рис. 1 показано тимчасову зміну сумарної сонячної радіації для умов Києва (станція Бориспіль) та Одеси відповідно.

Статистичні характеристики часового ряду наведені у таблиці 1.

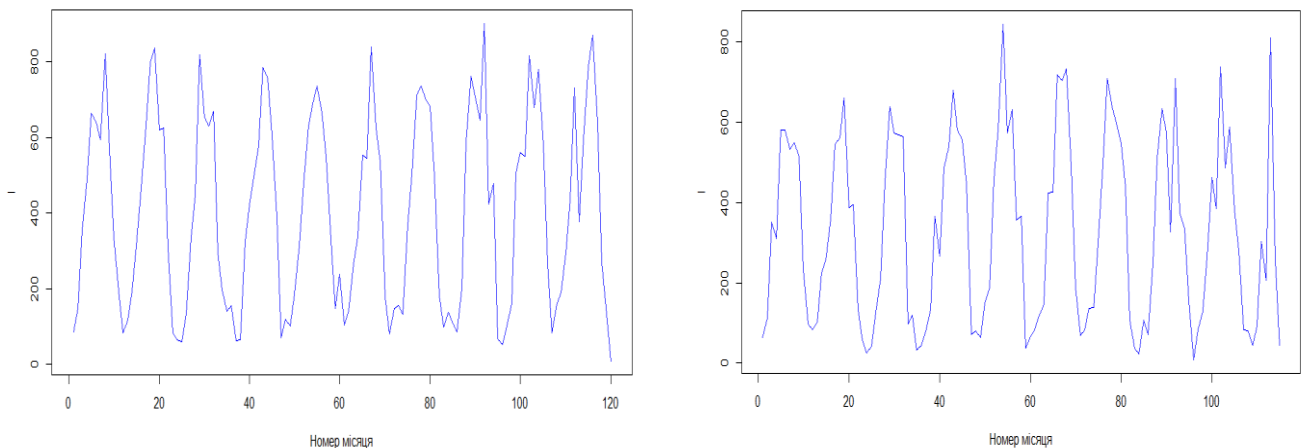


Рис. 1 Сонячна радіація на перпендикулярну поверхню(I) по місяцях з січня 2011р. по грудень 2020р.

Таблиця 1.

Статистичні характеристики рядів зміни сонячної радіації на перпендикулярну поверхню за період 2011-2020 рр.

Характеристика	Станція Бориспіль	Одеса
Математичне очікування	329,45	409,58
Середньоквадратичне відхилення	230,34	255,72
Коефіцієнт асиметрії	0,28	0,12
Екссес	-1,26	-1,39
1-й квартиль	104,5	153,5
Медіана	310	405
3-й квартиль	545,5	629,5
Дисперсія	53056,52	65392,718
3-й центральний момент	3396352	2038619
4-й центральний момент	4903947381	6877265967
Мода	580	147

У табл. 2 наведено дані порівняння показників геліоенергетичних ресурсів за період 1961-2020 роки для умов Києва та Одеси. Наведено дані порівняння з даними ДСТУ-2010. Показано, що в останні роки річні суми прямої радіації збільшуються на 18-23 %. Сумарна річна радіація в 2020 році збільшилась відносно періоду 1961-1990 рр. на 6 %. Порівняння показників геліоенергетичних ресурсів за період (1961 – 2020 рр.), середні рівні суми радіації на горизонтальну поверхню за умов середньої

хмарності для Києва та Одеси.

Примітка: * - данні по [5], ** - данні по ЦГО

На рис. 2. показано порівняння середньомісячних та середньодобових значень ЦГО та ДСТУ. Спостерігається збільшення радіації під час останнього десятиліття.

У таблиці 3 наведено дані порівняння ДСТУ з кліматичними даними різних періодів. Показано збіг даних ДСТУ (8-11 %) з даними ранніх періодів

Таблиця 2

Період роки	$S, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$	$D, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$	$Q, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	$\Delta, \%$
Станція Бориспіль, $L = 50^{\circ}. 24'$						
1961 - 1970	2030	+ 10	2069	- 4	4099	+ 3
1971 - 1980	1802	- 2	2131	- 1	3133	0
1981 - 1990	1694	- 8	2247	+ 4	3441	- 1
1991 - 2000	1623	- 12	1842	- 13	3495	- 12
2001 - 2006	1979	+ 2	1766	- 18	3645	- 9
*1991 - 2014	1824	- 1	1835	- 15	3659	- 7
**2011 - 2020	2264	+ 23	1854	- 14	4118	+5
ДСТУ 2010	1770	- 3	2009	- 6	3788	- 4
Одеса, $L = 46^{\circ}. 24'$						
1961 - 1970	2683	+ 8	1923	- 5	4606	+ 3
1971 - 1980	2373	- 3	2014	0	4387	- 2
1981 - 1990	2311	- 6	2127	+ 5	4438	- 1
1991 - 2000	2522	+ 3	2028	0	4553	+ 2
2001 - 2006	2663	+ 9	1890	- 6	4553	+ 2
*1991 - 2014	2665	+ 8	1825	- 10	4490	0
**2011 - 2020	2895	+ 18	1847	- 9	4742	+ 6
ДСТУ 2010	2479	0	1995	0	4474	0

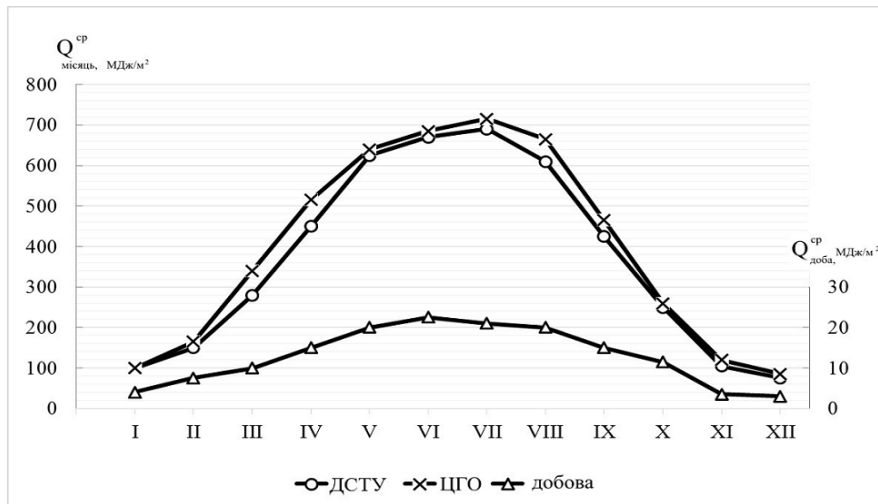


Рисунок 2. Середньомісячні і середньодобові значення сонячної радіації.

Таблиця 3

Порівняння сумарної сонячної радіації по ДСТУ НБВ.1.1-27:2010 з кліматичними даними різних періодів (для умов Одеси при середній хмарності)

Місяці	[12]	Δ, %	ЦГО	Δ, %	[10]
I	101	- 11	101	- 4	114
II	157	- 2	164	+2	160
III	214	- 4	345	+13	306
IV	454	- 2	515	+11	465
V	627	0	648	+3	631
VI	667	- 4	692	0	698
VII	690	- 3	709	0	712
VIII	608	- 2	653	+5	623
IX	431	- 5	458	0	452
X	261	- 7	257	- 9	282
XI	109	- 8	113	- 4	118
XII	75	- 16	89	0	89

Останніми роками спостерігається підвищення середньомісячних значень. Середньодобові значення наведено на рис. 2. кожного місяця року. Використовуючи розрахункові залежності, можна визначити середньодобові значення для будь-якого дня року. Використовуючи ці середньодобові значення, можна визначити погодинні значення.

Знаючи дані надходження радіації визначаємо середньомісячні та годинні значення [15-21].

Надходження сумарної сонячної радіації протягом дня визначається залежністю [21]:

$$H_o = \frac{3600 h_s G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0,33 \frac{360N}{365} \right] \times \left(\cos L \cdot \cos \delta \cdot \sin h_{ss} + \left(\frac{\pi h_{ss}}{180} \right) \sin L \cdot \sin \delta \right) \quad (1)$$

де N – день року; G_{sc} – сонячна постійна G_{sc} – 1330 Вт/м²; L – географічна широта; δ – відхилення сонця; h_{ss} – висота сонця; h_s – довжина сонячного дня.

$$h_s = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan L \cdot \tan \delta];$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (N + 284) \right];$$

$$h_{ss} = \cos^{-1}[-\tan L \cdot \tan \delta].$$

Часові надходження сонячної радіації визначаємо за залежністю [16]:

$$r = \frac{i}{H_o} = \frac{\pi}{24} [\alpha + \beta \cos h] \cdot \frac{(\cos h - \cos h_{ss})}{\sin h_{ss} - \frac{2\pi h_{ss}}{360} \cos h_{ss}} \quad (2)$$

де $\alpha = 0,409 + 0,5016 \sin(h_{ss} - 60)$; $\beta = 0,6609 - 0,4767 \sin(h_{ss} - 60)$.

Для умов Києва опівдні 15 липня визначаємо:

$$r = \frac{\pi}{24} [0,8344 + 0,2566 \cdot \cos(-7,5^{\circ})] \times \frac{(\cos(-7,5^{\circ}) - \cos 118^{\circ})}{\sin 118^{\circ} - \left(\frac{2\pi \cdot 118^{\circ}}{360} \right) \cos 118^{\circ}} = 0,112.$$

Показанні надходження сумарної сонячної радіації в полудень 15 липня для Києва складають $i = r \cdot H_o = 0,112 \cdot 7078 = 792$ Вт/м² по ДСТУ(862 Вт/м²).

Наприклад, для умов Києва (L=500 п.ш.)

денний вступ (15 липня) становить:

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45 \sin = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (106 + 284) \right] = \\ &= \left[\frac{360}{365} (N + 284) \right] = 21,2^\circ \\ h_{ss} &= \cos^{-1} [-\tan(50^\circ) \cdot \tan(21,2^\circ)] = 118^\circ \\ h_s &= \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(50^\circ) \cdot \tan(21,2^\circ)] = 15,7 \text{ год.} \\ H_0 &= \frac{3600 \cdot 15,7 \cdot 1330}{\pi} \left[1 + 0,33 \frac{360 \cdot 196}{365} \right] \times \\ &\times [\cos 50^\circ \cdot \cos 21,2^\circ \cdot \sin 118^\circ + \\ &+ \left(\frac{\pi \cdot 118}{180} \right) \sin 50^\circ \cdot \sin 21,2^\circ] = \\ &= 25,48 \text{ МДж/м}^2\text{-день або } \left(= 7078 \frac{\text{Вт}\cdot\text{год}}{\text{м}^2\cdot\text{день}} \right) \end{aligned}$$

За даними ДСТУ 2010, денне надходження сумарної сонячної радіації (15 червня) для умов Києва та ясного неба становить $Q=7544 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ ($\Delta=6\%$).

Важливою характеристикою геліоенергетичних ресурсів є тривалість сонячного сьйва. По даним [4] ефективно використання сонячної енергії забезпечується при тривалості сонячного сьйва (середньомісячні значення) більше 200 годин. По даним Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського фактична річна тривалість сонячного сьйва за період 2011-2020 роки для умов Києва (Бориспіль) змінюється від 2222 годин (2011 р.) до 2184 години (2020 р.). Можлива річна тривалість сонячного сьйва відповідно змінюється від 4452 години (2011 р.) до 4481 година (2020 р.). Середньомісячне значення фактичної тривалості сонячного сьйва змінюється від 203 години (березень 2011 р.) до 135 годин (листопад 2011 р.). Максимальні значення є 302 години в травні та 305 годин в червні. В 2020 році фактичні середньомісячні значення змінюються від 180 годин в березні до 120 годин в листопаді. Максимальні значення спостерігаються в червні (331 година) та серпні (334 години). В південних областях України

фактична річна тривалість сонячного сьйва за період 2011-2020 рр. для умов Одеси змінюється від 2387 годин (2011 р) до 2709 годин (2020 р.). Можлива тривалість сонячного сьйва відповідно змінюється від 4717 годин (2011 р.) до 4242 години (2020 р.). Середньомісячні значення фактичної тривалості сонячного сьйва змінюються від 180 годин (березень 2011 р.) до 169 годин (листопад 2011 р.). Максимальні значення спостерігаються в липні (333 години 2011 р.) та серпні (371 година 2011 р.). В 2020 році фактичні середньомісячні значення відповідно змінюються від 217 годин (березень 2020 р.) до 168 годин (листопад 2020 р.). Максимальні значення спостерігаються в липні (379 годин 2020 р.) та серпні (380 годин 2020 р.).

Критерієм доцільності використання сонячної енергії є річна кількість ясних та напівясних днів більше 200 (при кількості днів більше 244 потенціал оцінюється як високий). В ДСТУ кількість ясних днів не приводиться.

Висновки. Результати аналізу часового ряду сонячної радіації в період 2011-2020 років вказують на збільшення середньомісячної та річної сонячної радіації як у південних, так і північних районах країни в останні роки десятиліття. Виконано порівняння даних ДСТУ НБВ 1.1-27 – 2010 та фактичних даних вимірювань. Показано, що дані ДСТУ (2010 р.) збігаються з даними більш ранніх вимірювань до 2020 року, а з даними останнього десятиліття відрізняються на 18-23 %. Для визначення даних сонячної радіації у денний період та годинної радіації наведено емпіричні залежності прості та зручні для застосування при виконанні інженерних розрахунків та оцінок геліоенергетичних ресурсів.

Література

1. Клімат України.-Київ.-Видавництво Раєвського .-2003.-343 с.
2. Муртазінова В.Ф. Синоптические процессы, определяющие современный климат Украины. - Фізична географія та геоморфологія. 2009. Вип. 57.-с 18-22.
3. Зубкович С.А. Проблема типизации синоптических процессов над восточными областями Украины. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Экология.-том 3 №11 (63) 2013
4. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні.-Наукові праці УкрНДГМІ 2007 вип 256
5. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні.-Укр.географ.ж.-2015.-№4.-с.16-24
6. Рибченко Л.С. Савчук С.В. Радіаційний режим в умовах інтенсивної засухи 2001-2010 рр в Україні.-Укр.географ. ж. 2013. №1. с.5-11
7. Гальчак В. П., та інш. Параметри прямого потоку сонячної енергії при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери.-Відновлювальна енергетика 2019, №2. – с. 22
8. Озарків І. М., та інш. Особливості розрахунку геліосушильної установки для деревини.- Науковий вісник,

2007, вип. 17.1 Націон. лісотехн. ун-т України

9. Волошина Е.В., Курышина В.Ю. Пространственно-временное распределение суммарной солнечной радиации в Юго-Западных областях Украины.-Український гідрометеорологічний журнал, 2010, № 6
10. Научно-прикладной справочник по климату СССР, вып. 10, кн. 1, сер. 3. - Ленинград 1990
11. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология .-М Стройиздат 1983
12. ДСТУ - НБВ.1.1-27: 2010 Будівельна кліматологія-К. Мінрегіонбуд 2011
13. Рибченко Л.С., Ревера Т.О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні.-Наукові праці Укр. НДГМІ, 2007, вип. 256 . - с.99
14. Сергейчук О.В. Геометрична комп'ютеризована модель atmospheric radiation для енергоефективного будівництва.- Энергоефективність в будівництві та архітектурі .-вип 1.- 2011.-КНУБА
15. Zekai Zen Solar Energy Fundamental and Modeling Techniques/-London: Springer-Verlag 2008
16. Collares-Perera M Rabl A The average distribution of solar radiation -correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. -Solar Energy 1979:22:155
17. Мисак Й.С., Возняк О.Т., Дацько О.С., Шаповал С.П. Сонячна енергетика: теорія та практика. Львівська політехніка. 2014.-340 с.
18. Duffie JA, Beckman WA Solar engineering of thermal processes. 4-ed/ Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. New Jersey.-910 p.
19. Walker A. Solar Energy Technologies and the Project Delivery Process for Building. Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. -298 p.
20. Scharmer K. Greif J. The European Solar Radiation Atlas. vol.1 Paris.-2000. - 98 p.
21. Kalogirou S.A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. Academic Press, Oxford. 2014.- 819 p.

References

1. Klimat Ukrainy.-Kyiv.-Vydavnytstvo Rayevs'koho .-2003.-343 s.
2. Murtazynova V.F. Synopticheskiye protsessy, opredelyayushchye sovremennyy klymat Ukrainy. - Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya. 2009. Vyp. 57.-s 18-22.
3. Zubkovych S.A. Problema typrozatsyy synopticheskyykh protsessov nad vostochnymy oblastyamy Ukrainy. Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy: Ékologhyya.-tom 3 №11 (63) 2013
4. Dmytrenko L.V., Barandich S.L. Otsinka klimatichnykh resursiv sonyachnoyi enerhiyi v Ukraini.-Naukovi pratsi UkrNDHMI 2007 vyp 256
5. Rybchenko L.S., Savchuk S.V. Potentsial helioenerhetychnykh klimatichnykh resursiv sonyachnoyi radiatsiyi v Ukraini.-Ukr.heohraf.zh.-2015.-№4.-s.16-24
6. Rybchenko L.S. Savchuk S.V. Radiatsiynnyy rezhym v umovakh intensyvnoyi zasukhy 2001-2010 rr v Ukraini.-Ukr.heohraf. zh. 2013. №1. s.5-11
7. Hal'chak V. P., ta insh. Parametry pryamoho potoku sonyachnoyi enerhiyi pry yasnomu nebi z urakhuvannam prozorosti atmosfery.-Vidnovlyuval'na enerhetyka 2019, №2. - s. 22
8. Ozarkiv I. M., ta insh. Osoblyvosti rozrakhunku heliosushyl'noyi ustanovky dlya derevyny.- Naukovyy visnyk, 2007, vyp. 17.1 Natsion. lisotekhn. un-t Ukrainy
9. Voloshyna E.V., Kuryshyna V.YU. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenye summarnoy solnechnoy radyatsyy v Yuho-Zapadnykh oblastyakh Ukrainy.-Ukrayins'kyy hidrometeorolohichnyy zhurnal, 2010, № 6
10. Nauchno-pykladnoy spravochnyk po klymatu SSSR, vyp. 10, kn. 1, ser. 3. - Lenynhrad 1990
11. SNyP 2.01.01-82 Stroytel'naya klymatolohyya .-M Stroyzdat 1983
12. DSTU - NBV.1.1-27: 2010 Budivel'na klimatolohyya-K. Minrehionbud 2011
13. Rybchenko L.S., Revera T.O. Sumarna sonyachna radiatsiya ta al'bedo pidstyl'noyi poverkhni v Ukraini.- Naukovi pratsi Ukr. NDHMI, 2007, vyp. 256 . - с.99
14. Serheyчук О.В. Геометрична комп'ютеризована модел' atmospheric radiation dlya enerhoefektyvnoho budivnytstva.- Enerhoefektyvnist' v budivnytstvi ta arkhitekturi .-vyp 1.- 2011.-КНУБА
15. Zekai Zen Solar Energy Fundamental and Modeling Techniques/-London: Springer-Verlag 2008
16. Collares-Perera M Rabl A The average distribution of solar radiation -correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. -Solar Energy 1979:22:155
17. Mysak Y.S., Voznyak O.T., Dats'ko O.S., Shapoval S.P. Sonyachna enerhetyka: teoriya ta praktyka. L'viv's'ka politekhnika. 2014.-340 s.
18. Duffie JA, Beckman WA Solar engineering of thermal processes. 4-ed/ Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. New Jersey.-910 p.
19. Walker A. Solar Energy Technologies and the Project Delivery Process for Building. Copyright 2013 by John Wiley and Sons. Inc. -298 p.
20. Scharmer K. Greif J. The European Solar Radiation Atlas. vol.1 Paris.-2000. - 98 p.
21. Kalogirou S.A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. Academic Press, Oxford. 2014.- 819 p.

UDK 621.176

ANALYSIS OF TEMPORARY VARIABILITY OF THE TOTAL INTENSITY OF SOLAR RADIATION WHEN ASSESSING ENERGY RESOURCES

O. Prymak¹, I. Redko², O. Redko³, A. Redko³

¹Sc.D, professor., Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com, ORCID 0000-0002-3081-6057

²PhD, associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine, ihor.redko1972@gmail.com, ORCID 0000-0002-9863-4487

³Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, alex.redko2002@gmail.com, ORCID 0000-0002-4164-756X

³Sc.D, professor. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.andriy@kstuca.kharkov.ua, ORCID 0000-0003-2331-7273

Abstract. The results of the analysis of temporary variability of average monthly and annual amounts of solar radiation in Ukraine for the period 2011-2020 are presented. Measurement data were compared with earlier periods and the standard period of 1961-1990. The statistical characteristics of the series of changes in solar radiation have been determined. Comparison of the characteristics of solar radiation with the normative data of SSU NBV .1.1-27-2010 was made. It has been shown that in recent years the annual amounts of direct radiation have increased by 18-23%. The total annual radiation in 2020 increased by 6% according to the period 1961-1990. The analysis of the calculated results of determining hourly values and daily sums of direct and scattered radiation obtained using empirical dependencies of engineering methods is carried out. The efficiency of using the sustainable potential of solar energy depends on the climatic characteristics of this area or region. Inconsistencies in regulations can therefore create a problem where the best places for energy production lack public interest, infrastructure and cost-effective consumption. Depending on the regional climatic conditions of Ukraine, the solar energy potential varies from 1400 MJ/m² in the western regions to 1950 MJ/m² in the eastern regions. An important characteristic of solar energy resources is the duration of sunshine. For the conditions of Kyiv, the average monthly value of the actual duration varies from 180 hours in March to 120 hours in November. The possible annual duration of sunshine varies accordingly from 4452 hours (2011) to 4481 hours (2020). The maximum values are observed in June (331 hours) and August (334 hours). In the southern regions of Ukraine, the actual annual duration of sunshine for Odesa conditions varies from 2387 hours (2011) to 2709 hours (2020). The criterion for the expediency of using solar energy is the annual number of clear days of more than 200. The number of clear days is not given in SSU.

Keywords: solar radiation, change in total solar radiation, solar energy potential, climatic standard norm

УДК 662.995

Енергоефективні вакуум-випарні установки для концентрування в молочній промисловості

А.С. Макаров¹, А.І. Ходос², М.О. Кирієнко³, М. П. Сенчук⁴

¹к.т.н., ст. наук. співр., ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», м. Калинівка, Україна,

Stefanovich.makarov.anatoly@kmbp.com.ua.

² голова наглядової ради ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», khodos@kmbp.com.ua

³ заступник директора ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод», mihail_kirienko@ukr.net.

⁴к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, smp_21@ukr.net.

ORCID: 0000-000-8968-7336.

Проаналізовано застосування різних видів випарних установок для концентрування розчинів. Відмічено, що для згущення молочних продуктів найбільш перспективними є вакуумно-випарні установки плівкового типу з механічною компресією вторинної пари. Камера нагріву випарного апарата виконана у вигляді вертикального кожухотрубного теплообмінника з подачею гріючої пари в міжтрубний простір та зі спадним рухом продуктових розчинів у вертикальних кип'ятильних трубах. На підставі аналізу відомих досліджень з гідродинаміки і теплообміну плівкових процесів (конденсації, плівковому нагріву і випаровуванню та сепарації пари) зроблено висновок про відсутність даних для розрахунку з достатньою точністю втрат тиску в паровому контурі випарного апарата. Для вирішення цієї проблеми розроблено з використанням опублікованих результатів досліджень гідродинамічного опору удосконалені методики розрахунку гідравлічного опору міжтрубного парового тракту камери нагріву та двофазного потоку продуктової плівки і вторинної пари у випарних кип'ятильних трубах. До втрат тиску на переміщення вторинної пари в нижню камеру випарного апарата ураховано втрати на прискорення руху пари, що виділяється зі спадної плівки продукту. Показано, що гідравлічна депресія руху пари у міжтрубному просторі камери нагріву залежно від типу схеми може становити від 2,3% до 77% порівняно з робочим температурним напором поверхонь нагріву. Застосована в конструкції вакуумно-випарної установки чотириходова схема руху гріючої пари забезпечує зниження гідравлічних втрат до 15%. Виконано техніко-економічний аналіз затрат на експлуатацію вакуумно-випарної установки продуктивністю 10 т/год випареної вологи, за яким установлено найменші приведені затрати при перепаді температур на компресорі 5°C. Результати досліджень використано при розробці конструкції і виготовленні вакуумно-випарних установок з механічною та із змішаною (механічною і термічною) компресією на ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» (м. Калинівка, Вінницька обл.). Виготовлено і введено в експлуатацію 10 вакуумно-випарних установок продуктивністю від 5 до 20 т/год випареної вологи.

Ключові слова: вакуум-випарна установка, концентрування, згущення продукту, механічна компресія, термічна компресія, гріюча пара, вторинна пара, гідравлічна депресія, температурна депресія, удосконалена методика розрахунку контуру механічної компресії

Вступ. Випарні установки застосовуються для згущення незбираного і знежиреного молока в молочно-консервних виробництвах, молочної сироватки, соків та інших рідин. Концентрування нелетких сухих речовин рідини до згущення здійснюється шляхом видалення з неї частини води випарюванням. Рушійною силою процесу випарювання є різниця температур гріючого теплоносія (пари) і кипіння продукту, що концентрується. Вибір випарної установки залежить від області застосування і первинних характеристик продукту. Випарювання для концентрування – збільшення вмісту сухих речовин за рахунок зменшення вмісту води може бути основним процесом чи попередньою операцією переробки в установці розпилювального сушіння в потоці гарячого повітря, нагрітого у висотемпературному повітрянагрівачі [13]. Випарювання є завжди енерговитратним процесом для будь-якого виробництва. Тому важливим завданням є вибір раціонального режиму тех-

нологічного процесу у досягненні ефективної роботи випарної установки. Випарювання може здійснюватися як при надлишковому тиску так і під розрідженням. У світовій практиці молочної промисловості вже з 30-х років минулого століття обладнання для згущення під атмосферним тиском застосовували здебільшого для згущення побічних продуктів переробки молока, а для концентрування переважної маси виробленого згущеного молока – енергоефективні і більш прийнятні в обробці термічно нестійкого молочного продукту вакуум-випарні установки. Вакуум-апарати у порівнянні з атмосферними мають такі головні переваги: економічність випарювання, більша швидкість випарювання і низька температура молока. У даний час новозбудовані заводи комплектуються виключно вакуум-випарними установками двох основних типів – з механічною або термічною компресією пари в плівкових апаратах, які забезпечують порівняно з іншими конструкціями

апаратів економію енергоносіїв і відповідну якість готової продукції. Набувають поширення плівкові апарати з механічною компресією вторинної пари (MVR), які порівняно з термокомпресійними (TVR) мають ряд переваг.

- витрата пари нижча приблизно в п'ять раз;
- низька температура випарювання в апараті, яка регулюється в межах 60-65°C;
- можливість зміни температури термообробки перед згущенням в межах 72-80°C. При температурі термообробки в межах 72-74°C можливе виробництво продукту високої якості;
- можливість зміни продуктивності установки до 80%;
- низька забрудненість конденсату, контроль забрудненості конденсату, можливість використання його на різні технологічні потреби;
- передбачена робота на продукті без використання градирні;
- менша площа під розміщення обладнання.

Водночас, широко застосовуваний в європейських країнах тип випарних установок з механічною компресією, в Україні і пострадянських країнах є порівняно новим обладнанням, впровадження якого на заміну існуючого менш ефективного обладнання як вакуум-випарні установки циркуляційного типу "Вігандт" вимагає володіння відповідними теоретичними і практичними знаннями. Так, процес випарювання є нераціонально енергоємним, що викликає нагальну необхідність зниження енергетичних витрат. Одним із шляхів енергоефективної експлуатації випарної установки є зменшення використання енергії в контурі механічної компресії, яка пропорційна втратам тиску при стисненні теплоносія. Відсутність достовірних даних по втратам тиску в контурі гріючої пари призводить до неточності в їх розрахунку, а відповідно і некоректного підбору обладнання з раціонально потрібною електричною потужністю. Оптимізація співвідношення між характеристиками теплообміну, уточненими втратами тиску і вартістю конструкції є важливим завданням при проектуванні випарного апарату.

Актуальність дослідження. Підвищення ефективності роботи вакуум-випарних установок для технологічних процесів концентрування продуктів молочно-консервних виробництв із забезпеченням економічності та надійності обладнання протягом тривалої експлуатації. Дослідження проводились в процесі освоєння виробництва вакуумно-випарних установок плівкового типу з механічною компресією на ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» (м. Калинівка, Вінницька обл.).

Останні дослідження та публікації. Різноманітні конструкції випарних апаратів, що використовуються в промисловості, можна класифікувати по типу поверхні нагрівання, по її розміщенню у просторі, по типу теплоносія, а також залежно від того, рухається теплоносієм ззовні чи в середині труб нагрівальної камери. Відомі випарні апарати різної конструкції з неорганізованою природною та штучною циркуляцією продукту; прямоточні, в яких випарювання розчину відбувається за один його прохід, та з багатократною його циркуляцією; з випарюванням при атмосферному тиску і випарюванні під вакуумом. Однак найбільш суттєвим показником класифікації випарних апаратів, що характеризує інтенсивність їх дії є спосіб та кратність циркуляції розчину.

Значними перевагами характеризується вакуумний спосіб випарювання:

- випарювання у вакуумі при температурі близько 60°C рідин, які при атмосферному тиску мають температуру кипіння 100°C і їх переробка супроводжується фізико-хімічними змінами з втратою біологічної цінності продукту;
- зменшення втрат тепла в навколишнє середовище, і як наслідок - витрати гострої пари;
- можливість використання вторинної пари, що призводить до економії тепла та зменшення витрати гострої пари;
- менший час згущення і більше знімання продукту з 1 м² площі нагріву, завдяки більшому перепаду температур між теплоносієм і рідиною, що випарюється.

Різні види вакуум-апаратів:

- за принципом дії (періодичні і безперервні);
- за формою і розташуванню поверхні нагрівання (похилі, вертикальні);
- по використанню тепла вторинних парів (з використанням і без використання);
- по числу корпусів (одно-, двох- і багатокорпусні);
- по руху рідини, що концентрується (циркуляційні, зі висхідною або зі спадною плівкою).
- залежно від методу компресії вторинної пари: з механічною компресією пари (MVR); з термічною компресією пари (TVR); з об'єднанням механічної і термічної компресій.

Найпоширеніші економічні вакуум-випарні установки плівкового типу з випарними апаратами-кожухотрубними теплообмінниками, які дають змогу створювати великі поверхні теплообміну в одному апараті, прості у виготовленні і надійні в експлуатації.

При розробці конструкцій теплообмінних апаратів важливими є не тільки теплообмінні

характеристики, а і гідродинамічні – втрати тиску (гідрравлічний опір). Оскільки величина енергії, яка необхідна для перекачування теплоносія, пропорційна втратам тиску гідрравлічного тракту конструкції, то відповідно експлуатаційні затрати прямо визначаються величиною загальних втрат тиску.

Тому, для розробки ефективної конструкції випарних апаратів та оптимального вибору параметрів компресора необхідною умовою є точний розрахунок гідрравлічних втрат тиску як трубному так і міжтрубному просторі обладнання на рівні точності розрахунку тепловіддачі.

Відома значна кількість досліджень гідродинаміки і теплообміну плівкових процесів, як при конденсації пари [11, с.142-149, 375-379], так і при плівковому нагріві і плівковому випаровуванні [3, 4, 8, 21], ефективності сепарації пари [11, 12]. Ряд джерел [1, 5, 14] містять рекомендації по проектуванню плівкових апаратів. Ці матеріали становлять достатню науково-методичну основу для розрахунку процесів конденсації пари, плівкового випаровування і сепарації пари в складі продуктових і парових систем вакуумно-випарних установок з механічною компресією. На їх базі можуть бути визначені конструктивні розміри поверхні випаровування і необхідний для випаровування перепад температури пари на цій поверхні.

Разом з тим певну невизначеність при розробці вакуумно-випарної установки з механічною компресією являє сам паровий контур механічної компресії. І це при тому, що виробник механічного компресора [28] пропонує механічні компресори в широкому діапазоні температурних напорів. Відсутність достовірних даних по втратах тиску в контурі (гідрравлічна депресія) особливо відчутна при компресії пари на 3–5°C, де втрати можуть бути співмірні з робочим перепадом і приводити до значного росту витрат електроенергії. Це відноситься до ділянок механічної компресії: міжтрубний простір випарної колони і внутрішній простір випарних труб.

Міжтрубний простір випарної колони.

Рух потоків в міжтрубному просторі включає ділянки з поперечним омиванням трубного пучка, поворот на 180° в зоні вільній від перегородок, частковий повздовжній рух, байпасні потоки в зазорах перегородка – корпус та перегородка – випарні труби.

Найбільш розповсюджені у сучасних працях рекомендації по розрахунку гідрравлічного опору міжтрубного простору кожухотрубних теплообмінників з перегородками були запропоно-

вані в [10] у вигляді таблиці місцевих опорів, серед яких є складова опору трубного пучка

$$\zeta = 3 \cdot m / Re^{0,2},$$

де m – число рядів труб в напрямку руху потоку.

Були також опубліковані [15], і почали використовуватись формули визначення коефіцієнту опору трубних пучків, отримані Морозовим К.С., які для пучків з шаховим розташуванням труб діаметром d (s_1 – поперечний крок; s_2 – повздовжній крок) мають вигляд:

$$\text{при } s_1/d < s_2/d \quad \zeta = (4 + 6 \cdot m) Re^{-0,25},$$

$$\text{при } s_1/d > s_2/d \quad \zeta = (5,4 + 3,9 \cdot m) Re^{-0,29}.$$

Табличні значення коефіцієнтів місцевого опору [10], віднесених до швидкості в ділянці з поперечним омиванням таких ділянок, як вхід в міжтрубний простір, вихід з нього, поворот на 180° навколо перегородки в трубному пучку, в діапазоні 0,5-2,5 використовували без змін.

Треба відзначити, що приведений метод у вище наведеній літературі придатний для теплообмінників з одноходовим рухом теплоносія, нормалізованими відстанями між перегородками (0,5 D при діаметрі корпусу $D > 0,8$ м) [2] і розміром вільного сегмента перегородки 25%). Між тим, відстань між перегородками в трубному пучку вакуумно-випарної установки визначається допустимою (с точки зору запобігання вібрації) безопорною довжиною труб і перевищує $2D$. Для зменшення гідрравлічної депресії у випарних апаратах може застосовуватися двоходовий рух теплоносія з одною середньою і двома крайніми перегородками.

Другий підхід (метод Д.Керна), приведений в [23, с. 625], полягає у визначенні сумарного опору міжтрубного простору теплообмінника за рахунок комбінації певного вибору визначальних параметрів поперечного і повздовжнього омивання і використанні експериментальних значень коефіцієнтів опору. Для врахування впливу поперечних ділянок визначальною є швидкість при поперечному омиванні труб, а вплив повздовжніх ділянок – визначальним діаметром d_e і відношенням $\frac{D}{d_e}$ та режимним фактором – залежністю коефіцієнта опору ζ від числа Рейнольдса. Основна розрахункова формула для визначення втрат тиску, ΔP , Па

$$\Delta P = \zeta (N + 1) W^2 \left(\frac{\gamma}{2} \right) \cdot \left(\frac{D}{d_e} \right) \quad (1)$$

де ζ – коефіцієнт опору, який визначається за табличними даними залежно від числа Re ; N – число перегородок; W – швидкість на поперечній ділянці, м/с; γ – густина сія, кг/м³; D – діаметр корпусу, м, d_e – еквіва-

лентний діаметр поперечного перерізу корпусу з трубами і без перегородок, м.

У [17, с. 25] повідомляється про розробку в Делаверському університеті США напіваналітичної методики гідравлічного розрахунку в міжтрубному пучку на ЕВМ методом циклічних наближень. У [27] повідомляється про вдосконалення методики Делаверського університету, однак рекомендацій для користування названими методиками не надано.

Ґрунтовні вимірювання гідравлічного опору кожухотрубних теплообмінників виконано дослідниками Холлом і ін. в [24]. Було проведено досліди на 24 типах пучків кожухотрубного теплообмінника, результати яких узагальнені у вигляді залежності для визначення втрат

$$\Delta P = \zeta \left(\frac{Q}{0,063} \right)^\alpha, \quad (2)$$

де ΔP – втрати тиску, кПа; ζ та α – константи для конкретної конфігурації трубного пучка; Q – об'ємна витрата теплоносія, м³/с.

Постійний множник ζ і показник степені α приведені дослідниками для кожного типу пучка без узагальнюючих рекомендацій по розрахунку залежно від геометричних характеристик.

Перспективним є створення методики розрахунку сумарного гідравлічного опору міжтрубного простору вакуумно-випарної установки на базі останніх рекомендацій по розрахунку гідравлічного опору при поперечному обтіканні «ідеальних» трубних пучків [6,9,29] а також рекомендацій розрахунків гідравлічного опору при повздовжньому обтіканні «ідеальних» пучків стержнів [9, с. 31-36] з урахуванням дослідних даних [24] і методу Керна Д. [23].

Паровий тракт випарних труб. Паровий потік у випарних трубах проявляє себе як фактор, що впливає на стійкість плівки, і гідравлічну депресію. Стійкість роботи плівкового випарного апарату залежно від швидкості пари досліджувалась в [3], автори надали рекомендації по допустимим швидкостям вторинної пари на виході з випарних труб. У [1] пропонувалась методика теплового і гідравлічного розрахунку плівкової випарної установки, в якій враховано вплив руху пари парового ядра на тертя на верхній плівки і на тепловіддачу. У [18] на прикладі чотирикорпусної установки визначалась температурна депресія, викликана опором руху пари в випарних трубах. Тиск в корпусах установки змінювався від 1 бара до 0,15 бара. Встановлено, що в четвертому корпусі, який працює при тиску 1,5 бара температурна депресія становить 1,5–4,7 °С, що перевищує допустимі межі. Для визначення депресії у [18] приймалися до уваги тільки втрати на тертя.

Слід відзначити, що вторинна пара виходить радіально з плівки продукту в парове ядро з незначною швидкістю порядку 0,01 м/с. Не врахування втрат тиску на прискорення маси випаруваної вологи з плівки до швидкості виходу з труби можуть бути співмірні з втратами на тертя і заслуговують на розрахункове дослідження.

Метою роботи є визначення (встановлення) оптимальних режимних параметрів роботи вакуумно-випарної установки плівкового типу із забезпеченням зниження експлуатаційних витрат на підставі результатів розробленої удосконаленої методики гідравлічного розрахунку контуру механічної компресії.

Виклад основного матеріалу. У роботі розглянуто вакуумно-випарну установку (ВВУ) однокорпусну зі спадними плівками в трубному пучку і механічною компресією пари. Установка призначена для згущення молочних продуктів: знежиреного молока (ЗМ) та концентрованої сироватки (КС) перед розпилювальним сушінням в потоці гарячого повітря. ВВУ включає: випарну колону з сепаратором пари, пластинчатий теплообмінник з секціями для підігріву продукту гарячим конденсатом регенерації тепла після пастеризації, горизонтальний паровий трубчатий теплообмінник, витримувач продукту, горизонтальний трубчатий конденсатор, механічний компресор, паровий компресор трубчастого теплообмінника, балансний бак продукту, вакуумні насоси, бак ущільнювальної води, трубну панель, збірники конденсату, продуктові і конденсатні насоси, трубопроводи: продукту, гострої і вторинної пари, циркуляційної води конденсату та концентрованих розчинів, контрольно-вимірювальні прилади, арматуру, систему автоматизації.

Основні процеси згущення продукту здійснюються у випарному апараті з сепаратором пари. Випарний апарат виконаний з камерою нагріву у вигляді вертикального кожухотрубного теплообмінника (колони) з подачею гріючої пари в міжтрубний простір і спадним рухом плівки продукту у вертикальних трубах з циркуляцією в 5-ти секціях трубного пучка (рис.1). Верхня частина випарної колони (1) є камерою подачі продукту (2) в окремі секції з пристроями рівномірного розподілення продукту на внутрішню поверхню труб (3) і утворення на їх внутрішніх стінках спадної плівки продукту. Нижня частина колони є камерою (4) роздільного збору продукту з окремих секцій та відводу всієї вторинної пари, що виходить з пучка труб, в циклонний сепаратор (5).

Продуктовий контур. Первинний продукт в

установку поступає через трубну панель в балансний бак, а далі в пластинчатий теплообмінник, в першій секції якого підігрівається конденсатом до температури 48°C, а в другій секції догрівається до температури 60°C від нагрітого продукту. утвореного після нагрівання в кожухотрубному нагрівачі приблизно до 72°C. Охолоджений в пластинчатому теплообміннику, термічно оброблений продукт з температурою приблизно 62°C подається насосом через продуктову трубу (6) у верхню камеру (2) випарної колони на вхід першої секції пучка труб, а далі послідовно проходить через інші продуктові труби і чотири секції пучка труб (3), згущуючись до заданого вмісту сухих речовин. Далі концентрат продукту з нижньої камери п'ятої секції насосом через трубну панель подається на сушильну установку. У складі продуктового контуру передбачено постійний дренаж відсепарованого продукту з сепаратора на вхід продуктових насосів, а також відгалуження від вихідного продуктопроводу для скиду в бачок або в каналізацію.

Контур води. Охолоджуюча вода з градирні використовується в конденсаторі при пуску і зупинці установки. Вода з водопроводу подається в балансний бак продукту а також в систему подачі концентрованих розчинів. Ущільнююча вода подається на сальники насосів та на охолодження вакуумних насосів.

Контур конденсату. Конденсат пари з випарної колони та конденсатора з температурою не вище 60°C відводиться в конденсатний бак (7), з якого конденсатним насосом подається на першу секцію пластинчатого теплообмінника для підігріву первинного продукту. Конденсат пастеризатора з температурою вищою ніж 60°C подається через шайбу в корпус колони для скипання і зливається разом з конденсатом колони. Надлишок конденсату з компресора зливається в конденсатозбірник (8) і періодично скидається в каналізацію.

Контур пари. У технологічній схемі випарної установки (колони) застосовують гостру і вторинну пару. Гостра пара надходить з колектора пари на підмішування до гріючої пари колони та в термокомпресор (9). Гріючою парою є вторинна пара, що утворюється в процесі випарювання вологи зі спадних плівок продукту в трубах. Ця вторинна пара механічним компресором (10) стискується і подається в міжтрубний простір - гріючу камеру (6) випарної колони, нагріває трубний пучок, забезпечуючи процес згущення продукту. Основна кількість вторинної пари з сепаратора (невелика кількість вторинної пари через регулятор розрідження

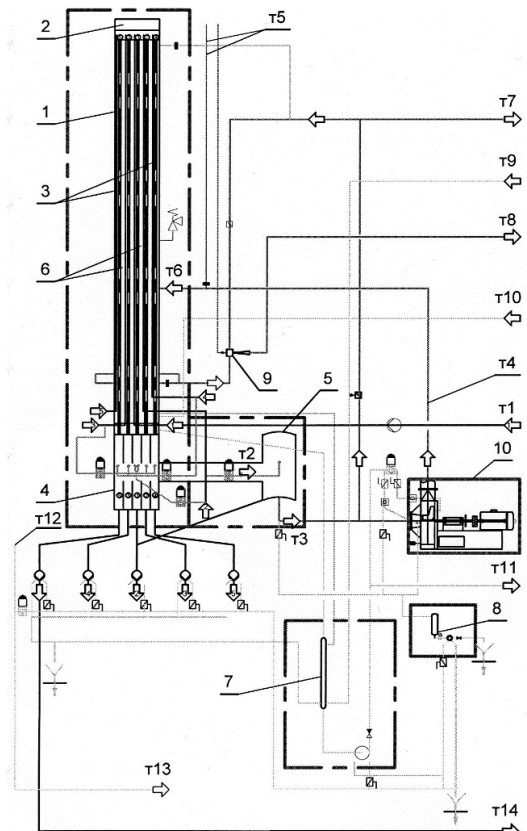


Рис. 1. Технологічна схема вакуум-випарної колони, трубопроводи: t1 – термічно обробленого продукту; t2 – вторинної пари; t3 – відсепарованої вторинної пари; t4 – стисненої вторинної пари; t5 – гострої пари; t6 – гріючої пари; t7 – пари до конденсатора; t8 – пари до пастеризатора; t9 – конденсату з конденсатора; t10 – конденсату з пастеризатора; t11 – конденсату до першої секції пластинчатого теплообмінника підігріву первинного продукту; t12 – охолоджувальної води; t13 – до вакуумних насосів; t14 – згущеного (концентрату) продукту
Примітка. Поз. 1 – 10 див. за текстом

відводиться на конденсатор) стискується механічним компресором до стану перегрітої пари, перехід якої в насичений стан досягається впорскуванням конденсату. Після добавлення до вторинної пари на виході компресора гострої пари, суміш в якості гріючої пари з підвищеним тиском і температурою подають в міжтрубний простір. Гріюча пара конденсується на трубах при передачі тепла до продукту. Пара, що виділилася з плівки рухається по центральному каналу труби, в нижню камеру колони. Неконденсовані гази відсмоктуються з нижньої частини випарної колони разом з парою і в суміші з гострою парою надходять в термокомпресор (9). З верхньої частини колони неконденсовані гази відводяться на конденсатор.

Схема контуру механічної компресії (рис.2). Склад: камера нагріву випарної колони (1), верхня камера подачі продукту (2), нижня камера відводу продукту і виходу пари (3), сепаратор (4), паропровід вторинної пари (5), механічний компресор (6), паропровід

стисненої пари (7), вхідна парова камера (8), підтримуюча перегородка середня (9), підтримуючі перегородки крайні (10), випарні труби (на рисунку не показано).

Робочий режим контуру визначається взаємодією складових механічної компресії, якими є:

- напірно-витратна характеристика механічного компресора при заданих обертах в вигляді залежності температури нагріву пари від масової витрати пари. Така характеристика надається виробником механічного компресора в графічному вигляді зручному для цифрової апроксимації в тому числі з врахуванням регулювання числа оборотів;

- сумарна температурна характеристика парового контуру (поверхні випаровування та елементів парового тракту), як необхідний перепад температури залежно від продуктивності по випареній волозі.

Характеристика системи механічний компресор – контур парової компресії (рис.3) побудована на базі теплотехнічних розрахунків вакуумно-випарної установки (тут не приводяться): поверхня випаровування установки 1000 м², середній коефіцієнт теплопередачі становить 1600 Вт/м²К, затрати тепла 690 кВт на 1000 кг/год випареної волози, величина температурної депресії 0,69°C, гідравлічна депресія – для номінального режиму 0,67°C і приймалась пропорційно квадрату відношення витрат пари.

Максимальні параметри механічного компресора 4276 об/хв з перепадом температури пари 6,8°C. Робочий режим процесу випарювання забезпечується при обертах двигуна 3820 об/хв і різниці температури 5,06 °C (перетин характеристик).

Гідравлічний розрахунок паропроводів, вхідної і вихідної парової камери колони виконується за загальними методиками [8]. Деяке уточнення прийнято для ділянки лінзових компенсаторів за результатами досліджень, проведених в [26], за якими визначена величина коефіцієнта опору дволінзових компенсаторів з «сорочкою» і без неї не перевищує 0,1 проти 0,3 в [8].

Особливості розрахунку гідравлічного опору парового тракту трубного пучка випарної колони.

Перепад температури в трубному пучку випарної колони має три складові:

- опір руху первинної пари в міжтрубному просторі трубного пучка (гідравлічна депресія 1);
- перепад температури між первинною і вторинною парою в процесі теплопередачі "пара–стінка", термічний опір стінки, теплопереда-

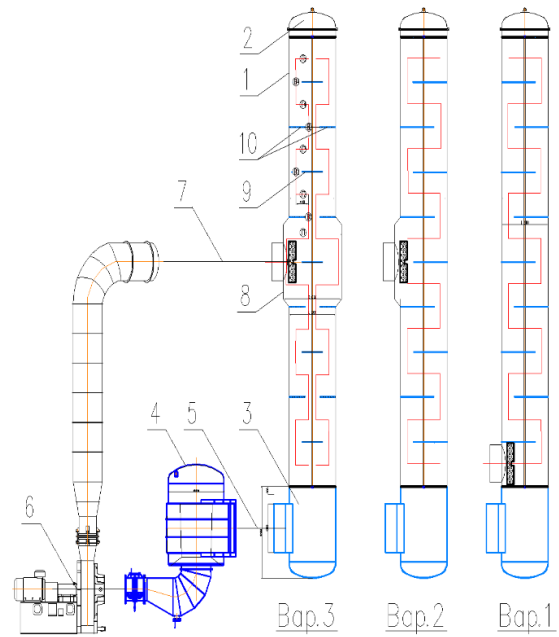


Рис. 2. Тракт пари вакуум-випарної колони із схемами руху пари в міжтрубному просторі: 1 – 1 хід; 2 – 2 ходи; 3 – 4 ходи

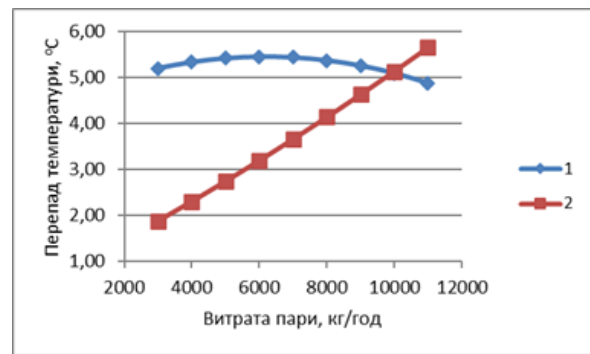


Рис. 3. Характеристика системи: механічний компресор (1) – контур парової компресії (2)

ча "стінка–продукт", та фізико-хімічна депресія продукту виражені в °C і Па; ▪ опір руху вторинної пари у випарних трубах від її початку і до виходу в нижню камеру (гідравлічна депресія 2).

Міжтрубний простір кожухотрубного теплообмінника складається з циліндричного корпусу з верхньою і нижньою трубними решітками і розміщеним в ньому трубним пучком (поверхня випаровування) з проміжними підтримуючими перегородками. Відстань між перегородками визначається допустимою (с точки зору запобігання вібрації) безпорною довжиною труб, а їх форма і взаємне розміщення – необхідністю сформувати в корпусі теплообмінника тракт руху первинної пари. Як правило, тракт має форму багатоходового змієвикового руху.

У випадку рідини масова витрата в міжтру-

бному просторі є незмінною і завданням організації тракту є найбільш повне поперечне омивання труб, наближене до «ідеального» поперечного омивання пучка з мінімальним перетіканням в зазорах між перегородками і корпусом. Для парового нагріву масова витрата пари по тракту зменшується по мірі її конденсації. Для кожної ділянки є частина пари, що конденсується, і частина, що проходить транзитом. Завданням організації парового тракту є мінімальний гідравлічний опір (гідравлічна депресія) транзитної пари. Перетікання пари в нормалізованих зазорах між перегородками і корпусом майже не впливає на інтенсивність процесу конденсації і на величину гідравлічної депресії.

Розрахунок гідравлічного опору міжтрубного тракту кожухотрубного теплообмінника становить певні проблеми, так як процес поєднує ділянки з поперечним і повздовжнім омиванням труб, а також повороти потоку і перетоки в зазорах між корпусом і перегородками.

Як розвиток методу Д. Керна пропонуємо розглянути тракт рідини чи пари в трубному пучку кожухотрубного теплообмінника як сукупність окремих ділянок з «ідеальним» поперечним омиванням і «ідеальним» повздовжнім омиванням.

Межі ділянки з поперечним омиванням – відстань між внутрішніми краями сегментних перегородок: це довжина, діаметр корпусу і відстань між перегородками визначають поперечний переріз, вісь потоку – середина відстані між перегородками. Межі ділянок з повздовжнім омиванням – між осями сусідніх поперечних потоків, площу становить площа сегмента за мінусом площі перерізу труб.

Для шахового пучка з «ідеальним» поперечним омиванням є усталені рекомендації щодо коефіцієнта опору ζ [19, с.238-569], [17, с.12-13], останні з них приведені в [9, с.33]:

$$\zeta = \zeta_0(m + 1), \quad \zeta_0 = C_s Re^{-0,27},$$

де m – число рядів вздовж потоку; C_s – коефіцієнт форми пучка. Для пучка з параметрами

$$(d = 40 \text{ мм}, s_1 = s_2 = 50 \text{ мм}, x_1 = \frac{s_1}{d} =$$

$$1,25, \emptyset = \frac{(x_1 - 1)}{(x_2 - 1)} = 1 \text{ коефіцієнт форми дорівнює}$$

$$C_s = 3,2 + 0,66 \cdot (1,7 - \emptyset)^{1,1} + (1,44 - x_1) / 0,11 \cdot (0,8 + 0,2 \cdot (1,7 - \emptyset)^{1,5}) = 5,027.$$

Разом з тим в [9, с.31-36] рекомендується користуватись рис.1.3, де використовуються експериментальні дані приведені в [6, с.239] та [29, с.1318]. Ці джерела дають значення $C_s=6$, яке і прийнято для розрахунків.

Методика розрахунку гідравлічного опору пучка гладких стержнів приведена в [9].

$$\zeta = 0,21 \cdot Re^{-0,25} \left(1 + \left(\frac{s}{d} - 1\right)^{0,32}\right).$$

Число Рейнольдса розраховується по еквівалентному діаметру пучка стержнів з їх розміщенням у вершинах трикутника в решітці

$$d_e = d \left(2 \cdot \frac{3^{0,5}}{\pi} \cdot \left(\frac{s}{d}\right)^2 - 1\right),$$

де d – зовнішній діаметр стержнів; s – відстань між стержнями.

Перевірка запропонованої методики гідравлічного розрахунку міжтрубного простору. Запропонована методика гідравлічного розрахунку міжтрубного простору була перевірена за опублікованими в [24] результатами замірів гідравлічного опору повнорозмірного кожухотрубного теплообмінника. Конструктивні характеристики теплообмінника: внутрішній діаметр корпусу 0,59 м, довжина між трубними дошками 3,58 м, діаметр зовнішнього контуру пучка труб 0,568 м, діаметр сегментних перегородок 0,587 м, число ходів 6 і 8. Діаметр гладкої трубки 19,1мм, товщина стінки 1,2 мм, відносний крок труб 1,25, число труб в повному трубному пучку 499. Використовувались також оребрені трубки з діаметрами оребрення: зовнішнім 19,1 мм і внутрішнім 15,9 мм. Взаємне розташування труб по вершинах рівностороннього трикутника і квадрата. Орієнтація по відношенню до поперечного потоку: по нормалі до сторони трикутника і квадрата, паралельно одній з сторін трикутника, в напрямку на вершину квадрата. Діаметр вхідних патрубків 356 мм і 254 мм. Сегмент перегородки становив від 16% до 30 % діаметра. У ряді дослідів сегменти були вільні від трубок.

За результатами досліджень 24 серій випробувань різних конструктивних варіантів теплообмінника отримано узагальнюючу залежність для визначення втрат тиску (див. формулу 2) та приведено результати розрахунків по запропонованій авторами методиці.

Нами для аналізу були прийняті два варіанти дослідів 1 і 5 з розташуванням труб в пучку по вершинах рівностороннього трикутника з відносним кроком 1,25 і орієнтацією по відношенню до поперечного потоку – по нормалі до сторони трикутника, що відповідає трубному пучку вакуумно-випарної установки.

Для цих випадків дані досліджень такі:

- 1) витрата теплоносія, м³/год: 227, 340, 510, 565;
- 2) варіант 1 – число секцій 8, константа опору 37,4 та показник степені 1,93;
- 3) варіант 5 – число секцій 6, константа

опору 23,3 та показник степені 1,87.

За запропонованою у цій роботі методикою розрахунку гідравлічний тракт теплообмінника (рис.2) представлений як сума ділянок з «ідеальним» поперечним омиванням шахового трубного пучка та ділянки з повздовжнім омиванням гладких труб в трикутній упаковці. Гідравлічний опір розраховувався по окремим ділянкам за загально прийнятими методиками, а сумарна величина опору всіх ділянок порівнювалась з даними досліджень Холла і ін. [24] і розрахунком по [19, с.238-569].

Результати розрахунків приведені на рис. 4.

Максимальні відхилення (розбіжності) розрахункових величин від експериментальних даних за варіантом 1 складають за запропонованою методикою не більше 10 %, а за існуючою методикою - 24 %, за варіантом 5 відповідно 20% і 33%. В зоні малих витрат, більш близьких до режимів парового тракту відхилення за запропонованою методикою становлять 10% і 6% проти 20% і 33% за існуючою методикою.

З застосуванням запропонованої методики з метою оптимізації схеми руху пари виконано розрахунки 3-х варіантів міжтрубного тракту (рис.2):

1 - відповідно до нормалізованої схеми кожухотрубних теплообмінників [2] з підводом пари знизу колони і системою одинарних перегородок;

2 - з підводом пари посередині висоти колони і системою одинарних перегородок;

3 - з підводом пари посередині висоти колони з системою підтримуючих перегородок: 5 середніх перегородок і 4 пари крайніх.

У першому варіанті витрата пари на один поперечний хід становить 100% , в другому – 50%, в третьому 25%. Результати розрахунку – рис. 5.

При одноходовому русі пари опір становить 3500 Па і спів мірний з перепадом тиску на поверхні випаровування – 4580 Па.

Застосування двоходового руху знижує опір до 560 Па, а чотириходового – до 110 Па, що становить не більше 3% перепаду тиску на поверхні випаровування. Паровий тракт міжтрубного простору за третім варіантом утворюють 8 ділянок з повздовжнім омивання труб і 10 пар ділянок з поперечним омиванням шахового пучка труб. На рис.6 приведені розрахунки гідравлічного опору чотириходового між трубного тракту кожухотрубного теплообмінника випарного апарата за існуючою [19] та запропонованою методиками показали значні розходження у величинах сумарних втрат тиску і підтверджують необхідність врахування втрат тиску в поз-

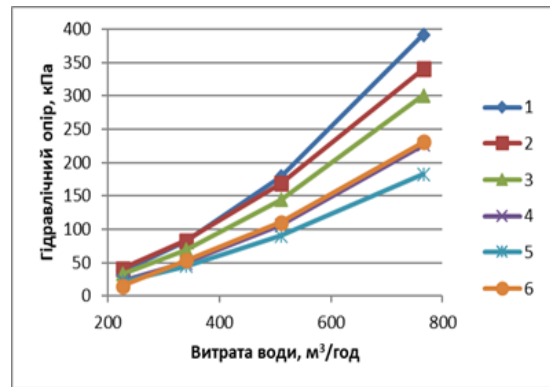


Рис. 4. Порівняння розрахункових величин гідравлічного опору міжтрубного простору з даними дослідів Холла (1,4) за запропонованою методикою (2, 5) та за методикою [19] (3, 6) за варіантами: перший - 1, 2, 3; п'ятий - 4, 5, 6.

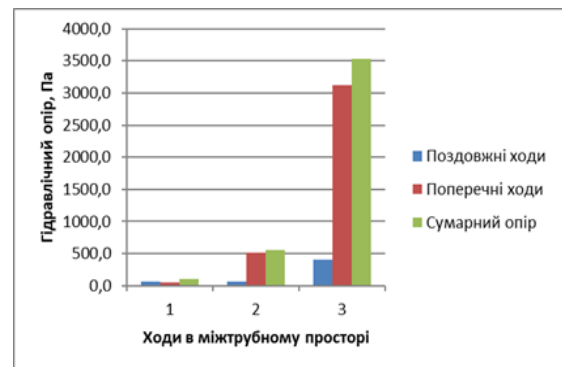


Рис. 5. Порівняння втрат тиску в міжтрубному просторі із схемами руху пари: 1 – 4 ходи; 2 – 2 ходи; 3 – 1 хід

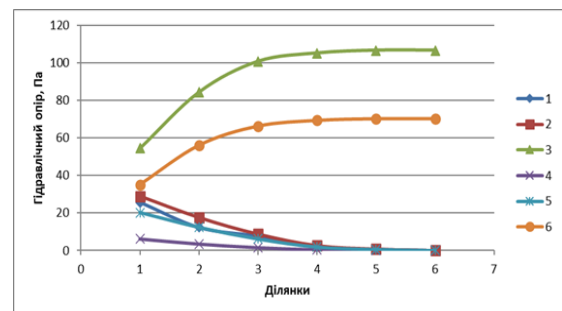


Рис. 6. Опір руху вторинної пари у міжтрубному просторі: повздовжній, поперечний і сумарний за розрахунком: 1, 2, 3 – по запропонованій методиці; 4, 5, 6 – за даними [19]

довжніх ділянках камери нагрівання при розрахунку гідравлічної депресії в загальному тракту механічної компресії.

Методика розрахунку гідравлічного опору руху вторинної пари в випарних трубах.

Втрати на тертя, оцінка режимів руху вторинної пари.

Результати досліджень кільцевих двофазних потоків з плівкою на стінці труби і центральним газовим потоком приведені в [25]. При ламінарному режимі тонкої плівки рідини на стінці труби гідравлічний опір руху газового потоку

підпорядковується закономірностям для гідравлічно гладких труб. Зі збільшення товщини плівки виникає хвильовий режим її руху. Хвилі діють на газовий потік як виступи шорсткості, значно збільшуючи гідравлічний опір. Другим фактором збільшення опору є виникнення бульбашкового кипіння з піноутворенням. Граничні теплові навантаження, для запобігання цього явища визначено в [5].

Таким чином в випарних трубах повинна бути забезпечена необхідна щільність зрошення, ламінарний режим руху плівки і режим випаровування без переходу в бульбашкове кипіння.

У теплових розрахунках даної роботи підтверджено, що режим течії плівки продукту є ламінарним. Число Re плівки становить 54–460 при граничному значенні $Re=1400–1500$ [8]. Теплове навантаження поверхні випаровування знаходиться в межах 2400–6900 Вт/м² при граничних значеннях 13400–19800 Вт/м² [3].

Втрати тиску на прискорення руху пари

Вторинна пара у випарних трубах утворюється по всій їх довжині від зони подачі продукту з верхньої камери до зливу продукту в нижню камеру з подальшим виходом вторинної пари на сепаратор. Витрата і швидкість пари W по довжині труби зростає лінійно від нульового значення на вході до максимуму на виході. На кожній ділянці пара, що виділяється з плівки продукту, надходить в основний потік пари з нульовою швидкістю в осьовому напрямку і мають місце втрати тиску на прискорення руху пари.

Схема розрахунку включає визначення втрати тиску на тертя і втрати тиску на прискорення руху плівкової пари в основному потоці випарних труб. Розрахунок проводиться для сумарної паропродуктивності випарної установки з рівномірним розподілом пари по трубах трубного пучка. Труба по довжині поділена на 10 частин з визначенням надходження пари на ділянку та витрати пари на вході і на виході.

Розрахунок втрат тиску на тертя проводився по середній витраті пари на ділянці, а коефіцієнт тертя визначався, як для «сухого режиму», за загально прийнятими формулами для круглих гладких труб:

$$\begin{aligned} \text{ламiнарний режим} - \lambda &= \frac{64}{Re}, \\ \text{турбулентний режим} - \lambda &= \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \end{aligned}$$

Розрахунок втрати тиску на прискорення виконувався по витраті пари на виході з ділянки як для вузла завантаження продукту пневмотранспорту за формулою [22, с.51-55, 108-111]

$$\Delta P = \rho \frac{W^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda l}{d} + 1,14 \cdot \mu \right) \quad (3)$$

де $\frac{\lambda l}{d}$ – коефіцієнт опору тертя для ділянки; μ – співвідношення витрати вихідної пари з плівки на ділянці і середньої витрати пари у випарній трубі.

Результати розрахунку гідравлічного опору випарної труби представлено на рис. 7.

Як видно, втрати тиску на прискорення руху плівкової пари перевищують втрати на тертя. Сумарний гідравлічний опір внутрішнього тракту парових труб становить 350 Па і є другим за величиною (після сепаратора) в контурі механічної компресії.

Економічна ефективність. Економічна ефективність характеризується приведеними затратами (сума експлуатаційних затрат і амортизаційних відрахувань) та терміном окупності. Для вакуумно-випарної установки з механічною компресією приведені затрати в основному визначаються затратами електроенергії на привід механічного компресора і вартістю обладнання – випарної колони з паровим контуром.

Параметром оптимізації виступає робочий перепад температури, створений механічним компресором. Зі збільшенням різниці температури зменшується поверхня випарної колони і її вартість. Одночасно зростає витрата і вартість електроенергії (рис. 8).

Для аналізу прийнята випарна установка продуктивністю 10 000 кг/год випареної вологи і типовий механічний компресор фірми "Piller" (Німеччина). У табл.1 приведені результати розрахунку величини поверхні випаровування залежно від заданого перепаду температури.

Оптимальним є температурний напір механічного компресора 5°C (рис. 9), з яких 3,8°C реалізується на передачу тепла на поверхні випаровування, 1,2°C – сума температурної і гідравлічної депресії. Поверхня теплообміну становить 1043 м², витрата електроенергії 114 кВт.

Загальні розрахунки по запропонованій методиці. На підставі розробленої методики виконано розрахунок контуру механічної компресії вакуумно-випарної установки з продуктивністю по випареній волозі 10000 кг/год (табл.2, рис.10,11).

Прийнято оптимальну поверхню випаровування 1050 м² (очікуваний температурний напір механічного компресора 5°C), визначено кількість випарних труб, які розділено на 7 секцій. Прийнято конструктивну схему випарної колони, сепаратора і паропроводів. У розрахунок для ділянок з гідравлічною депресією визначалися перепади тиску, для ділянок з термічним

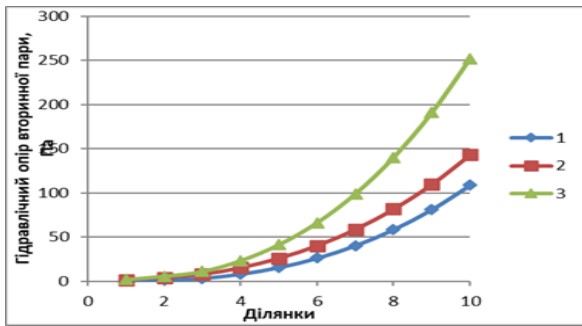


Рис. 7. Гідравлічний опір руху вторинної пари у випарній трубі: 1 – втрати опору на тертя; 2 – втрати опору на прискорення руху плівкової пари; 3 – сумарний опір

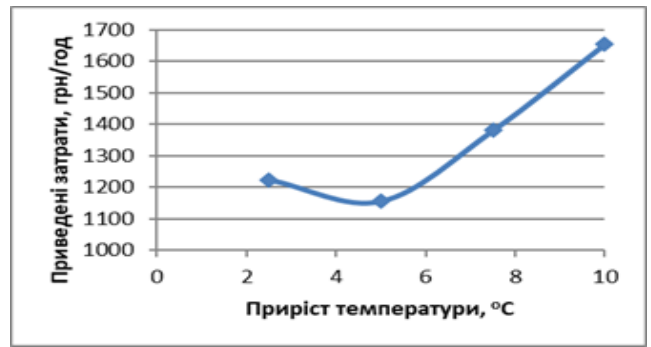


Рис. 9. Залежність приведених затрат на згущення продукту від перепаду температури механічного компресора

Таблиця 1

Величина поверхні випаровування

N n/n	Назва	Од. вим.	Вели- чина
1	2	3	4
1	Температурний напір компресора	°C	2,5
2	Кількість тепла	кВт	6539
3	Середнє значення коефіцієнта теплопередачі	Вт/(м ² град)	1650
4	Температурна депресія	°C	0,7
5	Гідравлічна депресія (попередньо)	°C	0,5
6	Температурний напір поверхні	°C	1,3
7	Потрібна поверхня випаровування	м ²	3048

Продовження таблиці 1

N n/n	Величина		
1	5	6	7
1	5,0	7,5	10,0
2	6539	6539	6539
3	1650	1650	1650
4	0,7	0,7	0,7
5	0,5	0,5	0,5
6	3,8	6,3	8,8
7	1043	629	450

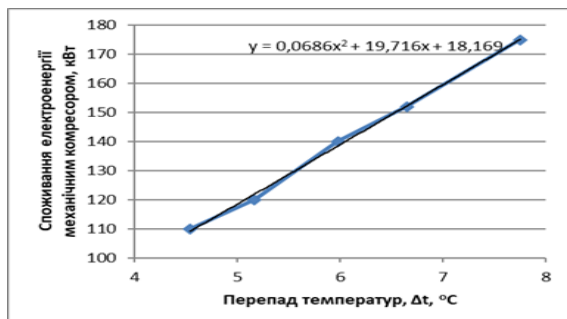


Рис. 8. Споживання електроенергії механічним компресором залежно від перепаду температури

Таблиця 2

Розрахунок робочих обертів механічного компресора

N n/n	Назва	Од.вим.	Вели- чина
1	Випарена волога	кг/год	10000
2	Питомий перепад температури	°C/ (кг/год)	0,0038
3	Середнє значення температурної депресії	°C	0,69
4	Необхідний перепад температури пари на поверхні теплообміну	°C	4,47
5	Необхідний приріст температури пари	°C	5,10
6	Параметри механічного компресора:		
	- в робочому режимі	об/хв	3831
	- в базовому режимі	об/хв	4276
	- відношення числа обертів		0,90
	- відношення квадратів числа обертів		0,81
7	Витрата пари (перерахунок)	кг/год	11161
8	Константи рівняння апроксимації		$-2,5 \cdot 10^{-8}$
			$34,5 \cdot 10^{-5}$
			5,606
11	Приріст температури пари (перерахунок)	°C	5,09
12	Число обертів (розрахунок)	об/хв	3831

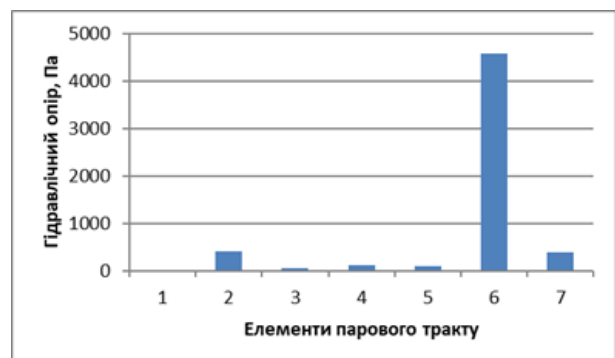


Рис. 10. Гідравлічний опір руху пари в елементах контуру механічної компресії:

1 – паропровід; 2 – сепаратор; 3 – компенсатори; 4 – паропровід гризючої пари; 5 – міжтрубний простір; 6 – поверхня випаровування; 7 – випарні труби

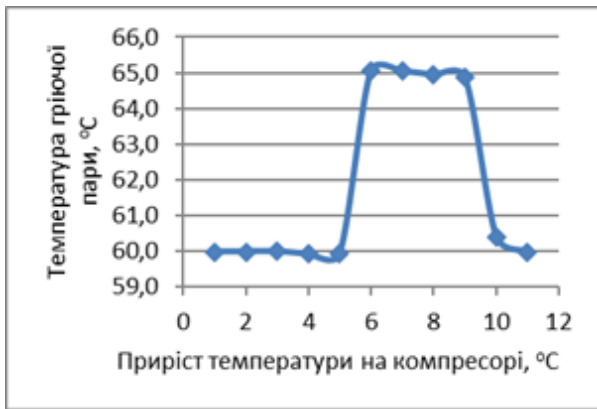


Рис. 11. Графік температури в системі: механічний компресор – контур грійоючої і вторинної пари

опором і фізико-хімічною депресією – перепади температур.

Шляхом перерахунків через таблиці фізичних констант води отримано два види перепадів – тисків і температур.

Необхідний температурний напір механічного компресора становить 5,09 °C, з них гідравлічна депресія 0,7°C, робочі оберти 3831 об/хв, споживання електроенергії 120 кВт.

Висновки. На основі аналізу типів і наявного парку вакуумно–випарних установок для згущення молочних продуктів зроблено висновки що найбільш перспективними є вакуумно–випарні установки плівкового типу з механічною компресією вторинної пари.

Відома значна кількість досліджень гідродинаміки і теплообміну плівкових процесів, як при конденсації пари так і при плівковому нагріві і випаровуванні, ефективності сепарації пари, результати яких становлять основу для розробки нових установок.

Разом з тим певну проблему при розробці вакуумно–випарної установки з механічною компресією являє сам паровий контур механічної компресії. Відсутність достовірних даних по втратах тиску в контурі (гідравлічна депресія)

особливо відчутна при компресії пари на 3–6°C, де втрати можуть бути співмірні з робочим перепадом і приводити до значного росту витрат електроенергії.

Запропонована нова форма робочих характеристик механічного компресора і контуру механічної компресії для визначення робочого режиму і регулювання обертів двигуна компресора.

З використанням опублікованих результатів досліджень гідродинамічного опору міжтрубного тракту кожухотрубних теплообмінників запропонована удосконалена методика розрахунку гідравлічного опору міжтрубного тракту випарної камери.

Виконано розрахунковий аналіз 3-х варіантів схеми міжтрубного простору випарної колони, які показали що гідравлічна депресія на цій ділянці залежно від типу схеми може становити від 2,3% до 77% від робочого перепаду температури на поверхні нагріву

Розроблено методику розрахунку гідравлічного опору при русі пари в випарній трубці з урахуванням втрат тиску на прискорення руху пари, що виділяється з плівки продукту.

Виконано техніко–економічний аналіз затрат на експлуатацію вакуумно–випарної установки залежно від робочого перепаду температур на компресорі. Установлено, що мінімальна величина приведених затрат має місце при перепаді температур на компресорі 5°C.

Результати досліджень використано при розробці конструкцій і виготовленні вакуумно–випарних установок ВВУп-Мк-Пк з механічною та змішаною (механічною і термічною) компресією на ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» (м. Калинівка, Вінницька обл.).

Виготовлено і введено в експлуатацію 10 установок продуктивністю від 5 до 20 т/год випареної вологи.

Література

1. Василенко С.М. Теплогідравлічний розрахунок плівкових випарних апаратів/ С.М. Василенко, А.В. Форсюк, В.В. Шутюк, Н.В. Чепель // Наукові праці УДУХТ – 2002, № 11. – с. 124-126.
2. Краткий справочник по теплообменным аппаратам/В.А. Григорьев, Т.А. Колач др. – М: Госэнергоиздат, 1982. – 256 с.
3. Доманский И.В. Теплоотдача в падающей пленке жидкости/ И.В. Доманский, В.Н. Соколов // Журнал прикладной химии. – 1967, т. XI, вып.1. – с. 66-71.
4. Доманский И.В. Определение режимов устойчивой работы выпарных аппаратов с падающей жидкостной пленкой/ И.В. Доманский, В.Н. Соколов // Журнал прикладной химии. – 1967, т. XI, вып. № 2. – с. 365-370.
5. Доманский И.В. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи/ И.В. Доманский. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с. 196-203.
6. Жукаускас А. Конвективный перенос в теплообменниках. – М., Наука, 1962. – 472 с. 239
7. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/Под ред. И.Е. Идельчика. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с. 467 с.
8. Каретников Ю.П. Исследование теплоотдачи в пленке кипящей жидкости/Ю.П. Каретников // Журнал

технической физики. – 1954, вып. 2. – № 24. – с. 193-199.

9. Справочник по теплогидравлическим расчетам/Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С. – М.: Энергоатомиздат, 1990. –360 с.

10. Кичигин М.А. Теплообменные аппараты и выпарные установки/М.А. Кичигин, Г.Н. Костенко.– М: Госэнергоиздат, 1955. – 392 с.

11. Кутепов А.М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании/А.М.Кутепов, А.М.Стерман, Н.Г.Стюшин – М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.

12. Левераш В.И., Давыдов И.Ф., Голуб С.И., Красиков А.Н. Экспериментальное исследование уноса на моделях выпарных аппаратов с падающей пленкой // Вопросы атомной науки и техники. Опреснение соленых вод. – 1974, вып. 1(5). – с. 26-34.

13. Макаров А.С., Сенчук М.П., Ходос А.І., Кириєнко М.О. Підвищення ефективності технологічної схеми промислового високотемпературного повітрянагрівача/А.С.Макаров, М.П. Сенчук М.П., А.І. Ходос, М.О. Кириєнко//Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2022. – Вип. 40. – с.6-15.

14. Процеси і апарати харчових виробництв: навч. посіб. /За ред. проф. І.Ф. Малежика. – Київ: НУХТ, 2012. – 543 с.

15. Михеев М.А. Основы теплопередачи/М.А. Михеев. И.М. Михеева. – М: Энергия , 1977. – 344 с.

16. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) /Под ред. С.И. Мочана. – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.

17. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Том 2 /Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко, А.А.Михалевича, В.К.Шикова. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

18. Ронкин В.М. Определение рациональной конструкции выпарного аппарата с целью увеличения эффективности работы/ В.М. Ронкин// Промысловая подготовка нефти и газа. – 2012 , вып. 2. – с. 90-93.

19. Теплотехнический справочник. Том 2 – М: Энергия, 1968. – 896 с.

20. Стабников В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств/ В.Н. Стабников. –Киев.: Вища школа, 1985. – 199 с.

21. Тананайко Ю.М. Методы расчета и исследования пленочных процессов/Ю.М. Тананайко, Е.Г. Воронцов.– К.: Техніка, 1975. –312 с.

22. Успенский В.А. Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии/ В.А. Успенский// . Свердловск - Москва: Государственное научно - техническое издательство по черной и цветной металлургии, 1952. – 112 с.

23. Хоблер Т. Теплопередача и теплообменники/ Т. Хоблер. – Л.: Химиздат, 1961. – 820 с.

24. Холл. Измерение падения давления в потоке воды в межтрубном пространстве опытного теплообменника промышленного масштаба/Холл, Ченовет, Уомбсансс//Труды американского общества инженеров-механиков (перевод на рус.). Теплопередача. – 1988. – № 4. – С. 43-51.

25. Хьюитт Дж., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные течения. Перевод с английского/Дж..Хьюитт, Н.Холл-Тейлор. – М. Энергия, 1974. –408 с.

26. Чуракова С.В. О величине гидравлического сопротивления линзовых компенсаторов/ С.В. Чуракова// Энергомашиностроение. – 1962. – № 4. – с. 29-30.

27. Kistler R. S. Heat Exchanger Shellside Pressure Drop: Comparison of Predictions With Experimental Data/R. S. Kistler, J. M. Chenoweth//Mem.ASME Heat Transfer Research, Inc., Alhambra, CA. – 1988, Vol. 110. – с. 68-76.

28. Piller Blowers & Compressors GmbH. Посилання: <https://www.piller.de>.

29. Handbook of heat transfer/W.M. Rohenow, J.P. Hartnett– USA: Mc Grow Hill, 1998 – 1500 s.

References

1. Vasilenko S.M. Teplohivrahlichnii rozrakhunok plivkovikh viparnikh aparativ/S.M.Vasilenko, A.V. Forsiuk, V.V. Shutiuk, N.V. Chepel // Naukovi hrazi UDUKHT – 2002, № 11. – s. 124-126.

2. Kratrii spravochnik po teploobmiennim apparatam/V.A. Grigoiev, T.A. Kolach i dr. – М: Gosenergoizdat, 1982. – 256 s.

3. Domanskii I.V. Tehlootdacha v padaiushchei plienkie zhidkosti/ I.V. Domanskii, V.N. Sokolov // Zhurnal hrikladnoi khimii. – 1967, t. XI, vyp.1. – s. 66-71.

4. Domanskii I.V. Opriedielienie rezhimov ustoichivoi raboty vyparnykh apparatov s padaiuiei zhidkostnoi plienkoi/ I.V. Domanskii , V.N. Sokolov // Zhurnal prikladoi khimii. – 1967, t. XI, vyp. № 2. – s. 365-370.

5. Domanskii I.V. Mashiny i apparaty khimichieskikh proizvodstv. Priimery i zadachi/ I.V. Domanskii. – L.: Mashinostroieniie, 1982. – 384 s. 196-203.

6. Zhaukas A. Konvektyvni pierienos v tieploobmiennikach. – М., Nauka, 1962. – 472 s.

7. Spravochnik po hivravlichieskim soprotivlieniiam/Pod red. I.E. Idelchika. – М.: Mashinostroieniie, 1975. – 559 s.

8. Karietnikov Yu.P. Issliedovaniie tieplootdachi v plienkie kipiashchiei zhidkosti/Yu.P. Karietnikov // Zhurnal tiekhnichieskoi fiziki. – 1954, vyp. 2. – № 24. – s. 193-199.

9. Spravochnik po tieplohilravlichieskim raschietam/Kirillov P.L., Yuriev Yu.S. – M.: Enerhoatomizdat, 1990. – 360 s.
10. Kichigin M.A. Tieploobmiennyye apparaty i vyparnyye ustanjvki/M.A. Kichigin, H.N. Kostenko.– M: Hosenerhoizdat, 1955. – 392 s.
11. Kutepov A.M. Hidrodinamika i tieploobmien pri paroobrazovanii/A.M.Kutepov, A.M.Sterman, N.H.Styushin. – M.: Vysshaya shkola, 1988. – 448 s.
12. Lievierash V.I., Davydov I.F., Holub S.I., Krasikov A.N . Ekspierimentalnoie issliedovaniie unosa na modeliakh vyparnykh apparatov s padayushchiei plienkoi // Voprosy atomnoi nauki i tiekhniki. Opeiesnieniie solienykh vod. – 1974, vyp. 1(5). – s. 26-34.
13. Makarov A.S., Senchuk M.P., Khodos A.I., Kirienko M.O. Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohichnoi skhiemy promyslovoho vysokotiempieraturnoho povitronahrivacha/A.S.Makarov, M.P. Senchuk, A.I. Khodos, M.O. Kirienko//Ventiliaziia, osvittleniia ta teplohozopostachanniia: nauk.-tekhn. zb. / Kyivskiy nazionalnyi universitet budivnytva i arkhitektury. – 2022. – vyp. 40. – s. 6-15.
14. Prozesy i aparaty kharchovykh vyrobnyztv: navch. posib. /Za red. prof. I.F. Maliezhika. – Kyiv: NUKHT, 2012. – 543 s.
15. Mikhieiev M.A. Osnovy tieplopieriedachi/M.A. Mikhieiev, I.M. Mikhieieva. – M: Enerhiia, 1966. – 344 s.
16. Aerodinamichieskii raschiet kotielnykh ustanovok (нормативный метод/Под ред. S.I. Mochana. – L.: Entrhiia, 1977. – 256 s.
17. Spravochnik po tieploobmiennikam: v 2-x t. Tom 2 /Pier. s anchl. pod red. O.H. Martynenko, A.A.Mikhalievicha, V.K.SHikova. – M: Enerhoatomizdat, 1987. – 352 s.
18. Ronkin V.M. Opriedielieniie razionalnoi konstrukzii vyparnoho apparata s zellyu uvielichieia effektivnosti raboty/ V.M. Ronkin// Promyslovaia podgotovka niefti i haza. – 2012, vyp. 2. – s. 90-93.
19. Tepltekhnichieskii spravochnik. Tom 2 – M: Enerhiia, 1968. – 896 s.
20. Stabnikov V.N. Proiektirovaniie prozessov i apparatov pishchievykh proizvodstv/ V.N. Stabnikov. –Kiiev.: Vyshcha shkola, 1985. – 199 s.
21. Tananaiko Yu.M. Mietody raschieta i issliedovaniia plienochnykh prozessov/Yu.M. Tananaiko, E.H. Voronzov.– K.: Tekhnika, 1975. –312 s.
22. Uspienskii V.A. Pnevmatichieskii transport materialov vo vzvieshiennom sostoiakhii/ V.A. Uspienskii// . Svierdlovsk-Moskva: Hosudarstviennoe nauchno-tekhnichieskoie izdatielstvo po chernoii i zvietnoi mietalurihii.–112 s
23. Khoblier T. Tieplopieriedacha i tieploobmienniki/ T. Khoblier. – L.: Khimizdat, 1961. – 820 s.
24. Kholl. Izmierieniie padieniia davlieniia v potokie vody v miezhtrubnom prostranstvie opytneho tieploobmiennika promyshliennoho masshtaba/Kholl, Chienoviet, Uombhanss// Trudy amierikanskoho obshchiestva inzhienierov-miekhanikov (pierievd na rus.). Tieplopieriedacha. – 1988. – № 4. – s. 43-51.
25. Khyuitt Dzh., Kholl- Teilor N. Kolzevyie lvukhfaznyie tiechieniia. Pierievod s anhliiskoho/Dzh. Khyuitt, N.Kholl- Teilor. – M. Enerhiia, 1974. –408 s.
26. Churakova S.V. O vielichinie hidravlichieskoho soprotivlieniia linzovykh kompensatorov/S.V. Churakova// Enerhomashinostroieniie. – 1962. – № 4. – s. 29-30.
27. Kistler R. S. Heat Exchanger Shellside Pressure Drop: Comparison of Predictions With Experimental Data/R. S. Kistler, J. M. Chenoweth//Mem.ASME Heat Transfer Research, Inc., Alhambra, CA. – 1988, Vol. 110.– s. 68-76.
28. Piller Blowers & Compressors GmbH. Посилання: <https://www.piller.de>.
29. Handbook of heat transfer/W.M. Rohenow, J.P. Hartnett– USA: Mc Grow Hill, 1998 – 1500 s.

UDC 662.995

Energy-efficient vacuum evaporation units for concentration in the dairy industry

A.S. Makarov¹, A.I. Khodos², M.O. Kirienko³, M.P. Senchuk⁴

¹PhD, SRF, PJSC "Kalinov Machine-Building Plant", Kalinovka, Ukraine, Stefanovic hmakarov.anatoly@kmbp.com.ua

³Deputy Director for Research PJSC "Kalinov Machine-Building Plant", khodos@kmbp.com.ua

⁴Head of the dairy equipment department PJSC "Kalinov Machine-Building Plant", mihail_kirienko@ukr.net.

⁴PhD, associate professor., Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine, smp_21@ukr.net.

ORCID:0000-0001-8968-7336

Abstract. The application of various types of evaporation plants for concentration of solutions was analyzed. It was noted that the most promising for thickening dairy products are film-type vacuum-evaporation units with mechanical compression of secondary steam. The heating chamber of the evaporator is made in the form of a vertical shell-and-tube heat exchanger with the supply of heating steam into the intertube space and with the downward movement of product solutions in the vertical boiling tubes. Based on the analysis of known studies on hydrodynamics and heat exchange of film processes (condensation, film heating and evaporation and steam separation), a conclusion was made about the lack of data for calcu-

ating pressure losses in the steam circuit of the evaporator with sufficient accuracy. To solve this problem, improved methods of calculating the hydraulic resistance of the intertube steam path of the heating chamber and the two-phase flow of the product film and secondary steam in evaporative boiling tubes have been developed using the published results of hydrodynamic resistance research. Pressure losses for the movement of secondary steam in the lower chamber of the evaporator include losses for acceleration of the steam released from the falling film of the product. It is shown that the hydraulic depression of the movement of steam in the intertube space of the heating chamber, depending on the type of scheme, can be from 2.3% to 77% compared to the working temperature pressure of the heating surfaces. The four-way flow scheme of the heating steam used in the design of the vacuum-evaporation unit ensures a reduction of hydraulic losses by up to 15%. A technical and economic analysis of the costs of operating a vacuum-evaporation unit with a productivity of 10 t/h of evaporated moisture was performed, according to which the lowest reduced costs were established at a temperature drop of 5°C on the compressor. The results of the research were used in the development of structures and the manufacture of vacuum-evaporation units with mechanical and mixed (mechanical and thermal) compression at PrJSC "Kalyniv Machine-Building Plant" (Kalynivka, Vinnytsia Region). 10 vacuum evaporation units with a capacity of 5 to 20 t/h of evaporated moisture were manufactured and put into operation.

Key words: vacuum evaporation plant, concentration, product thickening, mechanical compression, thermal compression, heating steam, secondary steam, hydraulic depression, temperature depression, improved method of calculating the mechanical compression circuit

УДК 697.133

Аналіз відповідності вікон новітнім вимогам з енергоефективності

І.В. Клімова¹, В.В.Мойсеєнко²¹к.т.н, доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна klimova.iv@knuba.edu.ua
ORCID 0000-0001-5591-9952²к.т.н, доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна moiseienko.vv@knuba.edu.ua
ORCID 0000-0002-8659-9987

В зв'язку із наслідками енергетичної та екологічної криз зменшення споживання енергії у будівлях є актуальним завданням, як в глобальному вимірі, так і в національному. Саме ця мета обумовлює постійне зростання вимог до опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків в кліматичних умовах де розрахункова температура зовнішнього повітря знаходиться на рівні -20°C . У випадку світлопрозорих огорожувальних конструкцій підвищення опору теплопередачі має відчутні обмеження. Проведено аналіз конструкцій вікон, які пропонуються на будівельному ринку України, в контексті оприлюднення ДБН В.2.6.31-2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель". Результати аналізу показують, що виконання вимоги $R_{qmin} \geq 0.9 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ для першої температурної зони України потребує використання всіх технічних засобів, які є в наявності у виробників. Складність та збільшена вартість таких конструкцій може викликати додаткові заходи контролю при завершенні будівництва та під час експлуатації.

Ключові слова: енергоефективність будівель, опір теплопередачі, конструкція вікон.

Вступ. Зменшення споживання енергії у будівлях є нагальним завданням, що з'явилося в наслідок енергетичної та екологічної кризи (глобальне потепління). Екологічні кризові явища розгортаються буквально у нас на очах, внаслідок чого і світова спільнота і українське суспільство приймають рішення що до зменшення споживання паливних ресурсів. В Україні на даний час діють закони "Про енергетичну ефективність" та "Про енергетичну ефективність будівель" [1,2]. Перший з них спрямований на посилення енергетичної безпеки, скорочення енергетичної бідності, сталий економічний розвиток, збереження первинних енергетичних ресурсів та скорочення викидів парникових газів. Другий ставить метою підвищення рівня енергетичної ефективності будівель.

Актуальність дослідження. Одним з принципів положень в галузі енергетичної ефективності будівель є підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій до рівня не нижче мінімальних вимог. Ці вимоги визначаються ДБН "Теплова ізоляція будівель", який постійно оновлюється. В 2022 була оприлюднена остання редакція цього ДБН [3]. В таблиці 1 зведено мінімально допустимі вимоги до опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій для житлових та громадських будівель. Якщо порівняти наведені в таблиці 1 дані з вимогами 2016 року, то можна побачити, що збільшились вимоги до усіх видів огорожувальних конструкцій.

Формулювання цілей статті. У випадку непрозорих огорожувальних конструкцій (сті-

ни, перекриття тощо) існують досить доступні засоби підвищення опору теплопередачі, якими можна гарантовано досягти нормовані значення опору. У випадку світлопрозорих огорожувальних конструкцій резерви підвищення опору теплопередачі обмежуються як фізично, так і технологічно і за вартістю [4]. Саме тому ми звернули увагу на нові значення опору для вікон $R_{qmin}=0,9$ та $R_{qmin}=0,7 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ – відповідно для першої та другої температурної зони України. Метою роботи є експрес-аналіз вікон, що пропонуються на українському будівельному ринку з метою з'ясування реального стану справ і визначенню можливих проблем в зв'язку з новими вимогами до опору теплопередачі.

Основна частина. Першим кроком авторів було знаходження підтверджених даних стосовно опору теплопередачі різних конструкцій вікон. В таблиці 2 наведено опір теплопередачі вікон, що пропонуються на сьогодні в Україні сертифікованим і професійним виробником [5]. Вибірка є репрезентативною. Включає чотири серії вікон за конструкцією профільних систем, сімнадцять конструкцій склопакетів, два різновиди рамки (алюмінієва та утеплена), чотири товщини склопакетів (24, 32, 40, 44 мм), одна та двокамерні склопакети, с заповненням аргонном та без заповнення, з використанням енергозберігаючого скла та звичайного. Для підтвердження сучасності технічних рішень виробника на рис.1 наведено конструктивну схему профільної системи серії WDS 7S.

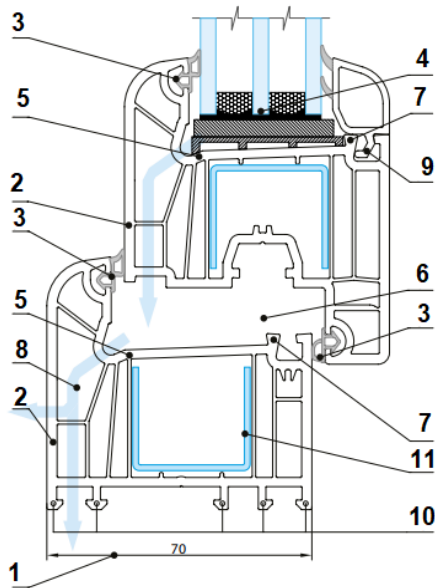


Рис. 1. Конструкція профіля серії WDS 7S [6]

1 – глибина вікон, 70 мм; 2 – товщина зовнішніх стінок; 3 – двокомпонентний ущільнювач; 4 – система шумо- та теплоізоляції; 5 – фальць; 6 – фурнітурна система; 7 – окантовка фальця; 8 – система відводу конденсату; 9 – штапик; 10 – система кріплення; 11 – армований профіль.

Загальна кількість розглянутих варіантів конструкцій вікон, які реально виробляються і пропонуються на ринку, склала 82 варіанти. Із загальної кількості варіантів, вимогам до опору теплопередачі для другої температурної зони відповідають 36 варіантів конструкцій вікон. Подальший розгляд даних показав, що з цих 36-и варіантів, 20 конструкцій вікон досягли значення $R_{qmin}=0.7 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ завдяки заповненню склопакетів аргоном. Всі інші 16 варіантів конструкцій вікон без заповнення аргоном, досягли згаданого результату завдяки використанню енергозберігаючого скла з м'яким покриттям (і-скло). За виключенням 5-ти варіантів (які є однокамерними), всі інші із згаданих 36 варіантів ($R_{qmin}\geq 0.7 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$) мають двокамерне виконання. П'ять однокамерних склопакетів (з $R_{qmin}\geq 0.7 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$) мають значення $R=\{0.73, 0.71, 0.77, 0.71, 0.76 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}\}$. Ці значення зовсім трохи перевищують допустиме значення 0.70 і досягнуті вони одночасним використанням і-скла та заповненню проміжку аргоном.

Кількість варіантів конструкцій вікон, які відповідають мінімальним вимогам ($R_{qmin}\geq 0.9 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$) для першої температурної зони України склала 14 конструкцій. Автори в цьому місці звертають увагу, що до першої температурної зони України відноситься переважна більшість областей країни. Роздивимось уважніше цю групу вікон. Отже перша конструкція вікон (склопакет 4i-10ar-4-10ar-4i в се-

ріях WDS 6S, 7S, 8S з утепленою рамкою). Друга - (склопакет 4i-14-4-14-4i в серіях WDS 6S, 7S з утепленою рамкою). Третя - (склопакет 4i-14ar-4-14ar-4i в серіях WDS 6S, 7S, 8S як з утепленою, так і з алюмінієвою рамкою). І до останньої групи ми віднесли конструкції з проміжком 16 мм - (склопакети 4i-16-4-16ar-4i, 4i-16-4-16-4i та 4i-16ar-4-16ar-4i). В усіх згаданих вище чотирьох групах значення R у більшості склало 0.91.. 0.94 $\text{м}^2\cdot\text{°C/Вт}$. І тільки декілька конструкцій досягли значень, що суттєво перевищують мінімально допустиме значення - $R=\{0.97, 1.02, 1.03, 1.04, 1.16 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}\}$.

Проведений авторами аналіз спрямований на виконання вимог що до енергоефективності та енергозбереження. Але вікна, як складовий елемент будинку, вирішують набагато ширше коло завдань. Для того, що би зрозуміти складність досягнення значення $R_{qmin}\geq 0.9 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$, автори наводять наприкінці статті повний перелік завдань, які покладаються на вікна:

- забезпечення необхідної стійкості до силових навантажень від вітру та вилому;
- забезпечення необхідного водонепроникнення;
- забезпечення необхідного паропроникнення;
- забезпечення необхідного повітропроникнення;
- забезпечення необхідної світлопропускнуї спроможності;
- забезпечення необхідної звукоізоляційної спроможності;
- забезпечення необхідної теплоізоляційної спроможності.

Потрібно також мати на увазі:

- надійність механічного кріплення віконних та дверних блоків та якість виконання примикань конструкцій блоків до стін будинків;
- стійкості конструктивних елементів вікон та дверей до прогинання під дією статичних та динамічних навантажень;
- розташуванню та кількості місць кріплення вікон та дверей залежно від матеріалу коробок та вітрових навантажень;
- величині температурних навантажень на елементи вікон та дверей з урахуванням коефіцієнтів теплового розширення окремих елементів;
- пружності (жорсткості) кріпильних елементів.

Тобто досягнення нормованих значення опору теплопередачі вікон ускладнюється необхідністю вирішувати завдання, в якому опір теплопередачі є частиною багатокритеріального завдання для виробника. Також в процесі будівельно-монтажних робіт та під час експлуатації складна конструкція вікон може підпадати під вплив деструктивних факторів.

Таблиця 1

**Вимоги до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій
житлових та громадських будівель [3]**

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , $m^2 \cdot K/Вт$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалювальних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалювальних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалювальними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Таблиця 2

Фактичний опір теплопередачі вікон, що пропонуються будівельним ринком

Приведений опір теплопередачі вікон R_0 , $m^2 K/Вт$										
Склопакет	Товщина, мм	U_g , $Вт/м^2 K$	WDS 55		WDS 65		WDS 75		WDS 85	
			Алюмінієва рамка	Тепла рамка	Алюмінієва рамка	Тепла рамка	Алюмінієва рамка	Тепла рамка	Алюмінієва рамка	Тепла рамка
4-16-4i	24	1,39	0,61	0,65	0,63	0,68	0,63	0,68		
4-16ar-4i	24	1,15	0,68	0,73	0,71	0,77	0,71	0,76		
4-10-4-10-4	32	1,97	0,49	0,52	0,51	0,53	0,51	0,54	0,53	0,56
4-10-4-10-4i	32	1,40	0,60	0,65	0,63	0,68	0,63	0,68	0,65	0,71
4-10-4-10ar-4i	32	1,18	0,67	0,72	0,69	0,76	0,69	0,76	0,73	0,79
4i-10-4-10-4i	32	1,09	0,69	0,76	0,73	0,79	0,72	0,79	0,76	0,83
4i-10ar-4-10ar-4i	32	0,84	0,79	0,87	0,83	0,92	0,83	0,91	0,87	0,97
4-14-4-14-4	40	1,82			0,54	0,57	0,54	0,57		
4-14-4-14-4i	40	1,16			0,70	0,76	0,70	0,76		
4-14-4-14ar-4i	40	0,97			0,77	0,85	0,77	0,85		
4i-14-4-14-4i	40	0,85			0,83	0,92	0,82	0,91		
4i-14ar-4-14ar-4i	40	0,66			0,93	1,04	0,92	1,03		
4-16-4-16-4	44	1,77							0,56	0,60
4-16-4-16-4i	44	1,07							0,77	0,84
4-16-4-16ar-4i	44	0,90							0,84	0,94
4i-16-4-16-4i	44	0,77							0,91	1,02
4i-16ar-4-16ar-4i	44	0,60							1,02	1,16

Висновки. Відсоток конструкцій вікон, які відповідають новим вимогам до опору теплопередачі для першої температурної зони України у розглянутій виборці склав 17%. Новітні вимоги до опору теплопередачі вікон досягаються у більшості випадків використанням аргону для заповнення склопакетів та м'якого енергозберігаючого скла. Виконання умови $R_{qmin} \geq 0,9 m^2 \cdot K/Вт$ для першої температурної

зони України знаходиться (на сьогодні) на верхній межі технічних та технологічних можливостей виробників вікон (відповідно найвища вартість). Технічні рішення конструкцій вікон, що забезпечують вимоги ДБН [3], потребують доступних засобів інструментального контролю опору теплопередачі вікон, як при завершенні будівництва, так і під час експлуатації будівель.

Література

1. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2022, № 2, ст.8) {Із змінами, внесеними згідно із Законом № 2392-IX від 09.07.2022}
2. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність будівель (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359) {Із змінами, внесеними згідно із Законами № 199-IX від 17.10.2019, ВВР, 2019, № 51, ст.377 № 2392-IX від 09.07.2022}
3. ДБН В.2.6-31:2021 “Теплова ізоляція та енергоефективність будівель” – Чинні з 2022-09-01. – Київ: Укрархбудінформ, 2022. – 23 с.
4. Іваненко П.П., Росковшенко Ю.К., Клімова І.В. Промислова теплиця з подвійним склінням // Будівництво України.-1998. №2.-с.33-34.

5. WDS. Приведений опір теплопередачі вікон. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://wds.ua/pdf/tech_info/WDS_Opir_teploperedachi_Vikna_Dveri.pdf - Дата звернення 20-11-2022
6. Руководство по работе с профильной системой WDS 7 SERIES. [Електронний ресурс] - https://wds.ua/wp-content/uploads/2018/12/TechCat_WDS_7_SERIES_ru.pdf - Дата звернення 20-11-2022

References

1. Zakon Ukrainy pro energetychnu efektyvnist (Vidomosti Verhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2022, № 2, st.8) {Iz zminamy, vnesenymy zgidno iz Zakonom № 2392-IX від 09.07.2022}
2. Zakon Ukrainy pro energetychnu efektyvnist budivel (Vidomosti Verhovnoi Rady Ukrainy (VVR),), 2017, № 33, st.359) {Iz zminamy, vnesenymy zgidno iz Zakonomy № 199-IX від 17.10.2019, BBP, 2019, № 51, st.377 № 2392-IX від 09.07.2022}
3. DBN V.2.6-31:2021 “Теплова ізоляційна та енергоефективність будівель” – Чини з 2022-09-01. – Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2022. – 23 s.
4. Ivanenko P.P., Roskovshenko Yu.K., Klimova I.V. Promyslova teplytshya z podviiynim sklinarym // Budivnytstvo Ukrainy.-1998. №2.-s.33-34.
5. WDS. Pryvedeniyyi opir teploperedachi vikon. [Electronic resource], URL: https://wds.ua/pdf/tech_info/WDS_Opir_teploperedachi_Vikna_Dveri.pdf - Accessed 20 November 2022.
6. Rukovodstvo po rabote s profilnoi sistemoi WDS 7 SERIES. [Electronic resource] - https://wds.ua/wp-content/uploads/2018/12/TechCat_WDS_7_SERIES_ru.pdf - Accessed 20 November 2022.

UDC 697.133

Analysis of the compliance of windows with up to day energy efficiency requirements

I. Klimova¹, V. Moiseienko²

¹PhD, associated professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
klimova.iv@knuba.edu.ua ORCID 0000-0001-5591-9952

²PhD, associated professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
moiseienko.vv@knuba.edu.ua ORCID 0000-0002-8659-9987

Abstract. Due to the consequences of the energy and environmental crises, reducing energy consumption in buildings is an urgent task, both globally and nationally. It is this goal that causes a constant increase in the requirements for resistance to heat transfer of the external enclosing structures of buildings in climatic conditions, where the design temperature of the outside air is at the level of -20°C. Increasing the resistance of non-transparent enclosing structures is achieved by available means that allow guaranteed achievement of the designated resistance to heat transfer. Increasing the heat transfer resistance of transparent (or translucent) enclosing structures has limitations that limit the maximum values. The analysis of window designs that are offered on the construction market of Ukraine in the context of the requirements of DBN V.2.6.31-2021 "Thermal insulation and energy efficiency of buildings" was carried out. To increase the resistance to heat transfer of windows, the manufacturer has (today) three constructive means - an increase in the number of chambers, the use of selective coatings and filling the chambers with an inert gas argon. It should also be taken into account that the production of windows is a multicriteria task, in which the achievement of a certain level of resistance to heat transfer is one of the factors among others, no less important. The results of the analysis show that the fulfillment of the requirement $R_{qmin} \geq 0.9 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ for the first temperature zone of Ukraine requires the use of all technical means available from manufacturers. A sample of eighty-two window designs that are actually offered on the Ukrainian construction market was analyzed. Compliance with the requirements for the second temperature zone was achieved for forty-three percent of window designs. Compliance with the requirements for the first temperature zone was achieved for seventeen percent of window designs. The complexity and increased cost of such structures may necessitate additional control measures at the completion of construction and during the operation of buildings.

Keywords: building energy efficiency, heat transfer resistance, windows construction.

УДК 696.2

Підвищення ефективності використання природного газу в побутових газових плитах

В. А. Коновалюк², Ю. Й. Франчук³

¹ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188

² к.т.н., ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705

В Україні близько третини енергії отримується від спалювання газу (біля 30 млрд.куб.м. природного газу на рік). Більше половини за кількості газу спалюється в комунально побутовому секторі, до якого входить населення. Найбільша кількість приладів, призначених для спалювання газу, встановлена у населення і це переважно побутові газові плити. Витрата газу, яку споживають ці прилади, складає основну частину газу, що використовується в країні в літній період року. В зв'язку із значним подорожчанням енергоносіїв та переходом оплати газу в одиницях енергії питання енергоефективного споживання газу набуває все більшої актуальності. В даній роботі проведено аналіз використання газу при різних тисках в побутових газових плитах. Зроблено порівняння ефективності використання газу порівняно з використанням електричної енергії. Визначено, що оптимальним тиском перед пальником газової плити, при якому спалювання має найбільш економічний ефект, є 2400 Па. При цьому тиску порівняно з електричною енергією ефективність збільшується на 20,8%. При відхиленні тиску газу від 2400 Па спостерігається зниження ефективності спалювання і при тиску 1800 використання природного газу стає економічно недоцільним (порівняно з використанням електричної енергії для приготування їжі).

Ключові слова: газопостачання, тиск, витрата газу, економічна ефективність

Вступ. Одним із основних заходів державної політики України у сфері забезпечення енергетичної ефективності є надання переваги енергоефективним заходам, які зменшують попит на енергію. Незважаючи на те, що в Україні впроваджуються альтернативні технології отримання енергії та застосовуються відновлювальні її джерела, природний паливний газ для економіки країни залишається дуже важливим.

У «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1] прогнозується, що частка природного газу в загальній кількості паливо-енергетичних ресурсів України в 2035 році складатиме більше 30 %.

Незважаючи на загальну тенденцію до зниження кількості газу, що споживається в Україні, його вартість істотно збільшується.

Актуальність дослідження. Наразі споживання природного газу комунально-побутовим сектором, основну частину якого складає населення, перевищує споживання промисловістю. Тому питання підвищення ефективності використання газу за рахунок забезпечення оптимальних умов його спалювання, в тому числі на побутових приладах, є досить актуальним.

В літній період спожитий населенням газ в основному витрачається на приготування їжі, тобто, основним газоспоживаючим приладом є газова плита. В зимовий період до газових плит

підключаються газові опалювальні пристрої. Частка газових нагрівачів в загальній кількості газових приладів найменша.

Як наслідок, дотримання ефективного спалювання газу на побутових газових плитах є актуальною задачею, як і визначення необхідних параметрів і факторів, які забезпечують цей процес.

Останні дослідження та публікації. У відповідності до прийнятого Закону № 2553 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії» [2] визначення кількості спожитого газу відбувається в одиницях енергії.

Одним з факторів, що впливають на кількість енергії, яка міститься в природному газі, є його тиск. Авторами проведено дослідження проблеми забезпечення оптимального тиску в розподільчих мережах газопостачання перед побутовими газовими приладами [3], а також аналіз впливу тиску газу на параметри його спалювання в газових плитах [4].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є визначення чисельних значень основних факторів, що можуть підвищити ефективність спалювання природного газу порівняно з іншими джерелами енергії.

Основна частина. До основного побутового газового обладнання відносять газові плити, водонагрівачі й котли. Газові плити – найпоши-

реніший пристрій, який встановлений практично в кожній кухні всіх газифікованих житлових будинків.

Із підвищенням вартості природного газу все більшу актуальність набуває необхідність повного використання всієї енергії, яка може вивільнитися при його спалюванні. Наразі тільки в конденсаційних газових котлах передбачена можливість додаткового використання теплоти, що міститься в димових газах, які утворюються при спалюванні. Таким чином забезпечується повнота використання енергії.

Кількість природного газу, який спалюється на пальниках побутових газових плит становить основну частку в сукупному газоспоживанні, особливо це відчутно в літній період.

Побутові газові плити повинні відповідати вимогам ДСТУ 2204-93 [5].

Газові плити в залежності від особливості конструкції пальників розраховані на роботу при номінальному тиску газу від 1274 та 1960 Па або на скрапленому газі при тиску 2940 Па.

Забезпечення повноти спалювання газу на пальниках газової плити, що можливе при забезпеченні необхідного вмісту кисню в газоповітряній суміші, дозволить не тільки використати енергію палива повністю але й зменшити вміст шкідливостей в димових газах. Останній фактор повинен бути приведений до значень, що відповідає вимогам екологічних характеристик у відповідності до нормативів Євросоюзу.

Газові пальники сучасних плит запроєктовані однаковими для усіх типорозмірів газових плит, забезпечують стійке спалювання природного газу без проскоку та відриву полум'я.

ККД пальників сопла при номінальному режимі для підлогових плит не менше 56%, для настільних - не менше 57%. В інструкціях окремих виробників вказано, що ККД > 54 %.

У деяких інструкціях дублюється інформація з ДСТУ 2204-93 та зазначається ККД > 59 % для випадку використання пальників тепловою потужністю більше 1,05 кВт.

Для створення оптимального режиму роботи побутових газових приладів необхідно подати газ з тиском, який забезпечить повноту його спалювання.

Максимальний робочий тиск газу після регулятора тиску, що подає газ побутовим газовим приладам, встановлюється залежно від номінального перед приладами, але не більше ніж 300 даПа для природного газу.

Для систем газопостачання низького тиску мінімальний тиск подачі газу у найбільш віддаленого споживача повинен бути не менше ніж 70 даПа [6]. Державними будівельними норма-

ми передбачається подача тиску в мережі низького тиску на рівні 1200 Па.

Було проведено наліз дослідження впливу тиску на ефективність спалювання в побутових газових плитах.

Об'єктом дослідження була двоступенева змішана система газопостачання середнього і низького тиску смт Ямпіль і села Мокроволя Хмельницької області. Принципова схема системи газопостачання наведена на рис.1.

Досліди проводилися в двох газифікованих будинках, розташованих в протилежних кінцях населеного пункту (в точках 1 і 2 на рис.1).

Схема газопостачання будівлі наведена на рис. 2.

Визначалась ефективність роботи пальників газової плити «Bartscher» GNU з вказаним в паспорті приладу робочим тиском 2000 Па (20 мбар). Плита має пальники різної потужності. Для обліку газу використовувався мембранний лічильник газу «Metrix» G 4, який має клас точності 1,5, робочий діапазон температур (-30)...(+55) С, втрати тиску при Q_{max} не більше 200 Па, повірений в лабораторії ПАТ "Хмельницькгаз".

Досліджувався процес нагрівання води в ємності об'ємом 3 літри. Температура повітря при цьому склала 31 °С, атмосферний тиск – 100,792 кПа. У відповідності до значень атмосферного тиску було визначено температуру закипання води, яка склала 99,98 °С.

Враховуючи початкову температуру води, яка нагрівалася на різних конфорках, було визначено різницю температур води для кожного досліду і теоретично необхідну кількість тепла, на нагрівання води до температури кипіння. Енергетичну цінність палива було взято з Паспорту ФХП газу [7]. Середньозважене значення вищої теплоти згоряння - 38,36 МДж/м³.

На підставі аналізу отриманих даних можна зробити висновок, що ефективність згоряння газу із збільшенням тиску зростає, при цьому максимальне значення ефективності утворюється при тиску 2400 Па.

На підставі аналізу результатів вимірювань зроблено висновок, що оптимальний тиск на пальниках побутових газових плит рекомендується встановлювати на рівні 2400 Па.

Необхідно враховувати діаметр ємностей, в яких відбувається нагрівання.

Більш економічним є використання середньої конфорки. Якщо пріоритетом при спалюванні є економне використання газу – рекомендується використовувати конфорку зменшеної потужності і діаметр посуду має бути середнім.

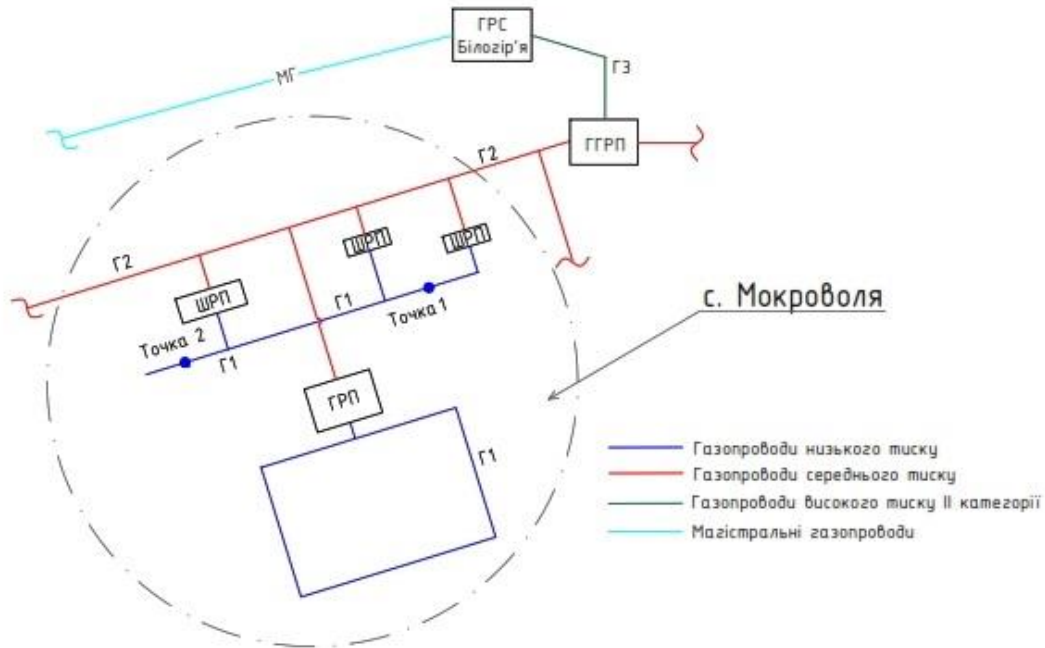


Рис. 1. Принципова схема системи газопостачання смт Ямпіль і с. Мокроволя Хмельницької області

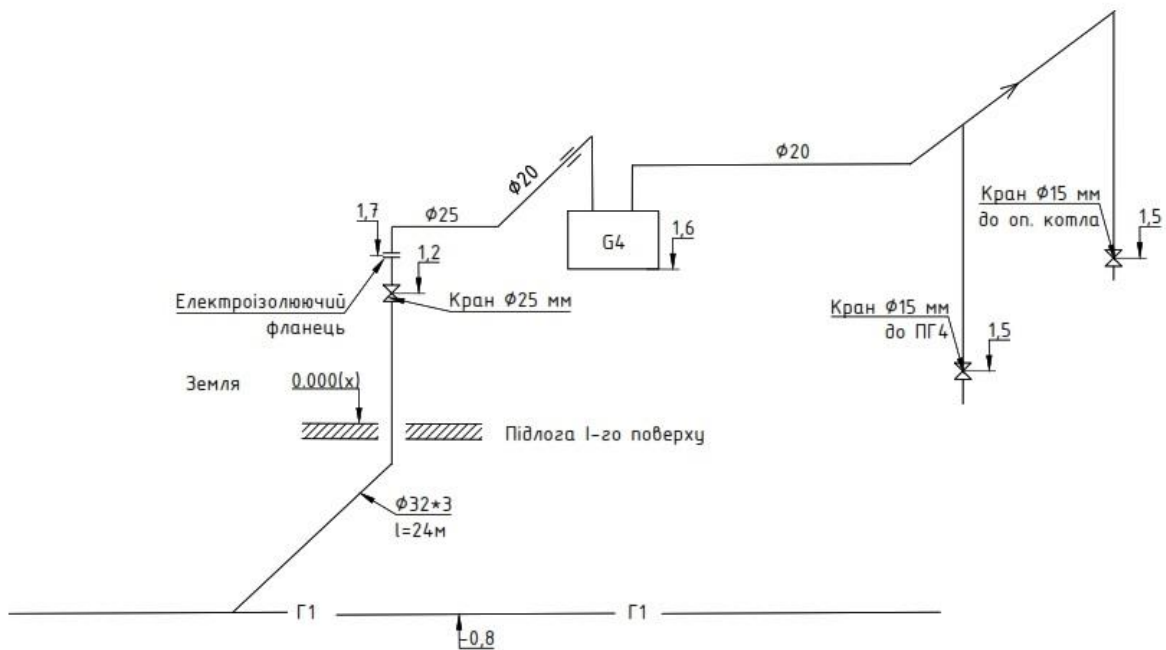


Рис. 2. Схема газопостачання будівлі в смт Ямпіль

При пріоритеті швидкого нагрівання можна використовувати конфорку підвищеної потужності, але розуміти, що кількість газу, що буде використана, буде більшою від попереднього варіанту на значення до 50% [4].

Визначена теоретично необхідна кількість тепла на нагрівання води на газовій плиті. Здійснювалось нагрівання води об'ємом 3 літри, початкова температура – 19,5 °С до температури закипання. Температура навколишнього повітря

при цьому 23 °С, атмосферний тиск – 0,983 атм.

Теоретично необхідна кількість тепла складала 241,3 ккал.

Визначено фактичний ККД при спалюванні газу на конфорці середньої потужності при різних тисках. Результати розрахунків наведені в табл.1.

Із залежності видно, що максимально ефективним є спалювання газу при тиску 2400 Па, ККД сопла пальника при цьому – 66%.

Таблиця 1

ККД при спалюванні газу на конфорці середньої потужності при різних тисках

№ з/п	Тиск газу, Па	Різниця між фактичною і розрахунковою кількостями тепла, ккал	Різниця між фактичною і розрахунковою кількостями тепла, %	Фактична кількість тепла нагрівання води ккал (при різних тисках)	Фактичне ККД
1	1800	242,25	50,1	604,22	39,94
2	2000	116,39	32,5	446,96	53,99
3	2400	50,15	17,2	364,19	60,7
4	2600	123,02	33,8	455,24	53,01

Цей показник перевищує більше мінімальне значення для цих приладів на 10 %.

Визначено коефіцієнт корисної дії спалювання при різних тисках.

Для порівняння економічності отримання енергії для приготування їжі на побутових газових і електричних плитах проведено визначення вартості спожитої енергії (табл.2).

Вартість природного газу визначена за ціною 7,96 грн/куб. м. станом на жовтень 2021 року – квітень 2022 року постачальник ТОВ ГК "Нафтогаз України" [8].

Побудований графік залежності ККД плити від тиску на пальниках (рис. 3).

Графічні залежності вартості використаного газу і часу спалювання однакового об'єму рідини при різних тисках тиску наведені на рис.4 і 5.

Визначена кількість енергії, що необхідна для нагріву води від джерела електричної енергії.

Для нагрівання до точки кипіння 3 л води згідно проведеного дослідження потрібно 0,33 кВт-год електричної енергії.

Тарифи на електроенергію в період з 01.10.2021 по 31 жовтня 2022 року складають:

- для домогосподарств, що споживають на місяць до 250 кВт-год (включно) - 1,44 грн. (з ПДВ) за 1 кВт-год,

- для домогосподарств, що споживають понад 250 кВт-год - 1,68 грн. (з ПДВ) за 1 кВт-год. [9].

Розрахована вартість нагрівання електричною енергією фіксованого об'єму рідини, при різних тарифах, чинних для населення. Вона склала 0,48 грн при загальному споживанні домогосподарства до 250 кВт-год/місяць і 0,56 грн більшому загальному споживанні.

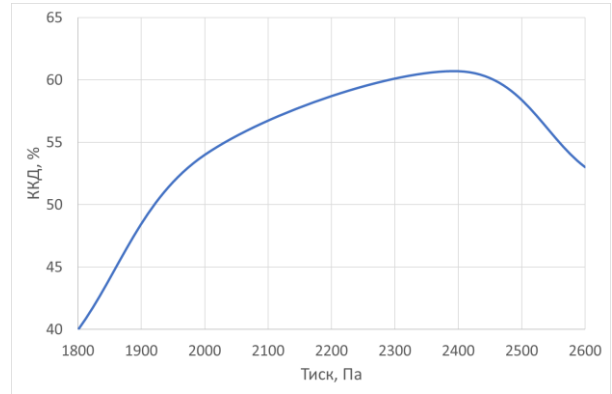


Рис. 3. Графічна залежність коефіцієнту корисної дії плити від тиску газу на її пальниках

Таблиця 2

Вартість газу при його спалюванні на конфорці середньої потужності при різних тисках

Тиск, Па	1800	2000	2400	2500	2600
Час спалювання, с	1074	1050	1019	1003	985
Вартість*, грн.	0,58	0,43	0,38	0,44	0,45

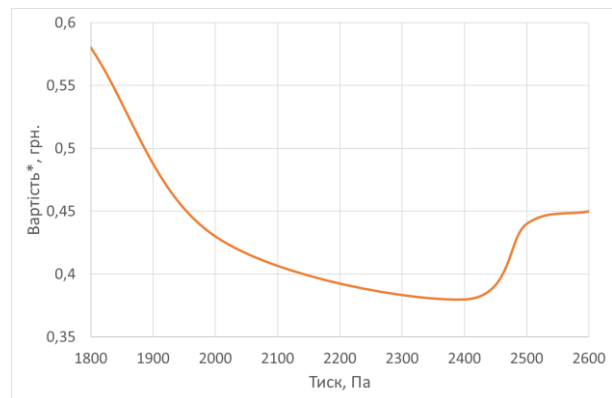


Рис. 4. Графічна залежність вартості використаного газу для нагрівання однакового об'єму рідини від його тиску

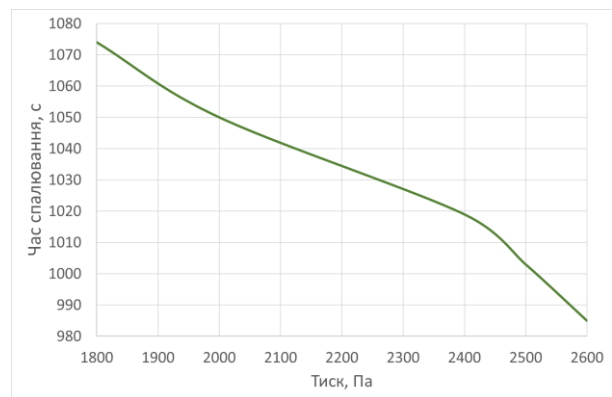


Рис. 5. Графічна залежність часу нагрівання однакового об'єму рідини від тиску газу

Проведено порівняння вартості використання природного газу і електроенергії для побуто-

вих потреб (табл.3, рис.6).

На підставі отриманих результатів видно, що більш економічним джерелом енергії є природний газ. При цьому чітко прослідковується залежність ефективності використання природного газу від тиску, що подається на пальники газовикористовуючих приладів.

Найбільш економічним виявився режим спалювання газу при тиску на пальнику 2400 Па. Вартість використаної енергії при цьому режимі зменшується на 20,8% (для домогосподарств, що мають загальне енергоспоживання до 250 кВт-год), і на 32,1 % (для інших домогосподарств).

Рівень економічності використання газу в даному приладі при зміні тиску зменшується. При тиску 1800 Па більш економічним вже є використання електричної енергії (на 20,5 і 3,2 % для різних домогосподарств). Тиск 1800 Па для даного дослідження був нижньою межею вимірювання. Враховуючи визначену тенденцію, можна прогнозувати при ще більшому зниженні тиску подальше зменшення ефективності використання енергії.

Аналогічна залежність по зменшенню ефективності прослідковується і при зростанні тиску понад 2400 Па.

Чисельні значення співвідношення вартості газу і електричної енергії можуть змінюватись, так як кількість енергії, що містить природний газ, залежить від відсоткового вмісту його компонентів. Компонентний склад газу відображається в Паспорті фізико-хімічних показників природного газу, який щомісячно оприлюднюється Оператором газотранспортної системи України.

Висновки. Визначено, що оптимальним тиском перед пальником газової плити, на якій проводилось дослідження, є 2400 Па. При цьому тиску спостерігалось найбільше вивільнення енергії. Економічна ефективність використання природного газу при даному тиску перед пальниками порівняно з використанням електричної енергії більше на 20,8%.

При відхиленні тиску газу від рівня 2400 Па спостерігається зниження ефективності спалювання і при тиску 1800 використання природного газу стає економічно недоцільним (порівняно з використанням електричної енергії для приготування їжі).

Спалювання газу з забезпеченням необхідної повноти згоряння має позитивний вплив і на навколишнє середовище внаслідок зменшення вмісту чадного газу як у внутрішньому повітрі кухонь, так і в навколишньому середовищі населених пунктів.

Таблиця 3.

Порівняння вартості використання природного газу і електроенергії для побутових потреб

Тиск, Па	1800	2000	2400	2500	2600
Витрата газу, куб.м	0,073	0,054	0,048	0,055	0,057
Вартість нагрівання газом, грн.	0,58	0,43	0,38	0,44	0,45
Кількість енергії від газу, кВт	0,694	0,513	0,456	0,523	0,542
Порівняння вартості (газ-електрика), < 250 кВт-год/міс, %	0,10	-0,05	-0,10	-0,04	-0,03
Порівняння вартості (газ-електрика), < 250 кВт-год/міс, кВт/год	+20,5	-10,9	-20,8	-9,2	-5,9
Порівняння вартості (газ-електрика), > 250 кВт-год/міс, %	0,02	-0,13	-0,18	-0,13	-0,11
Порівняння вартості (газ-електрика), > 250 кВт-год/міс, %	+3,2	-23,6	-32,1	-22,2	-19,4

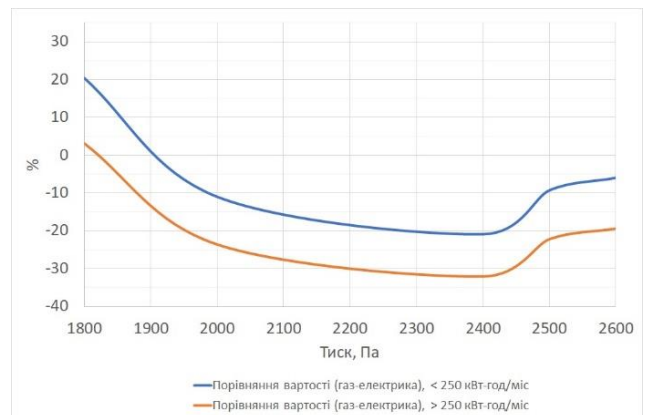


Рис. 6. Залежність вартості використання газу і електроенергії для побутових потреб при різних тисках

Можливість індивідуального налаштування тиску у внутрішній мережі газопостачання дозволить використовувати природний газ з максимальною ефективністю. Індивідуальне налаштування можливо при встановленні будинкових регуляторів тиску газу при підключенні до мережі середнього тиску.

Підвищення енергоефективності спалювання природного газу призведе до зменшення його спожитої кількості, і як наслідок, позитивно вплине на суму оплати за спожитий газ, знизить потребу в ньому і підвищить рівень енергонезалежності держави.

Література

1. «Енергетична стратегія України на період до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017р. № 605-р.
2. Закон № 2553 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії», опублікований 02.11.2021р.
3. Дослідження проблеми забезпечення оптимального тиску в розподільчих мережах газопостачання перед побутовими газовими приладами / Ю.Й. Франчук, В.А. Коновалюк // Вентиляція, освітлення і теплогазопостачання: наук. техн. збірник. – Вип. 33. – К. КНУБА, 2020. – с. 32-38.
4. Предун К.М., Коновалюк В.А., Франчук Ю.Й. Аналіз впливу тиску газу на параметри його спалювання в побутових газових плитах // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2021.– Вип. 38.- С. 51-56.
5. ДСТУ 2204-93 Побутові газові плити. Загальні технічні характеристики
6. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. – К.: Основа, 2015. – 179 с.
7. Паспорт фізико-хімічних показників природного газу №11 за період з 07:00 01.07.2021р. по 07:00 01.08.2021р.
8. Тарифи на газ для населення. Сайт Міністерства фінансів України «Мінфін». <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/2022-04-01/>.
9. Тарифи на електричну енергію для населення Сайт Міністерства фінансів України «Мінфін» Сайт Міністерства фінансів України «Мінфін». <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/>.

References

1. «Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku: «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist», shkvalena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18.08.2017r. № 605-r.
2. Zakon № 2553 «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo zaprovadzhennia na rynku pryrodnoho hazu obliku ta rozrakhunkiv za obsiahom hazu v odynytsiakh enerhii», opublikovanyi 02.11.2021r.
3. Doslidzhennia problemy zabezpechennia optymalnoho tysku v rozpodilchykh merezhakh hazopostachannia pered pobutovymy hazovymy prykladamy / Yu.I. Franchuk, V.A. Konovaliuk // Ventyliatsiia, osvittlennia i teplohazopostachannia: nauk. tekhn. zbirnyk. – Vyp. 33. – K. KNUBA, 2020. – s. 32-38.
4. Predun K.M., Konovaliuk V.A., Franchuk Yu.I. Analiz vplyvu tysku hazu na parametry yoho spaliuvannia v pobutovykh hazovykh plytakh // Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohazopostachannia: nauk.-tekhn. zb. / Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury. – 2021.– Vyp. 38.- S. 51-56.
5. DSTU 2204-93 Pobutovi hazovi plyty. Zahalni tekhnichni kharakterystyky
6. NPAOP 0.00-1.76-15. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. – K.: Osнова, 2015. – 179 s.
7. Pasport fizyko-khimichnykh pokaznykiv pryrodnoho hazu №11 za period z 07:00 01.07.2021r. po 07:00 01.08.2021r.
8. Taryfy na haz dlia naseleennia. Sait Ministerstva finansiv Ukrainy «Minfin». <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/2022-04-01/>.
9. Taryfy na elektrychnu enerhiu dlia naseleennia Sait Ministerstva finansiv Ukrainy «Minfin» Sait Ministerstva finansiv Ukrainy «Minfin». <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/>.

UDK 696.2

Increasing the efficiency of the use of natural gas in household gas stoves

V. Konovaliuk¹, Yu. Franchuk²

¹PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, konovaliuk.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5115-7188

²PhD, assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, franchuk.yy@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7910-8705

Abstract. In Ukraine, about a third of the energy is obtained from burning gas (about 30 billion cubic meters of natural gas per year). More than half of this amount of gas is burned in the communal household sector, which includes the population. The largest number of devices intended for burning gas are installed in the population and are household gas stoves used for cooking. The total consumption of gas used by these devices makes up the main part of the gas used in the country in the

summer period of the year. In connection with the significant increase in the price of energy carriers and the transition to paying for gas in units of energy, the issue of energy-efficient gas consumption is becoming more and more relevant. In this work, an analysis of the study of the use of gas at different pressures in domestic gas stoves is carried out. A comparison of the efficiency of gas use compared to the use of electrical energy is made. It has been determined that the optimal pressure in front of the gas stove burner, at which combustion has the most economical effect, is 2400 Pa. At this pressure, compared to electrical energy, efficiency increases by 20.8%. When the gas pressure deviates from 2400 Pa, there is a decrease in combustion efficiency, and at a pressure of 1800, the use of natural gas becomes economically impractical (compared to the use of electrical energy for cooking). Combustion of gas, ensuring the necessary completeness of combustion, has a positive effect on the environment as a result of reducing the content of carbon monoxide both in the indoor air of kitchens and in the environment of populated areas. Increasing the energy efficiency of burning natural gas will lead to a decrease in its consumed amount, and as a result, will positively affect the amount of payment for consumed gas, reduce the need for it and increase the level of energy independence of the state.

Key words: gas supply, pressure, gas consumption, economic efficiency

УДК 628.89

Прогнозування залежності температури внутрішнього повітря від зміни робочих характеристик системи водяного опалення

В. Петренко¹, А. Петренко², І. Голякова³, В. Петренко⁴¹ к.т.н., доцент, провідний інженер Підрозділу навчання та технічної підтримки HERZ Україна, Київ, Україна, petrenko@meta.ua, ORCID: 0000-0002-4331-6844,² к.т.н., доцент. Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна, petrenko_ao@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0406-9852³ к.т.н., доцент. Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна, holiakova.ira@pdaba.edu.ua, ORCID:0000-0001-7185-7202⁴ здобувач. Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна, vichkapetrenko@gmail.com, ORCID:0000-0001-9217-2827

Вивід залежності, яка дозволить прогнозувати встановлення температури внутрішнього повітря в приміщенні, яке опалюється внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення. В основу рішення задачі з визначення температури в приміщенні за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення покладено основні рівняння гідравліки та теплообміну такі, як: рівняння Дарсі-Вейсбаха з визначення гідравлічних втрат у мережі; рівняння нерозривності потоку; рівняння з визначення теплового потоку від теплоносія до стінок опалювального приладу; рівняння з визначення тепловіддачі опалювального приладу. Отримана залежність дозволяє прогнозувати встановлення температури внутрішнього повітря в приміщенні, яке опалюється внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення. Дана залежність дозволить на стадії проектування та в процесі експлуатації систем водяного опалення прогнозувати зміни температури внутрішнього повітря для прийняття мір з її стабілізації. Теоретично визначено прогнозовану температуру внутрішнього повітря на основі базових рівнянь гідравліки та теплообміну при змінних експлуатаційних характеристиках мережі системи водяного опалення. Отримані результати розрахунків прогнозування встановлення температури внутрішнього повітря в приміщенні показують, що внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення (зміни витрат теплоносія, гідравлічних характеристик трубопроводів) змінюються параметри внутрішнього мікроклімату. Такий підхід дозволить приймати рішення з підвищення надійності систем водяного опалення процесу забезпечення параметрів мікроклімату в приміщенні.

Ключові слова: прогнозована температура, гідравлічні втрати, тепловий потік, тепловтрати, водяне опалення.

Вступ. Наукова проблема питання, яке розглядається в цій статті полягає в прогнозуванні встановлення параметрів мікроклімату в приміщенні внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення. В процесі монтажу, а потім експлуатації мереж систем водяного (повітряного) опалення їх експлуатаційні характеристики внаслідок морального старіння відрізняються від розрахункових. Причини, які впливають на зміну експлуатаційних характеристик було розглянуто авторами в статті [1, 2].

Аналіз літературних джерел [3 - 8] за темою статті показав, що параметри мікроклімату в приміщенні залежать від багатьох факторів серед яких приділяється не дуже багато уваги впливу змін експлуатаційних характеристик системи водяного опалення на температуру внутрішнього повітря. Виконаний аналіз літературних джерел дав змогу сформулювати проблему, що вирішується в статті, а також виділити ряд задач, що сформульовані нижче.

Слідуючи сформульованій проблемі визна-

чення прогнозування встановлення параметрів мікроклімату в приміщенні внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення, виділимо задачі, які необхідно вирішити в даній статті, а це є:

- сформулювати вихідні дані;
- вивести залежність, за якою визначатиметься прогнозоване встановлення параметрів мікроклімату в приміщенні внаслідок зміни експлуатаційних характеристик систем водяного опалення;
- визначити ступінь звуженості трубопроводу системи водяного опалення в результаті його заростання солями в експлуатаційний період;
 - визначити втрати тиску в трубопроводах, які мають заростання різними солями, або мулом, ΔP , Pa ;
 - визначити тепловіддачу опалювального приладу при знижених витратах теплоносія перед опалювальним приладом Q , $Вт$;
 - визначити прогнозовану температуру внутрішнього повітря в зимовий період року за умови зниження гідравлічних характеристик

мережі системи водяного опалення, $t_{\text{прог}}^{\text{заростання}}, ^\circ\text{C}$;

- узагальнити вид аналітичної формули
- розрахувати, оцінити й проаналізувати результати розрахунків.

Вихідні дані. Для аналітичного визначення прогнозованої температури внутрішнього повітря на основі базових рівнянь гідравліки та теплообміну при змінних експлуатаційних характеристиках мережі системи водяного опалення виділимо наступні дані та обмеження:

- задаємося типом трубопроводу системи водяного опалення та його шорсткістю внутрішньої поверхні;
- витрати теплоносія та його швидкість на ділянці, яка розглядається, не змінюється в часі ($G = const, v = const$)
- процес теплопередачі опалювального приладу стаціонарний, температури повітря постійні в часі і по поверхні теплообміну ($\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$);

- коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до стінки опалювального приладу $\alpha_1, \frac{Wm}{m^2 \cdot K}$, від стінки до повітря, яке нагрівається $\alpha_2, \frac{Wm}{m^2 \cdot K}$, не міняються в часі і по поверхні теплообміну.

Основна частина. Задачу з визначення прогнозованої температури внутрішнього повітря на основі базових рівнянь гідравліки та теплообміну при змінних експлуатаційних характеристиках мережі системи водяного опалення виконуємо наступними етапами:

- визначаємо втрати тиску ділянкою системи водяного опалення за рахунок зміни гідравлічних характеристик трубопроводів;
- визначаємо зниження витрат теплоносія перед опалювальним приладом за рахунок зміни гідравлічних характеристик трубопроводів;
- визначаємо прогнозовану температуру в приміщенні за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення.

В основу рішення задачі з визначення температури в приміщенні за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення покладемо основні рівняння гідравліки та теплообміну такі, як:

- рівняння Дарсі-Вейсбаха [9, 10] з визначення гідравлічних втрат у мережі;
- втрати тиску в мережі визначаємо при турбулентному русі рідини в трубопроводах;
- рівняння нерозривності потоку;
- рівняння з визначення теплового потоку від

теплоносія до стінок опалювального приладу [11, 12];

- рівняння з визначення тепловіддачі опалювального приладу (основне рівняння теплопередачі) [11, 12].

Загальні втрати тиску на якій-небудь ділянці трубопроводу з незмінною витратою теплоносія виражається рівнянням (1) (формула Дарсі-Вейсбаха), тобто

$$P_{\text{дйл}} = \frac{\lambda}{d} \cdot l \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho + \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \quad (1)$$

де: λ – безрозмірний коефіцієнт тертя; d – діаметр трубопроводу, m ; l – довжина трубопроводу розрахункової ділянки, m ; v – швидкість руху переміщуваного середовища (води, пари), m/c ; ρ – щільність теплоносія, kg/m^3 ; ζ – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору, визначений дослідним шляхом.

Рівняння нерозривності потоку для стаціонарного руху рідини, яка не стискається [9, 10] в загальному вигляді представляється так

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

З даного рівняння отримаємо формулу (3), за якою визначаємо швидкість руху теплоносія в трубопроводі:

$$v = \frac{G}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho}, \quad \frac{m}{c} \quad (3)$$

де: G – масові витрати теплоносія, $\frac{kg}{год}$;
 d – внутрішній діаметр трубопроводу, m ;
 ρ – щільність теплоносія, $\frac{kg}{m^3}$.

Для визначення теплового потоку від теплоносія до стінок опалювального приладу приймаємо наступну формулу [11, 12]

$$Q_{\text{т.н}} = 0,278 \cdot G \cdot c \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}) \quad (4)$$

де: G – масові витрати теплоносія, $\frac{kg}{год}$;
 c – теплоємність теплоносія, $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$; $t_{\text{вх}}$ – температура теплоносія на вході в опалювальний

прилад, $^\circ C$;

$t_{\text{вих}}$ – температура теплоносія на виході з опалювального приладу, $^\circ C$.

Також скористаємося основним рівнянням теплопередачі для опалювального приладу [11, 12]

$$Q_{\text{о.н}} = k_{\text{о.н}} \cdot F_{\text{о.н}} \cdot (t_{\text{о.н}} - t_{\text{е}}), \quad Wm \quad (5)$$

де: $k_{\text{о.н}}$ – коефіцієнт теплопередачі опалюваль-

ного приладу, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; $F_{o,n}$ - тепловіддаюча поверхня опалювального приладу, $м^2$; $t_{o,n}$ - середня температура поверхні опалювального приладу, $^\circ C$;

$$t_{o,n} = \frac{t_{ex} + t_{вух}}{2}, \text{ } ^\circ C;$$

t_e - температура внутрішнього повітря, $^\circ C$.

Прирівняємо формули (4) і (5) та отримаємо формулу для визначення прогнозованої температури внутрішнього повітря за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення

$$\begin{aligned} Q_{m,n} &= Q_{o,n} \rightarrow \\ 0,278 \cdot G \cdot c \cdot (t_{ex} - t_{вух}) &= k_{o,n} \cdot F_{o,n} \cdot (t_{o,n} - t_e) \\ t_e &= t_{o,n} - \frac{0,278 \cdot G \cdot c \cdot (t_{ex} - t_{вух})}{k_{o,n} \cdot F_{o,n}}, \text{ } ^\circ C \end{aligned} \quad (6)$$

В отриманій формулі (6) невідомою величиною є витрати теплоносія через опалювальний прилад, яку отримуємо з формули (3)

$$G = 3600 \cdot v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho, \quad (7)$$

де невідомою величиною є швидкість руху теплоносія, яку отримуємо з формули (1) і виразимо формулою (8)

$$v = \sqrt{\frac{P}{\frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l + \sum \xi \right)}} \quad (8)$$

Підставимо формулу (8) у формулу (7) і отримаємо формулу (9)

$$G = 3600 \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{P}{\frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l + \sum \xi \right)}} \quad (9)$$

Температуру на виході з опалювального приладу знаходимо з формули (4)

$$t_{вух} = t_{ex} - \frac{3,6 \cdot Q_{np}}{c \cdot G} \quad (10)$$

Температуру на виході з опалювального приладу $t_{вух}$, $^\circ C$, знаходимо з формули (4).

Тепловіддачу опалювального приладу визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} Q_{np,\Delta} &= Q_{np,\Delta(\text{ном})} \cdot \left(\frac{t_{ex} + t_{вух} - t_e}{70} \right)^{n+1} \times \\ &\times \left(\frac{G_{np}}{0,1} \right)^p \cdot b \cdot \psi \cdot Z \end{aligned} \quad (11)$$

де $Q_{np,\Delta(\text{ном})}$ - номінальний тепловий потік від опалювального приладу при стандартних умовах, $Вт$; n та m - емпіричні показники ступеня відповідно при відносних температурному напір і витрат теплоносія; 70 - нормований температурний напір, $^\circ C$; 0,1 - нормовані масові витрати теплоносія через опалювальний прилад, $кг/с$; c - поправочний коефіцієнт, за допомогою якого враховується схема руху теплоносія на тепловий потік і коефіцієнт теплопередачі приладу при нормованому температурному напорі, витраті теплоносія і атмосферному тиску; b - безрозмірний поправочний коефіцієнт на розрахунковий атмосферний тиск; p - безрозмірний поправочний коефіцієнт, за допомогою якого враховується специфіка залежності теплового потоку і коефіцієнта теплопередачі опалювального приладу від його довжини при різних схемах руху теплоносія.

Для опрацювання отриманої формули (6) приймемо, як приклад, підключення опалювального приладу на кінцевій ділянці циркуляційного кільця (див. рис. 1).

За вихідні дані приймемо величини наведені в таблиці 1.

Безрозмірний коефіцієнт тертя, λ , визначаємо за формулою Альтшуля (12) при

$$R > 560 \cdot \frac{d}{\Delta_e}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_e}{d} \right)^{0,25} \quad (12)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2 та відображаємо на рисунку 2.

Загальні втрати тиску на ділянці трубопроводу визначаємо за формулою 1 та зводимо до таблиці 3 і відображаємо на рис. 3.

Витрати теплоносія на ділянці трубопроводу, що розглядається, визначаємо по формулі 9 та зводимо до таблиці 4 і відображаємо на графіку рис. 4.

Температуру на виході з опалювального приладу знаходимо з формули 10 та зводимо до таблиці 5 і відображаємо на графіку рис. 5.

Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря та з урахуванням зміни витрат теплоносія при відповідних значеннях шорсткості знаходимо з формули 11 та зводимо до таблиці 6, 7, 8, відображаємо графіками на рис. 6, 7, 8.

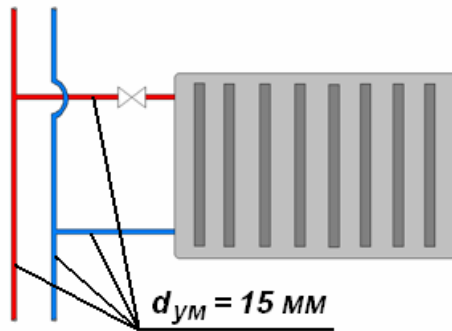


Рис. 1. Типовий вузол приєднання опалювального приладу до стояка двотрубної системи опалення

Таблиця 1

Вихідні дані до розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Діаметр сталюого трубопроводу	d_y	15 мм
Типова шорсткість сталюого трубопроводу	Δ_e	від 0,02 мм до 4 мм
Довжина підводки	l	1,0 м
Опалювальний прилад	Korado VK-11	657 Вт
Щільність теплоносія	ρ	$970 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Середня температура теплоносія в опалювальному приладі	$t_{сер}$	82,5 °C
Швидкість теплоносія перед опалювальним приладом	v	від 0,1 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ до 0,3 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Таблиця 2

Результати розрахунків безрозмірного коефіцієнту тертя з урахуванням зміни шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу

Типова шорсткість, Δ_e , мм	Внутрішній діаметр трубопроводу, d , мм	Безрозмірний коефіцієнт тертя, λ
0,02	0,01496	0,12
0,1	0,0148	0,18
0,5	0,014	0,27
1	0,013	0,33
2	0,011	0,40
3	0,009	0,47
4	0,007	0,54

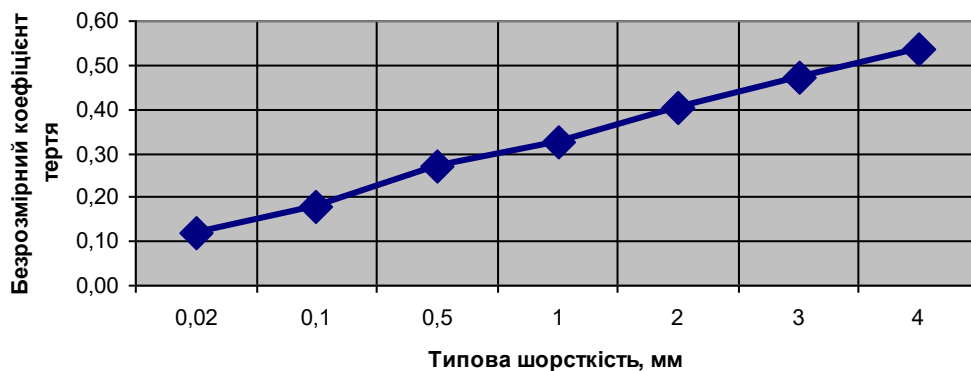


Рис. 2. Результати розрахунків безрозмірного коефіцієнту тертя в графічному вигляді

Таблиця 3

Загальні втрати тиску на ділянці трубопроводу, що розглядується, з незмінною витратою теплоносія та змінною шорсткістю внутрішньої поверхні трубопроводу

$v, \frac{M}{c}$	λ	P, Pa	$v, \frac{M}{c}$	λ	P, Pa	$v, \frac{M}{c}$	λ	P, Pa
0,025	0,12	26,8	0,05	0,12	107,2	0,1	0,12	428,9
	0,18	36,7		0,18	146,8		0,18	587,4
	0,27	54,3		0,27	217,1		0,27	868,3
	0,33	68,5		0,33	273,9		0,33	1095,8
	0,40	96,8		0,40	387,3		0,40	1549,2
	0,47	134,5		0,47	538,0		0,47	2152,0
	0,54	194,3		0,54	777,2		0,54	3108,7

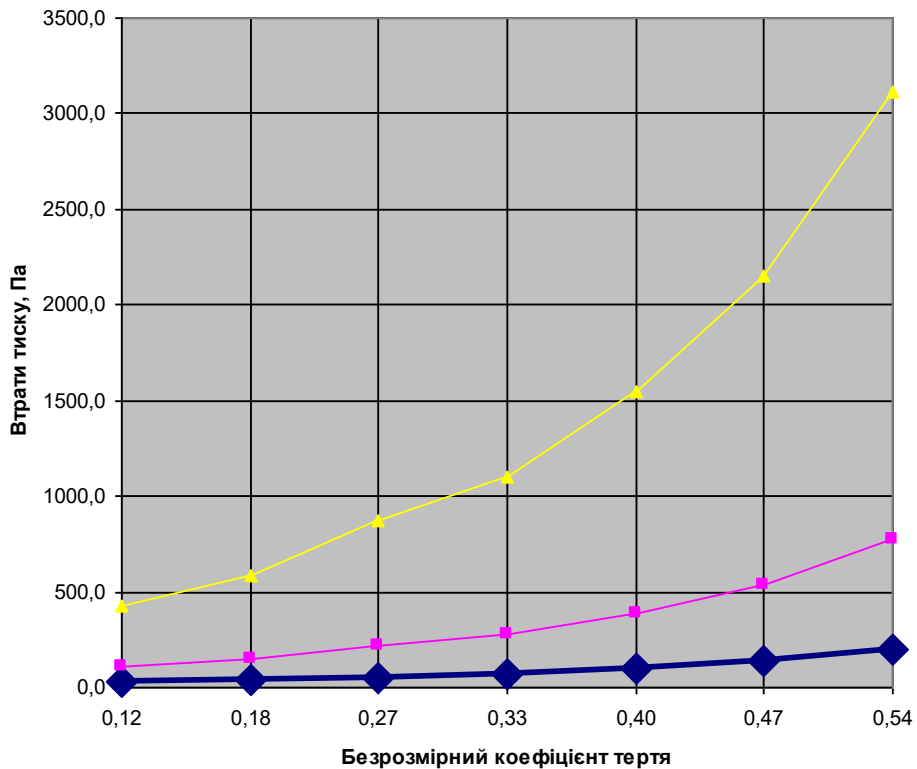


Рис. 3. Загальні втрати тиску на ділянці трубопроводу, що розглядується, з незмінною витратою теплоносія

Таблиця 4

Витрати теплоносія на ділянці трубопроводу, що розглядується, з незмінною швидкістю руху

$v, \frac{M}{c}$	λ	$G, \frac{kg}{год}$	$v, \frac{M}{c}$	λ	$G, \frac{kg}{год}$	$v, \frac{M}{c}$	λ	$G, \frac{kg}{год}$
0,025	0,12	22,6	0,05	0,12	45,2	0,1	0,12	90,4
	0,18	23,6		0,18	47,3		0,18	94,5
	0,27	22,6		0,27	45,2		0,27	90,4
	0,33	20,1		0,33	40,2		0,33	80,4
	0,40	15,0		0,40	29,9		0,40	59,8
	0,47	10,3		0,47	20,6		0,47	41,2
	0,54	6,4		0,54	12,7		0,54	25,5

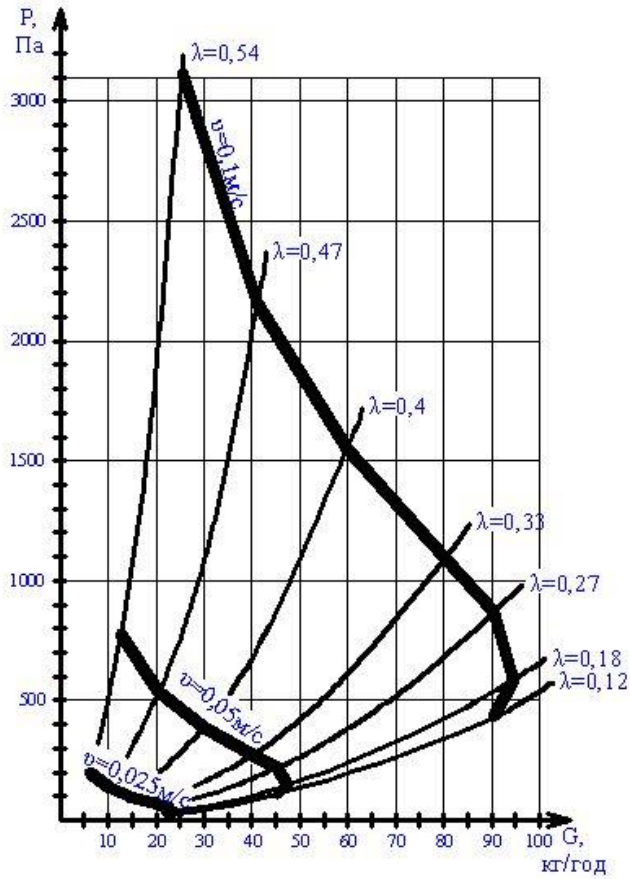


Рис. 4. Витрати теплоносія на ділянці трубопроводу, що розглядується, з незмінною швидкістю руху

Таблиця 5

Температуру на виході з опалювального приладу

$Q_{np}, Вт$	$t_{ex}, ^\circ C$	$v, \frac{м}{с}$	$G, \frac{кг}{год}$	$t_{вых}, ^\circ C$
1	2	3	4	5
657	95	0,025	22,6	70,0
			23,6	71,1
			22,6	70,0
			20,1	66,9
			15,0	57,2
			10,3	40,1
		0,05	6,4	6,3
			45,2	82,5
			47,3	83,0
			45,2	82,5
			40,2	80,9
			29,9	76,1
		0,1	20,6	67,5
			12,7	50,6
			90,4	88,7
			94,5	89,0
			90,4	88,7
			80,4	88,0
			59,8	85,6
			41,2	81,3
			25,5	72,8

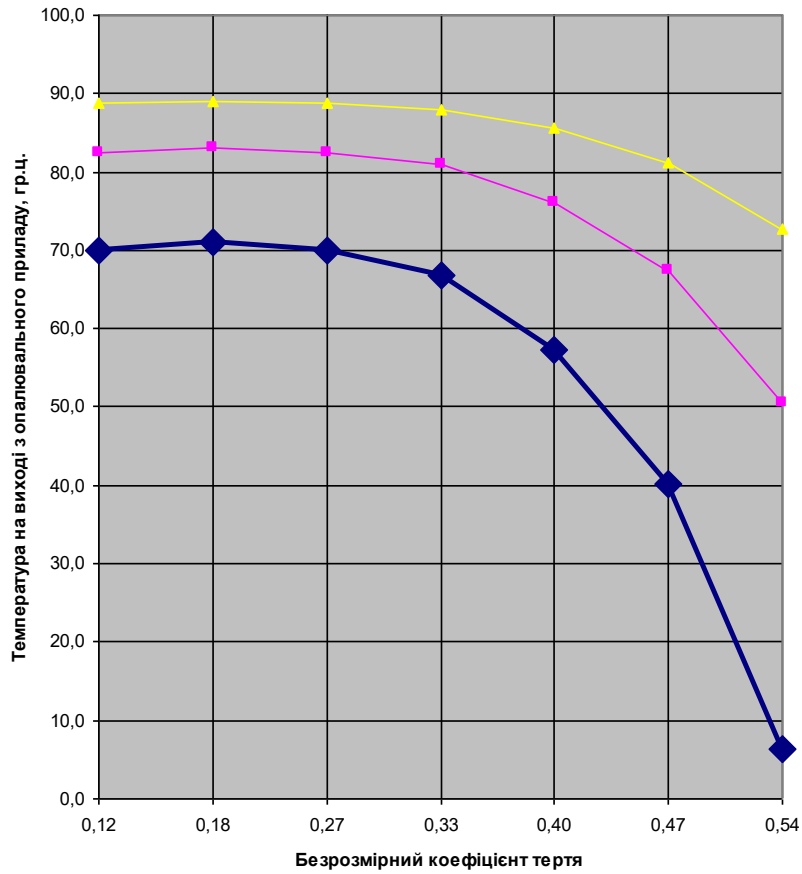


Рис. 5. Температура на виході з опалювального приладу

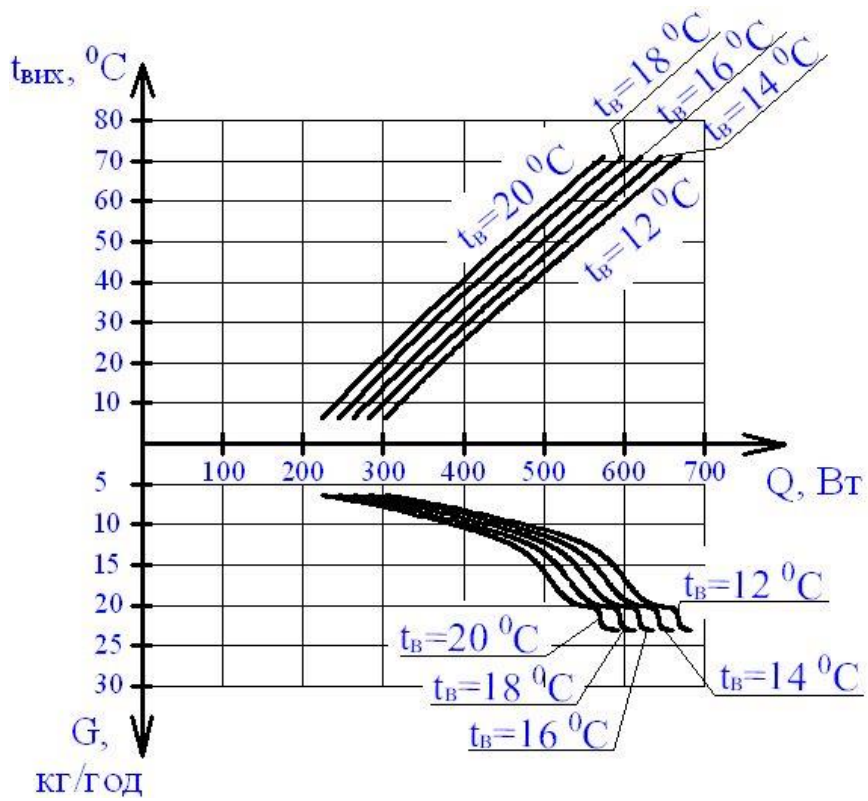


Рис. 6. Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

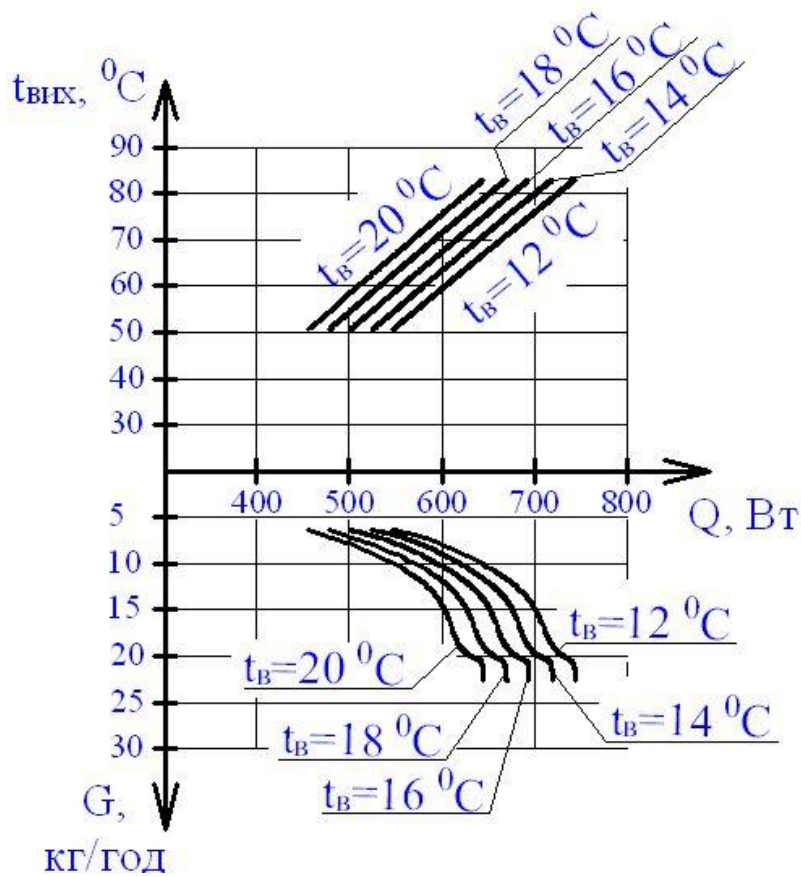


Рис. 7. Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

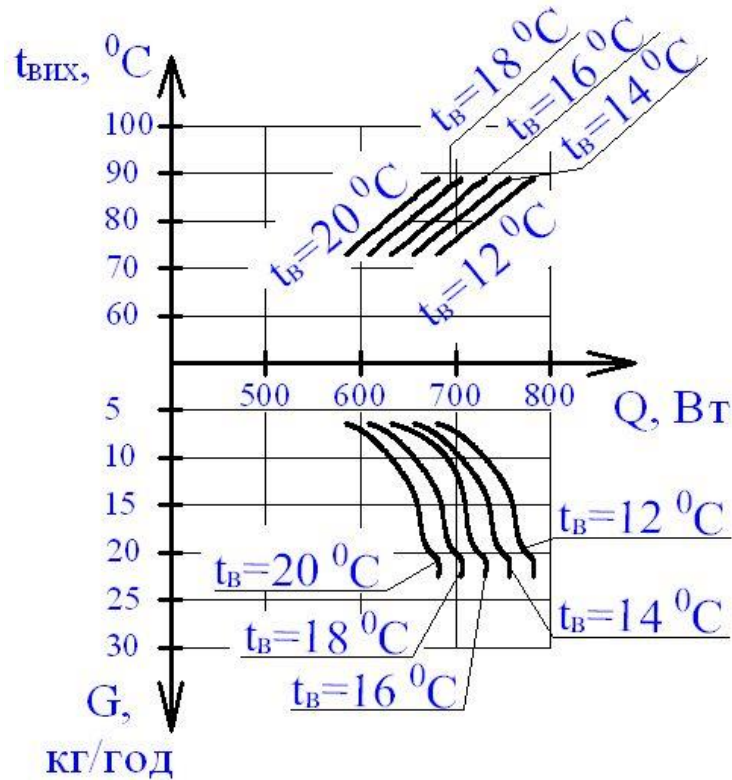


Рис. 8. Графік визначення температури внутрішнього повітря в залежності від витрат теплоносія, тепловіддачі опалювального приладу, температури теплоносія на виході з опалювального приладу

Таблиця 6

Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

Q_{np}, Bm	657																				
$v, \frac{M}{c}$	0,025																				
$t_{в}, ^\circ C$	20							18							16						
$Q_{np,\Delta}, Bm$	567	567	573	567	549	493	397	591	597	591	572	516	419	244	615	621	615	596	539	441	263

Продовження табл. 6

657																			
0,025																			
14										12									
639	645	639	620	562	464	283	663	670	663	644	586	486	303						

Таблиця 7

Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

Q_{np}, Bm	657																				
$v, M/c$	0,05																				
$t_{в}, ^\circ C$	20							18							16						
$Q_{np,\Delta}, Bm$	642	645	642	632	603	553	456	666	670	666	657	627	576	478	691	694	691	681	652	600	501

Продовження табл. 7

657																			
0,05																			
14										12									
716	719	716	706	676	624	524	741	744	741	731	701	648	547						

Таблиця 8

Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

Q_{np}, Bm	657																				
$v, M/c$	0,1																				
$t_{в}, ^\circ C$	20							18							16						
$Q_{np,\Delta}, Bm$	680	682	680	675	660	634	584	705	706	705	700	685	659	608	730	731	730	725	710	683	632

Продовження табл. 8

657																			
0,1																			
14										12									
755	756	755	750	735	708	656	780	782	780	775	760	733	680						

Таблиця 8

Тепловіддача опалювального приладу в залежності від зміни температури внутрішнього повітря

$Q_{np}, \text{Вт}$	657																				
$v, \text{м/с}$	0,1																				
$t_e, ^\circ\text{C}$	20						18						16								
$Q_{np.d}, \text{Вт}$	680	682	680	675	660	634	584	705	706	705	700	685	659	608	730	731	730	725	710	683	632

Продовження табл. 8

657																	
0,1																	
14									12								
755	756	755	750	735	708	656	780	782	780	775	760	733	680				

Дана методика дозволяє отримати графіки тепловиділення обігрівача в залежності від зміни температури повітря в приміщенні і при різних швидкостях руху витрати теплоносія в трубопроводах. Це важливо для енергозбереження [14 – 17].

Висновки. Ця стаття була присвячена теоретичному визначенню прогнозованої температури внутрішнього повітря на основі базових рівнянь гідравліки та теплообміну при змінних експлуатаційних характеристиках мережі сис-

теми водяного опалення. Отримані дані свідчать про те, що:

- дана методика дозволяє розрахунковим шляхом визначити зміни температури внутрішнього повітря за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення;
- неможливість уніфікації графічних залежностей для визначення зміни температури внутрішнього повітря за рахунок зміни експлуатаційних характеристик системи водяного опалення.

Література

1. Viktor Petrenko, Konstantin Dikarev, Anatolii Petrenko, Irina Holiakova Impact of Changes of Performance Characteristics of Water Heating System on Indoor Air Temperature. Proceedings of EcoComfort 2022. - Lviv Polytechnic National University, 2022. - p.307-317. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_31.
2. Фактори, які впливають на мікроклімат в приміщенні, що має дефекти огорожуючих конструкцій і систем ОВК / В.О. Петренко, А.О. Петренко, И.В. Голякова // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Безопасность жизнедеятельности. - 2016. - Вып. 93. - С. 286-291.
3. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В.М. Беляева; под ред. В.И. Прохорова и А.Л. Наумова. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.
4. Голякова И. В., Петренко В. О., Полищук С. З., Беликов А. С., Петренко А.О, Кушнир Е.Г. Микроклимат в помещениях с локальными тепловыделениями. Днепр – 2016. – 120 с.
5. Petrenko V., Dikarev K., Petrenko A., Papirnyk R. (2021) The Calculation of Indoor Air Forecast Temperature of a Space with the Replaceable Thermotechnical Characteristics of the Enclosure Structures While in Operation. In: Blikharskyi Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_39.
6. Petrenko, V., Dykarev, K.: Evaluation of indoor temperature for various building envelopes damaged. In: Petrenko, V., Dykarev, K. (eds.) E3S Web of Conferences (2018), T. 32, pp. 01019. EDP Sciences (2018).
7. Petrenko, V., Dykarev, K., Skokova, A., & Kuzmenko, O. Estimation of indoor temperatures on condition that building envelope is damaged // REVISTA ROMANA DE INGINERIE CIVILA. – 2017. – №. 1. – С. 36-44.
8. Петренко В. О., Голякова И. В., Петренко А. О. Фактори, що впливають на зміну параметрів мікроклімату в результаті зміни експлуатаційних характеристик систем опалення / Сб. научн. Трудов: Строительство. Материаловедение. Машиностроение; Вып. 105. – Днепр: ГВУЗ ПГАСА, 2018. – с. 269-275.
9. Гидромеханика / В.А. Винников, Г.Г. Каркашадзе. - М.: Издательство Московского гос. горного ун-та, 2003. - 302 с.
10. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. - М.: Стройиздат. – 1987. – 329 с.
11. Тепломасообмін: підруч. для студ. теплотехн. спец. / В.Й. Лабай. - Л.: Тріада Плюс, 2004. - 260с.
12. Omelchenko, O.V., Tsvirkun, L.O.: Teplomasoobmin. Kryvyi Rih: DonNUET. 100-p. (2021).
13. Колесник, И.А., Петренко, В.О., Ветвицкий, И.Л., Ветвицкая, Д.А. Анализ влияния теплотехнических характеристик оконных блоков на состояние микроклимата помещений в отопительный период //

Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2016. – №. 92. – С. 67-73.

14. Myroniuk K, Voznyak O, Yurkevych Yu, and Gulay B. Technical and economic efficiency after the boiler room renewal. Springer, Proceedings of CEE 2020, Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering; 100, 311 – 318 (2020).

15. Savchenko O., Voznyak O., Myroniuk K. and Dovbush O. “Thermal renewal of industrial buildings gas supply system,” Proceedings of EcoComfort 2020, Lviv, Ukraine, September 16-18, 2020, Z. Blikharsky, Ed., Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 100, pp. 385–392 (2021).

16. Zhelykh V, Voznyak O, Yurkevych Yu, Sukholova I, and Dovbush O. Enhancing of energetic and economic efficiency of air distribution by swirled-compact air jets. Production Engineering Archives; 27(3), 171 – 175 (2021).

17. Voznyak O, Spodyniuk N, Yurkevych Yu, Sukholova I, and Dovbush O. Enhancing efficiency of air distribution by swirled-compact air jets in the mine using the heat utilizators. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu; 5 (179), 89–94 (2020).

References

1. Viktor Petrenko, Konstantin Dikarev, Anatolii Petrenko, Irina Holiakova Impact of Changes of Performance Characteristics of Water Heating System on Indoor Air Temperature Proceedings of EcoComfort 2022. - Lviv Polytechnic National University, 2022. - p.307-317. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_31 (Англійська).

2. Petrenko, V.O., Petrenko, A.O.: Faktory, yaki vplyvaiut na mikroklimat v prymyshchenni, shcho maie defekty ohorodzhuiuchykh konstruksii i system OVK. In: Petrenko, V.O., Petrenko, A.O. (eds.) Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie 2016, vyp. 93, pp. 286-291. Dn-sk, PGASA (2016) (Українська).

3. Banhidi, L.: Teplovoj mikroklimat pomeshchenij. M.: Strojizdat (1981) (Російська).

4. I. Holiakova, V. Petrenko, S. Polischyk, A. Belikov, A. Petrenko & E Kyshnir. (2016). Microclimate in rooms with local heat releases. 120-с (Російська).

5. Petrenko V., Dikarev K., Petrenko A., Papirnyk R. (2021) The Calculation of Indoor Air Forecast Temperature of a Space with the Replaceable Thermotechnical Characteristics of the Enclosure Structures While in Operation. In: Blikharsky Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 100. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_39 (Англійська).

6. Petrenko, V., Dykarev, K.: Evaluation of indoor temperature for various building envelopes damaged. In: Petrenko, V., Dykarev, K. (eds.) E3S Web of Conferences (2018), T. 32, pp. 01019. EDP Sciences (2018) (Англійська).

7. Petrenko, V., Dykarev, K., Skokova, A., & Kuzmenko, O. Estimation of indoor temperatures on condition that building envelope is damaged // REVISTA ROMANA DE INGINERIE CIVILA. – 2017. – №. 1. – С. 36-44 (Англійська).

8. VO Petrenko, IV Holiakova, AO Petrenko Factors influencing the change of microclimate parameters as a result of the change of operational characteristics of heating systems. – Dnipro, 2018 Construction, materials science, mechanical engineering. № 105, С. 269-275 (Українська).

9. Vinnikov, V.A., Karkashadze, G.G.: Gidromehanika. M.: Izdatelstvo Moskovskogo gos. gornogo un-ta. 302-p. (2003) (Російська).

10. Al'tshul', A.D.: Gidravlika i aerodinamika. M.: Stroyizdat. (1987) (Російська).

11. Labai, V.I.: Teplomasoobmin. L.: Triada Plus. Pidruch. dlia stud. teplotekhn. spets. 260-p. (2004) (Українська).

12. Omelchenko, O.V., Tsvirkun, L.O.: Teplomasoobmin. Kryvyi Rih: DonNUET. 100-p. (2021) (Російська).

13. Kolesnik, I.A., Petrenko, V.O., Vetskiy, I.L., Vetskiy, D.A. Analysis of the influence of the thermal characteristics of window blocks on the state of the microclimate of the premises during the heating period // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. – 2016. – №. 92. – С. 67-73 (Російська).

14. Myroniuk K, Voznyak O, Yurkevych Yu, and Gulay B. Technical and economic efficiency after the boiler room renewal. Springer, Proceedings of CEE 2020, Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering; 100, 311 – 318 (2020) (Англійська).

15. Savchenko O., Voznyak O., Myroniuk K. and Dovbush O. “Thermal renewal of industrial buildings gas supply system,” Proceedings of EcoComfort 2020, Lviv, Ukraine, September 16-18, 2020, Z. Blikharsky, Ed., Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 100, pp. 385–392 (2021) (Англійська).

16. Zhelykh V, Voznyak O, Yurkevych Yu, Sukholova I, and Dovbush O. Enhancing of energetic and economic efficiency of air distribution by swirled-compact air jets. Production Engineering Archives; 27(3), 171 – 175 (2021) (Англійська).

17. Voznyak O, Spodyniuk N, Yurkevych Yu, Sukholova I, and Dovbush O. Enhancing efficiency of air distribution by swirled-compact air jets in the mine using the heat utilizators. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu; 5(179), 89–94 (2020) (Англійська).

UDK 628.89

Prediction of the dependence of the indoor air temperature on the change in the working characteristics of the water heating system

V. Petrenko¹, A. Petrenko², I. Holiakova³, V. Petrenko⁴

¹ Ph. D., Associate Professor, leading engineer of the Training and Technical Support Division HERZ Ukraine, Kyiv, Ukraine, petrenko@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4331-6844,

² Ph. D., Associate Professor. Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, petrenko_ao@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0406-9852

³ Ph. D., Associate Professor. Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, holiakova.ira@pdaba.edu.ua, ORCID:0000-0001-7185-7202

⁴ student. Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, vichkapetrenko@gmail.com, ORCID:0000-0001-9217-2827

Abstract. This article was devoted to the theoretical determination of the predicted indoor air temperature based on the basic equations of hydraulics and heat exchange with variable operating characteristics of the water heating system network. Derive a relationship that will predict the indoor air temperature setting of the room that is being heated as a result of changes in the operating characteristics of the water heating systems. In basis the solution to the problem of determining the temperature in the room by changing the performance characteristics of the water heating system is based on the basic equations of hydraulics and heat transfer such as Darcy-Weisbach equation to determine the hydraulic losses in the network; flow continuity equation; equation to determine the heat flux from the coolant to the walls of the heater; equation for determining the heat transfer of the heater. The resulting dependence makes it possible to predict the setting of the indoor air temperature in the room heated as a result of changes in the operating characteristics of the water heating systems. This dependence will allow at the design stage and in the process of operation of water heating systems to predict changes in the indoor air temperature in order to take measures to stabilize it. The predicted indoor air temperature is theoretically determined based on basic equations of hydraulics and heat exchange with variable operational characteristics of the water heating system network. The obtained results of indoor air temperature prediction calculations show that the parameters of the indoor microclimate change due to changes in the operational characteristics of water heating systems (changes in coolant consumption, hydraulic characteristics of pipelines). This approach will allow you to make decisions to improve the reliability of water heating systems in the process of ensuring the parameters of the microclimate in the room.

Keywords: Forecast Temperature, Hydraulic Losses, Heat Flow, Heat Loss, Water Heating.

УДК 697.34:536.24

Підвищення ефективності систем централізованого тепло-постачання за рахунок оптимізації служби підготовки води. Досвід КП «Житомиртеплоенерго»

Гламаздін П.М.¹, Вітковський В.С.², Рогожин Д.В.³, Карпюк М.А.⁴, Габа К.О.⁵

¹ доц. КНУБА, м. Київ, Україна, sib.kiev@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2611-2687

² інж. КП «Житомиртеплокомуненерго», м. Житомир, Україна, vladvit1@gmail.com

³ директор КП «Житомиртеплокомуненерго», м. Житомир, Україна, kancztke@gmail.com

⁴ інж. КП «Житомиртеплокомуненерго», м. Житомир, Україна, kancztke@gmail.com

⁵ к.т.н., доц. КНУБА, м. Київ, Україна, kristinachibra@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2201-1408

Низька якість води систем централізованого теплопостачання обумовлює те, що котлоагрегати та трубопроводи теплових мереж часто виходять з ладу. Основними причинами є корозійні пошкодження та накипні відкладення. Це вказує на низьку ефективність систем підготовки води. У статті викладено результати впровадження нетрадиційних технологій підготовки води систем централізованого теплопостачання на досвіді комунального підприємства "Житомиртеплокомуненерго" Житомирської міської ради у 2007-2021 рр. У котельнях підприємства було модернізовано системи водопідготовки та реорганізовано службу підготовки води. Зокрема впроваджено хімічну деаерацію у комплексі з традиційним натрій-катіонуванням та хімічну деаерацію із стабілізаційною обробкою на протизагу класичній технології обробки води – іонному обміну. Встановлено шламовідокремлювачі з магнітними вставками. Впроваджена технологія пом'якшення води з протикорозійним захистом за допомогою Redox-фільтрів. Розроблено та встановлено гравіметричні датчики корозії власної конструкції. Створено та введено у дію базу даних обробки та статистичного аналізу Access "Корозійні ушкодження трубопроводів теплових мереж". Досвід модернізації системи підготовки води показав, що роботи в цьому напрямку підвищують надійність експлуатації систем централізованого теплопостачання та приносять вагомні фінансові вигоди за рахунок зниження споживання енергоносіїв та матеріальних ресурсів.

Ключові слова: водопідготовка, стабілізаційна обробка води, економія енергоносіїв.

Вступ. Через погодно-кліматичні умови в Україні опалювальний сезон тягнеться близько шести місяців. Тобто майже півроку людські оселі потребують тепла для опалення, яке постачається як централізовано, так і з індивідуальних джерел. Наприкінці минулого сторіччя основним джерелом теплоти міст України були системи централізованого теплопостачання (СЦТ).

Актуальність дослідження. Через низку причин як об'єктивних, так і суб'єктивних частка СЦТ в Україні постійно зменшується. Натомість збільшується частина децентралізованих автономних систем. За останні 30 років частка централізованого теплопостачання зменшилась з 47 до 21% [1]. Однією з причин відмови від споживання послуг централізованого теплопостачання є постійне підвищення тарифів, яке серед іншого обумовлене фізичним зношенням основного та допоміжного обладнання, і його моральною застарілістю, невідповідністю сьогоденній рівню техніки у цій галузі. Для виправлення такого положення необхідно не просто замінювати зношене обладнання на однотипове нове, але й шукати нові методи і процеси генерування та розподілу теплоти, більш дешеві та надійні. Підготовка води, яка є основним і єдиним теплоносієм

для СЦТ, якраз є яскравим прикладом необхідності впровадження нових процесів і методів для заміни традиційних дорогих і не завжди надійних методів. Позитивним прикладом подібної роботи є досвід комунального підприємства "Житомиртеплокомуненерго" (ЖТКЕ) Житомирської міської ради (ЖМР).

Останні дослідження та публікації. КП "Житомиртеплокомуненерго" ЖМР забезпечує теплом 1605 об'єктів, в тому числі житлового фонду 958, бюджетної сфери 137 та 510 інших. На балансі підприємства знаходиться 64 котельні, 81 центральний тепловий пункт. Підприємство обслуговує 208 км теплових мереж у двохтрубному вимірі. Загальна встановлена потужність котелень складає 744,4 Гкал/год. [2]

У 2007 році, були проведені енергоаудити по окремим котельням [3,4] та проведена загальна оцінка стану основних фондів підприємства. На той час згідно результатів аудитів зношеність котельного обладнання становила близько 85 %, трубопроводів теплових мереж 82 %.

Через низьку якість мережної води котли часто виходили з ладу. Основними причинами були корозійні ушкодження та накипні відкладення. Трубопроводи теплових мереж (ТМ)

також потерпали як від зовнішньої так і від внутрішньої корозії, а також від корозійних та механічних відкладень.

Внаслідок великих витоків через пошкоджене обладнання та трубопроводи ТМ загальні витрати води склали 657,9 тис. м³ за сезон при нормі 275,5 тис. м³. Це обумовлювало питому витрату води 0,99 м³/Гкал.

Для пом'якшення цієї води витрачалося 569,7 т солі, або 0,87 кг/Гкал. Витрати електроенергії сягали 26712,8 тис. кВт·год, або 40,95 кВт·год/Гкал. Витрати газу склали 91492,3 тис. м³, що давало питому витрату 140,25 м³/Гкал.

На момент проведення енергоаудиту загальноприйнятою технологією водопідготовки на котельнях було видалення солей жорсткості з води методом натрій-катіонування. При цьому на всіх котельнях в якості катіоніту використовувалося сульфовугілля, яке практично вичерпало свій ресурс. Окрім цього обладнання водопідготовки було практично непрацездатне внаслідок нерегулярних ремонтів та неправильних умов експлуатації. Наприклад, усе облаштування систем термічної деаерації було зруйноване та або демонтовано, або "догнивало" на дахах котельень. Внаслідок цього котли постійно вимагали частих хімічних промивок та, в першу чергу, приведення водно-хімічного режиму експлуатації котельного обладнання та трубопроводів ТМ до відповідних норм.

Таким чином, стан виробничих фондів під-

приємства у 2007 - 2008 рр. був незадовільним, що вимагало прийняття зважених технічних рішень для його покращення, у тому числі щодо водно-хімічного режиму експлуатації котельного обладнання та трубопроводів ТМ.

Аналіз впливу можливих відхилень від технічних вимог та регламентів обладнання системи водопідготовки показав, що такі відхилення можуть впливати на всі аспекти життєдіяльності підприємства і навіть всього міста. Розроблена для такого аналізу схема впливу відхилень у роботі систем на життєдіяльність підприємства представлена на рис. 1. Результати аналізу примусили звернути увагу на стан системи підготовки води. Вже у перших спробах модернізації системи водопідготовки стало ясно, що без видалення відкладень з поверхні котлів та трубопроводів теплових мереж, а особливо з внутрішньо-будинкових систем, не можна домогтися ефективної теплопередачі в елементах систем.

Відкладення, що видаляються у будь-якій формі, будуть транспортуватись по трубопроводах теплових мереж та накопичуватись у місцях, де зменшується швидкість води, а саме: колектори водогрійних котлів водотрубною схеми, барабани котлів з димогарними та жаровими трубами. Тобто виникає проблема ефективного безперервного видалення шламу з теплоносія без зупинки процесу теплопостачання.



Рис.1 Вплив відкладень на роботу елементів систем теплопостачання

Таблиця 1

Основні показники якості води
КП "Житомирводоканал"

№ n/ n	Показник	Одини- ця виміру	Норма- тивний показник	Середнє значення показника
1	Водневий показник, рН	од. рН	6,5 – 8,5	7,35
2	Лужність загальна	моль/м ³	0,5 – 6,5	3,08
3	Жорсткість загальна	моль/м ³	не більше 7,0	4,12
4	Хлориди	мг/дм ³	не більше 250	59,82
5	Залізо загальне	мг/дм ³	не більше 0,2	0,11
6	Сухий залишок	мг/дм ³	не більше 1000	323,0
7	Сульфати	мг/дм ³	не більше 250	30,12
8	Поліфосфати	мг/дм ³	не більше 3,5	0,084

Узагальнюючи вищенаведене, можна сформулювати основні задачі, які потрібно розв'язати при виборі методу модернізації систем водопідготовки систем теплопостачання. Це, по-перше, зниження швидкості корозії матеріалів котельного обладнання та трубопроводів теплових мереж; по-друге, попередження утворення накипних та корозійних відкладень; по-третє, очистка гріючих та інших поверхонь від застарілих відкладень.

Як тільки було сформульовано комплекс завдань, одразу стало ясно, що без розроблення детальної програми дій з підвищення надійності та ефективності системи водопідготовки не обійтись. Вихідні дані для розроблення програми були отримані в результаті аудитів. На першому етапі розроблення програми необхідно було визначитись з методами, які необхідно застосовувати при плануванні модернізації або навіть реконструкції системи водопідготовки. Принципово всі відомі методи можна поділити на два великі класи – реагентні та безреагентні.

Вибір методу водопідготовки зазвичай є досить складною справою, що з одного боку обумовлено різноманіттю складу води в залежності від регіону, а також досить широким вибором методів водопідготовки.

Вода для підживлення котелень КП ЖТКЕ МЖР в основному постачається з мережі питної води КП "Житомирводоканал", тому її якість відповідає санітарним вимогам [5]. Основні показники якості води публікуються на сайті КП "Житомирводоканал" [6] та надані у табл. 1.

За індексом Ланжельє, що дорівнює 1,02 при температурі 90⁰ С, вода схильна до накипоутворення [7]. Тому метод водопідготовки повинен бути таким, щоб запобігати як корозійним процесам, так і накипоутворенню.

Детальний розгляд методів дозволив відразу відкинути безреагентні (фізичні) методи через їх численні недоліки. Так, наприклад, термічні методи деаерації потребують досить високих температур (70 °С для вакуумної деаерації), тому були неприйнятні на підприємстві, оскільки температури теплоносія під час розроблення програми були близько 60 °С. Баромембранні процеси потребують досить високих капітальних витрат і на виході ми будемо мати майже дистильовану воду з високою корозійною активністю [8, 9].

Ультразвуковий метод боротьби з відкладеннями на гріючих поверхнях заснований на

кавітаційній дії ультразвуку, який подрібнює кристали солей накипоутворювачів, але при цьому руйнуються конструкційні елементи котельного обладнання [10, 11, 12].

Магнітна та електрохімічна обробка води доки що не піддається теоретичному моделюванню, тому ефект такої обробки може бути непередбачуваний [13-16].

Реагентні методи водопідготовки вже були досить поширені, з них найбільш поширеним є метод натрій-катіонування, який застосовувався як основний метод пом'якшення води на всіх без винятку котельнях. Основним недоліком цього методу є те, що пом'якшена вода має більшу корозійну активність навіть у порівнянні з "сирою" (непом'якшеною) водою. Тобто застосовувати її без захисту конструкційних матеріалів від корозії - це значить свідомо виводити котельне обладнання та трубопроводи ТМ з ладу. Тому треба було підібрати реагенти, які змогли би модифікувати теплоносій або поверхню металу таким чином, щоб протидіяти корозії та накипоутворенню.

На сьогодні відомо багато методів одночасної боротьби з корозією та накипоутворенням.

Основні існуючі методи підготовки живильної води з метою протидії накипоутворенню та корозії елементів котельного обладнання та трубопроводів теплових мереж відображені на рис. 2. Для вибору перспективних методів, за допомогою яких можливо ефективно модернізувати систему водопідготовки, довелося звернутися до теоретичних засад електрохімії корозійних процесів.

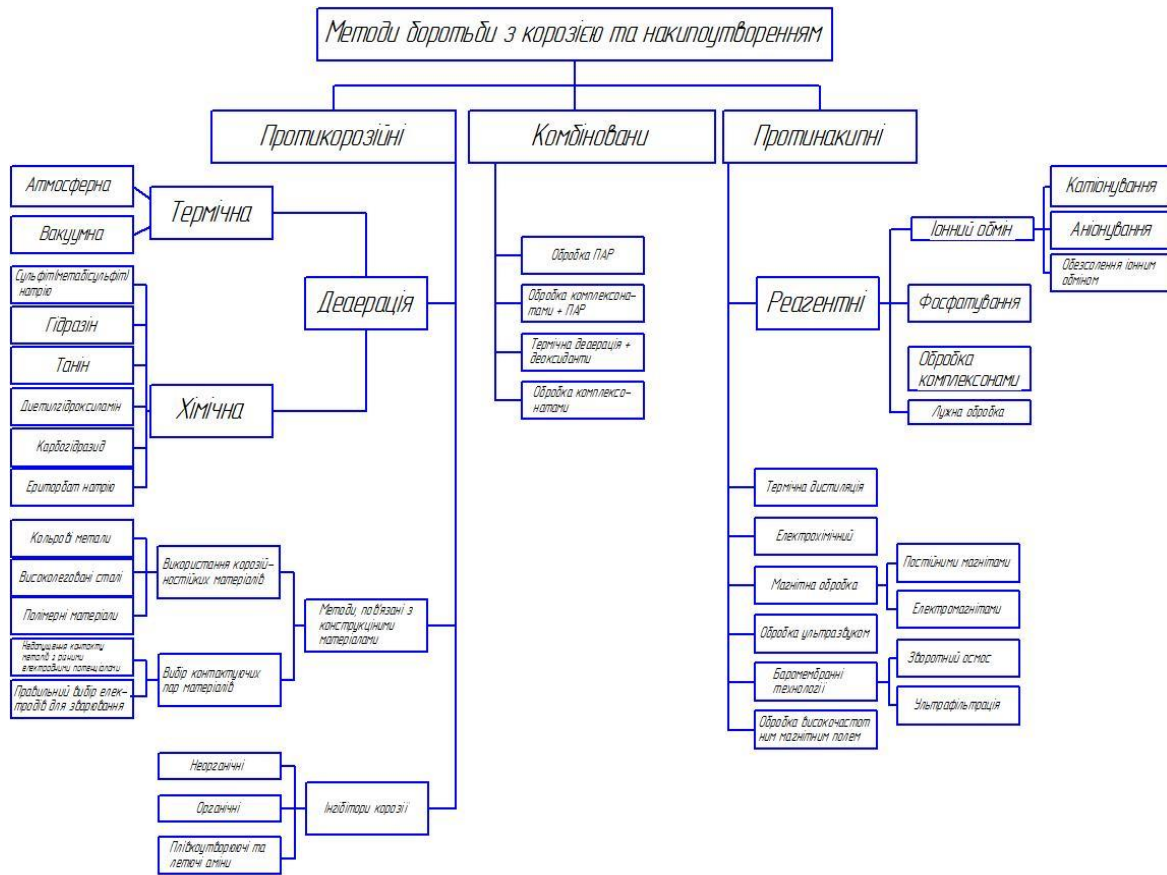


Рис.2 Класифікація методів боротьби з корозією та Накоптуванням

Згідно теорії корозійних процесів маловуглецевих сталей для виникнення корозії необхідна сукупність трьох факторів: об'єкту корозії - у нашому випадку основний конструкційний матеріал котельного обладнання та трубопроводів теплових мереж - маловуглецева сталь; корозійного середовища - у нашому випадку вода, основний теплоносіє систем теплопостачання; корозійного фактору - у нашому випадку розчинений кисень. Причому руйнування металу за рахунок окислювання заліза носить стехіометричний характер, тобто 8 г кисню розчиняє 28 г заліза. Відсутність хоча б одного з факторів корозії, практично повністю припиняє цей процес, тому вибір методів боротьби з корозією це, по суті, вибір об'єкту та методів впливу на той чи інший фактор. Навряд чи в осяжному майбутньому знайдеться заміна конструкційного матеріалу та основному теплоносію, але їх властивості можна змінити тим чи іншим методом. Наприклад, розчинений кисень можна видалити термічним або хімічним методом, тобто вибір методів впливу на корозійний фактор досить широкий.

Корозійні процеси мають електрохімічну природу, пов'язану з утворенням гальванічних

елементів [17], з котрих самим дієвим є гальванічний елемент диференційної аерації.

Такий елемент виникає, наприклад, якщо шар відкладень будь-якої природи (будь то накип або корозія) формується у корозійному середовищі (воді), тоді концентрація кисню під цим шаром знижується за рахунок взаємодії кисню з матеріалом трубопроводу і за рахунок цього формується анодна ділянка гальванічного елементу, тобто руйнується металева стінка з утворенням виразки з подальшим поглибленням зони ураження.

Таким чином шар відкладень посилює ступінь корозійних уражень, причому запобігання накоптуванню шляхом пом'якшення води не вирішує проблему корозії, а навпаки посилює її, оскільки швидкість корозії в пом'якшеній воді збільшується [18].

Опираючись на ці постулати, проводився аналіз методів і вибір найбільш дієвих для практичної реалізації.

Використання поверхнево-активних речовин (ПАР) для захисту котельного обладнання та трубопроводів теплових мереж вивчалось у роботах [19-24] та багатьох інших, але цей метод пройшов перевірку в Україні на деяких невеликих котельнях та ділянках ТМ [25], хоча

в інших країнах використання ПАР має місце і поширюється [20,21,23].

Комплексонатний метод водопідготовки набув популярності ще з середини ХХ сторіччя за рахунок простоти застосування та великої ефективності [26]. Існують ряд досліджень, що встановлюють механізм дії комплексонатів при інгибуванні росту кристалів солей лужноземельних металів у водних середовищах [27], які пояснюють дію субстехіометричних концентрацій комплексонатів на інгибування зростання кристалів їх адсорбцією на активних зонах росту кристалу, внаслідок чого розмір кристалів стає таким, що вони утримуються у шарі води за рахунок броунівського руху та прямують з током води до зон, де можуть випасти в осад при коагуляції, або зменшенні швидкості води.

Окрім цього під дією комплексонатів, як і під дією ПАР, на поверхні металу формується захисна плівка, яка складається, в основному з магнетиту з домішками фосфоровмісних сполук [28]. Формування такої плівки характерно для чистої поверхні металу, але в умовах, коли на поверхні металу знаходиться шар відкладень, захисна плівка не може утворитись, замість цього утворюється гальванічний елемент диференційної аерації, в результаті чого і руйнується метал. Тому разом з застосуванням технологій стабілізації води, необхідно видаляти з води розчинений кисень, тобто напрошується комбінована обробка води фосфоровмісними сполуками у суміші з деоксидантами.

У реагентів для стабілізаційної обробки води є "побічний" ефект - руйнування старих відкладень. Цей ефект обумовлюється наявністю у складі подібних складних реагентів деяких сполук, що мають ознаки ПАР. При цьому утворюється шлам, який необхідно виводити з котельного обладнання та трубопроводів ТМ щоб запобігти вторинному заносу котлів та ТМ цим шламом, тобто шлам треба видаляти безперервно по мірі його утворення, для чого необхідна специфічна технологія.

Подібна технологія реалізована у шламовідокремлювачах з автоматичним скиданням шламу і магнітними вставками (СМШ). В них по мірі накопичення шламу під дією його ваги деформується еластична мембрана і відкривається клапан. Шлам скидається в каналізацію, тиск на мембрану припиняється, клапан зачиняється до подальшого накопичення шламу. В середині корпусу на сітці закріплені магнітні вставки, які збирають частинки оксидів заліза, що відмиваються з за-

старілих відкладень і на яких коагулюються частинки мулу, що знаходяться у воді [29].

Формулювання цілей статті. Аналіз роботи СТ КП ЖТКЕ після прийняття та реалізації розробленої на підприємстві програми оптимізації служби підготовки води

Основна частина. Після аналізу даних до розгляду були обрані наступні технології:

- технологія стабілізаційної обробки води реагентами ТОВ "Технохімреагент";

- термічна деаерація;

технологія протикорозійного захисту за допомогою Redox-фільтру, яка перед бачає обробку;

- води Na_2SO_3 на шарі каталізатору, що представляє собою солі Fe, Cu та Co у певній пропорції, нанесених на гранули катіоніту.

Проведений техніко-економічний аналіз (рис. 3) показав, що найбільш вигідною є технологія стабілізаційної обробки води, і тільки при великих витратах води більш вигідною стає технологія за допомогою Redox-фільтру.

На початок робіт з модернізації систем водопідготовки на підприємстві існували котельні з котлами водотрубною схеми ПТВМ-50, КГВМ-50, ТВГ-8М, КВГ-6,5, КБНГ-2,5. На деяких котельнях були встановлені котли з жаровими та димогарними трубами ВК-21. Уся водопідготовка зводилась до пом'якшення води натрій-катіонуванням, термічна деаерація вже була відсутня, окрім однієї котельні з паровими котлами, контроль швидкості корозії був відсутній, досвіду використання інших технологій водопідготовки не було. Але у 2007 році почали відключатись котельні підприємств, які використовувались для опалення житлових масивів, тому що почалась реконструкція центральних теплових пунктів (ЦТП) шляхом встановлення в них газових котлів, причому були вибрані котли комбінованої схеми з водотрубною радіаційною частиною та конвективною частиною з димогарними трубами. Габарити ЦТП не дозволяли встановити натрій-катіонні фільтри, тому була обрана технологія стабілізаційної обробки води сумішшю фосфоровмісних сполук та каталізованого сульфату натрію без пом'якшення води. Оскільки нові котли встановлювались на старі теплові мережі, необхідно було їх захистити від вторинного заносу шламом, через що на трубопроводі перед мережевими насосами було встановлено шламовідокремлювач типу СМШ. Після року експлуатації котли та шламовідокремлювач було відкрито та оглянуто (Рис. 4,5).

Результати огляду підтвердили правильність вибору технології, оскільки відкладень та ознак корозії на металевих поверхнях не вия-

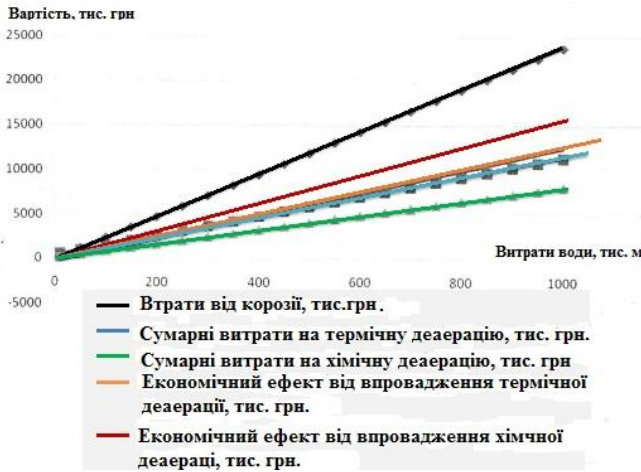


Рис 3. Економічне порівняння методів деаерації води



Рис. 4. Водна сторона димогарних труб конвективної частини котла ВК-32 (КСВа-2,5) після року роботи на «сирій» воді з реагентною обробкою



Рис. 5. Внутрішня частина мережного магнітного шламовідокремлювача СМШ-250 після року роботи на «сирій» воді з реагентною обробкою

влено, труби вкриті суцільним шаром захисної плівки магнетиту, сітка і корпус СМШ вільні від відкладень, на магнітах є шар феромагнітних часток та мулу, який легко змивається струменем води.

Внаслідок фінансово-економічних труднощів, які не дозволили закуповувати досить дорогі

шламовідокремлювачі для районних котельень, оснащених котлами водотрубного типу, була впроваджена технологія пом'якшення води з протикорозійним захистом за допомогою Redox-фільтру. Принцип дії Redox-фільтру заснований на видаленні розчиненого у воді кисню за рахунок взаємодії останнього з розчином сульфїту натрію на поверхні катіоніту, на яку нанесено каталізатор у вигляді сполук заліза [30]. Ці установки були розроблені і виконані власними зусиллями підприємства (рис. 6), для котельень з котлами з жаровими та димогарними трубами була прийнята технологія реагентної обробки води без пом'якшення. Спроба виявилась невдалою, бо через п'ять років експлуатації з'явилися віддулини на верх-

ній та нижній частині жарової труби (рис. 7,8). Аналіз літературних даних відносно цього явища [31] показав, що циркуляція води у котлах з жаровими та димогарними трубами має особливість. Вона проходить таким чином, що в верхній та нижній частині жарової труби виникають зони малої швидкості циркуляційних потоків, внаслідок чого у цих зонах стрімко росте температура води, хімічні процеси накопчування прискорюються, виникають накипні відкладення, це, в свою чергу, призводить до перегріву металеві поверхні, виникненню віддулини та прогару.

З самого початку впровадження технологій, пов'язаних з реагентною обробкою води, було взято курс на повну автоматизацію процесу.

Це було досягнуто застосуванням автоматичних програмованих клапанів для перемикання потоків води при роботі катіонітних фільтрів та Redox-фільтрів; використанням лічильників води з імпульсним сигналом через певний об'єм води, що проходить через лічильник; застосуванням мембранних насосів-дозаторів з електромагнітним приводом, що дозволяють управляти потоками реагентів; а також розробленого пристрою комутації сигналу для управління кількома насосами-дозаторами від одного водяного лічильника. Застосування мембранного регулятора тиску "після себе" дозволило впровадити частотне управління насосами для підживлення теплової мережі та реалізувати незалежне функціонування установок реагентної обробки води в період регенерації та експлуатації. Таким чином була досягнута повна автономна робота установок водопідготовки, контроль за роботою яких було покладено на апаратників водопідготовки, що пройшли відповідне навчання та практичне стажування.

Для контролю результатів боротьби з коро-

зією та відкладеннями впроваджені гравіметричні датчики корозії власної конструкції, які встановлюються на трубопроводах теплової мережі (Рис. 9) з можливістю їх контролю у



Рис. 6. Установа хімічної дегазації води Redox-KM



-Рис. 7. Котел Rielo RTQ-953 з зоною перегріву на верхній частині жарової труби



Рис. 8. Котел Rielo RTQ-953 з зоною перегріву, підготовленою до ремонту. Чітко видно відкладення шламу

будь-який час в лабораторних умовах.

Перший досвід роботи котелень з модернізованими системами водопідготовки показав, що проблеми переходу на нові технології потрібно вирішувати у комплексі. Наприклад, застосування фосфонатів для обробки води призводить до очищення трубопроводів теплових мереж від шару відкладень, що, у свою чергу, приводить до появи отворів у стінках труб, які раніше маскувались цим шаром відкладень. Це тягне за собою збільшення витрат води, необхідність додаткових ремонтів, тощо. Тому впровадження нових технологій проводилось поступово з урахуванням стану котельного обладнання, трубопроводів теплових мереж, підготовки персоналу. Але виникла проблема порівняння ефективності роботи котелень з різними способами водопідготовки.

Так з'явилась ідея умовно розбити усі котельні на групи за технологією водопідготовки та підрахувати усі витрати ресурсів на 1 Гкал тепла, що виробляє котельня.

Такі питомі витрати легко звести у таблицю та порівняти між собою. Робота виявилась клопіткою, об'єм таблиці досить великий. Як приклад, можна навести вибірку з загальної таблиці (Табл. 2).

Розрахунки за даними таблиці дають уявлення про технічну собівартість 1 Гкал тепла, що виробляють котельні, а також можна зробити детальний аналіз складових собівартості та знайти резерви її зниження.

Для аналізу технічного стану трубопроводів ТМ та ефективності захисних заходів, хімічною службою провадиться контроль та систематизація поривів труб. На кожен розкопку ТМ виїжджає представник виробничої хімічної служби, який фіксує пошкодження трубопроводу, робить фотографію місця пориву, встановлює, при можливості, причину ушкодження. Усі дані заносяться в базу даних для подальшої обробки та статистичного аналізу (Рис. 10).

Використання сумішей реагентів, спеціально підібраних для комплексної обробки води та стабільність їх складу, дозволили спростити хімічний аналіз для контролю водопідготовки, і зараз він зводиться до вимірювання жорсткості води та залишкової концентрації сульфату натрію. Контроль процесу водопідготовки вимагає незначних витрат часу, обладнання та доступний як апаратникам хімоводопідготовки, так і співробітникам виробничої хімслужби, на яких покладено обов'язки контролювання процесів водо підготовки. Треба відмітити, що цей метод має деякий негативний фактор – появу

Технічна собівартість Гкал теплової енергії по КП ЖКТЕ в сезоні 2018-2019 рр.

Технічна собівартість Гкал теплової енергії по КП ЖКТЕ в сезоні 2018-2019 рр.								
№	Адреса котельні	Об'єм системи, м ³	Вироблено теплоти, Гкал	Фактичні показники				
				Споживання палива			ККД роботи котельні (брутто), %	Вартість, грн/Гкал (середнє значення)
				нм ³	кг у.п.	кг у.п./Гкал		
Котельні з натрій-каціонуванням і хімічною деаерацією								
1	РК-1	547,17	19188,77	2487001	2923228,57	152,34	93,77	903,13
Котельні з комплексною обробкою води (хімічна деаерація+комплексонатна обробка)								
2	РК-9	224,47	13340,44	1698564	1996594,08	149,66	95,45	887,22
Котельні з натрій-каціонуванням								
3	пр. Каретний, 4	106,53	5777,47	814146	956939,53	165,63	86,25	981,94

продовження таблиці 2

Технічна собівартість Гкал теплової енергії по КП ЖКТЕ в сезоні 2018-2019 рр.									
№	Фактичні показники								
	Витрати води			Витрати реагентів та матеріалів					
	Загальна, м ³	Питома, м ³ /Гкал	Вартість, грн/Гкал	Сіль			Витех 30		
Загальна, кг				Питома, кг/Гкал	Вартість, грн/Гкал	Загальна, кг	Питома, кг/Гкал	Вартість, грн/Гкал	
Котельні з натрій-каціонуванням і хімічною деаерацією									
1	4098	0,216	1,37	1140	0,059	152,34	530,5	0,028	0,53
Котельні з комплексною обробкою води (хімічна деаерація+комплексонатна обробка)									
2	1799	0,135	0,86	600	0,0449	149,66	195	0,015	0,28
Котельні з натрій-каціонуванням									
3	612	0,106	0,68	150	0,026	165,63	-	-	-

продовження таблиці 2

№	Фактичні показники							Сума, грн/Гкал
	Витрати реагентів та матеріалів			Електроенергія				
	Витех 58			Загальна, кВт	Питома, кВт/Гкал	Вартість, грн/Гкал		
Загальна, кг	Питома, кг/Гкал	Вартість, грн/Гкал						
Котельні з натрій-каціонуванням і хімічною деаерацією								
1	-	-	-	676360	35,24	90,38	995,54	
Котельні з комплексною обробкою води (хімічна деаерація+комплексонатна обробка)								
2	13,9	0,001	0,08	398980	29,9	76,68	965,23	
Котельні з натрій-каціонуванням								
3	-	-	-	168333	29,13	74,70	1057,38	

анаеробних сульфатредуючих бактерій, що вимагає розробки і використання спеціальних заходів для боротьби з ними

Якщо на початку застосування нових технологій водопідготовки останні впроваджувались тільки на котельнях нових, або при реконструкції існуючих, то при накопиченні досвіду експлуатації нових систем водопідготовки почалось їх впровадження на інших котельнях, які мали достатньо високу потужність та досить великий об'єм теплових мереж. Тим більше, що аналіз результатів впровадження нових технологій водопідготовки показав їх велику економічну ефективність.

Так, заміна труб теплових мереж має тенденцію до зменшення, хоч коливається, що можна пояснити більше нестабільністю фінансування ремонтних робіт, але все таки таку тенденцію ми б не отримали, якби мали прогресуючі uszkodження від корозії (Рис. 11).

Основним показником ефективності системи захисту від корозії та накипоутворення є загальні та питомі витрати води для підживлення теплових мереж (рис. 12,13). Так, загальні витрати води з 2007 по 2021 рік знизилась з 647,6 тис. м³ до 67,8 тис. м³ за сезон, або в 9,6 раз.

У 2014 році загальні витрати води вперше стали меншими від норми і ця тенденція зберігається до цих пір. На нагрів 1 м³ води для підживлення теплової мережі витрачається на 6-7 м³ газу більше, ніж на підігрів води в теплової мережі, тобто зниження витрат води дає пряму економію газу, наприклад, у 2021 році це складає 334 тис. м³ газу.

Оскільки на багатьох котельнях підприємства зберігаються технології пом'якшення води, які потребують витрат солі для регенерації натрій-каціонітних фільтрів, зменшення витрат води

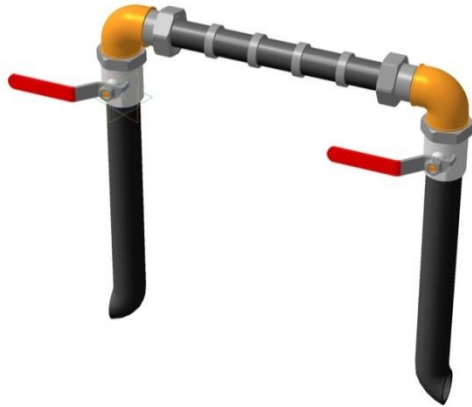


Рис. 9. Датчик корозії, встановлений на трубопроводі теплової мережі

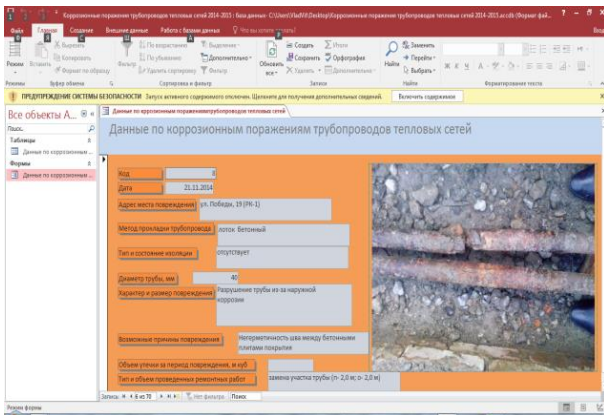


Рис. 10. Скріншот бази даних Access "Корозійні ушкодження трубопроводів теплових мереж"

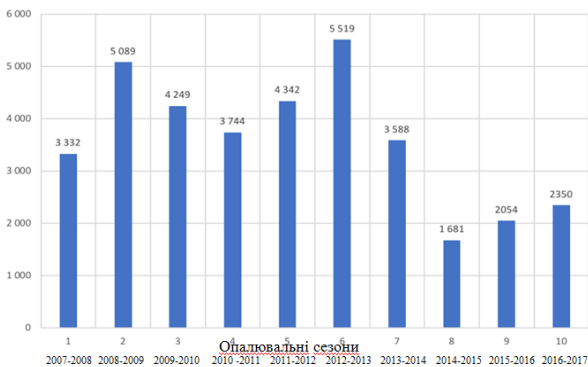


Рис. 11. Заміна труб, м теплових мереж КП ЖТКЕ ЖМР у 2007-2017 рр.

обов'язково тягне за собою зменшення кількості солі (рис. 14). Як тільки визначився економічний ефект процесів водопідготовки, була проведена заміна застарілого катіоніту - сульфовугілля на синтетичні катіоніти типу КУ-2-8 та їх закордонні аналоги, що дало змогу підвищити ефективність водопідготовки, тобто скоротити витрати води на технологічні потреби установок натрій-катіонування та підвищити якість пом'якшення.

Очищення трубопроводів теплових мереж від відкладень знижує гідравлічний опір трубопроводів, що призводить до зниження питомих витрат електроенергії для транспортування тепла до споживачів (рис. 16) та основного енергоресурсу - газу. Питомі витрати газу на 1 Гкал теплоти, що виробляється, знизились з 140,25 до 134,40 м³, що складає 4,17 % економії газу (рис. 17).

Питома витрата на реагенти для водопідготовки у 2020 році сягала 1,51 грн./Гкал, при середній технічній собівартості тепла у тому ж 2020 році 684,88 грн./Гкал, що дає витрати на реагентну обробку води 0,22 % від технічної собівартості тепла. Об'єктивною оцінкою впроваджених заходів може бути оцінка швидкості корозії, яка проводилась на теплових мережах підприємства, починаючи з 2010 року. Масштаби контролю швидкості корозії досить невеликі з різних причин, але навіть такі дані (табл. 3) показують, що при застосуванні нових технологій обробки води, швидкість корозії значно нижче, ніж при традиційному натрій-катіонуванні.

Зовнішній вигляд датчиків після витримки у воді ТМ представлений на рис. 18. Дані таблиці та спостереження корозійної дії води в умовах діючого підприємства показують, що швидкість корозії сильно зменшується навіть при мінімальній обробці води деоксидантами. Нові технології водопідготовки впроваджуються вже протягом 14 років. За цей час набуто досвіду експлуатації котельень з цими технологіями підготовки води. Головне - розроблена та працює система захисту від корозії та накипотворення, що розповсюджується на всі ланки роботи підприємства, починаючи від проектування нових котельень та реконструкції існуючих, а також експлуатації котельень. Результати роботи котлів та трубопроводів ТМ при застосуванні води без пом'якшення, а тільки з реагентною обробкою впродовж 14 років представлені на рис. 19. ТМ при застосуванні води без пом'якшення, а тільки з реагентною обробкою впродовж 14 років представлені на рис. 19,20.

Таблиця 3

Швидкість корозії трубопроводів теплових мереж в опалювальному сезоні 2020 - 2021 рр. КП ЖТКЕ ЖМР

Найменування котельні	Технологія водопідготовки	Швидкість корозії, мм/рік	Оцінка швидкості корозії за [30]
Районна котельня РК-4	Натрій-катіонування + хімічна деаерація	0,015	Практично відсутня
Квартальна котельня вул. Рильського, 5	Натрій-катіонування + хімічна деаерація	0,025	Низька (2)
Квартальна котельня вул. Шевченка, 105	Натрій-катіонування + хімічна деаерація	0,009	Практично відсутня
Квартальна котельня провул. Львівський, 8	Натрій-катіонування	0,066	Висока (4)
Квартальна котельня вул. Небесної Сотні, 48	Стабілізаційна обробка "сирої" води	0,002	Практично відсутня
Районна котельня РК-4	Натрій-катіонування + хімічна деаерація	0,015	Практично відсутня

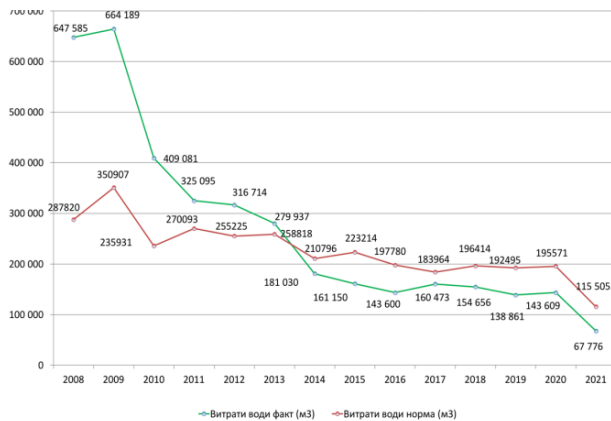


Рис. 12. Загальні витрати води для підживлення теплових мереж КП ЖТКЕ ЖМР у 2008-2021 рр.

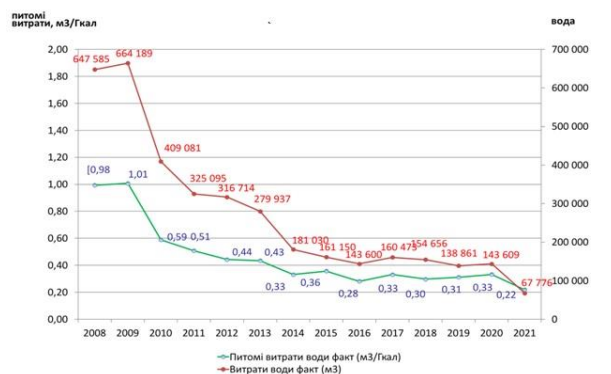


Рис. 13. Питомі витрати води для підживлення теплових мереж КП ЖТКЕ ЖМР у 2008-2021 рр.

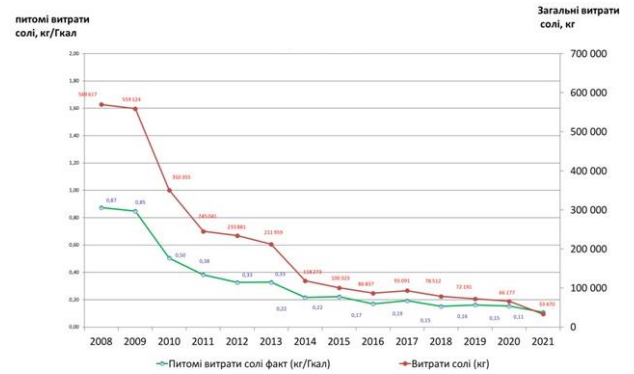


Рис. 14. Питомі витрати солі для регенерації натрій-катіонітових фільтрів КП ЖТКЕ ЖМР у 2008-2021 рр.

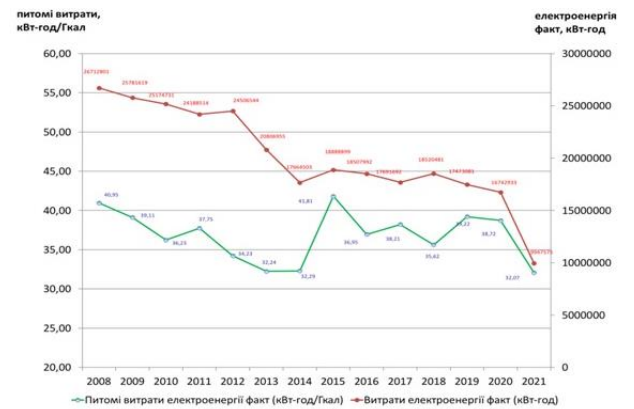


Рис. 16. Питомі витрати електроенергії на транспортування тепла ЖТКЕ ЖМР у 2008-2021 рр.

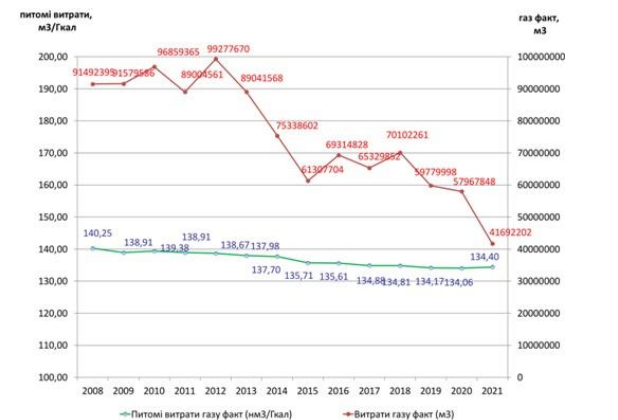


Рис. 17. Питомі витрати газу на вироблення 1 Гкал тепла ЖТКЕ ЖМР у 2008-2021 рр.



Рис. 18. Зовнішній вигляд датчиків корозії

Роботи з удосконалення процесів підготов-

ки води і обладнання для їх реалізації в КП ЖТКЕ продовжуються. Останні роки вони ведуться в співдружності з кафедрою теплотехніки Київського національного університету будівництва та архітектури. Такі сумісні дослідження привели до удосконалення конструкції шламовідокремлювача в частині оптимізації форми магнітних вставок [32].

Сумісними зусиллями на базі лабораторних досліджень формулюються теоретичні засади захисної дії поверхнево-активних речовин від корозії та накипоутворення і технології їх використання [33-35].

Висновки. Хід реалізації розробленої на підприємстві програми оптимізації служби підготовки води показав, що роботи в цьому напрямку підвищують надійність експлуатації систем централізованого тепlopостачання та приносять вагомі фінансові вигоди за рахунок зниження споживання енергоносіїв та матеріальних ресурсів.

Досвід реалізації програми показав також, що для найбільш ефективної реорганізації служби в умовах діючого підприємства необхідна розробка та впровадження системи протидії корозії та утворенню відкладень на всіх рівнях роботи підприємства та у всіх елементах системи тепlopостачання, починаючи з котельні.

Для ефективної експлуатації та контролю результатів захисту потрібна реорганізація виробничої хімічної служби. Технологія реагентної обробки води СЦТ, що була розроблена та впроваджена в умовах Комунального підприємства "Житомиртеплокомуненерго" ЖМР з врахуванням місцевих особливостей (склад води, економічні умови, організаційні заходи), довела свою надійність та ефективність. Реагентна обробка є економічно вигідною у порівнянні з традиційними методами і може або повністю їх замінювати, або частково у комбінації з традиційними, але потребує індивідуального підходу при розробці та впровадженні в залежності від умов експлуатації систем централізованого тепlopостачання.

Реагенти, необхідні для оброблення води, виробляються в Україні. Обладнання для проведення робіт з підготовки води можливо розробляти, компонувати та налагоджувати власними силами підприємства.

Для поширення позитивного досвіду ЖКТЕ на аналогічних підприємствах інших міст необхідна розробка рекомендацій для впровадження нових технологій водо підготов-



Рис. 19. Котел ВК-32 (КСВа-2,5), який пропрацював 14 років на воді без пом'якшення з реагентною обробкою



Рис. 20. Шламовідокремлювач СМШ-250, який пропрацював 14 років на воді без пом'якшення з реагентною обробкою

ки водопідготовки та їх інформаційного супроводження

Перспективи подальших досліджень. Очевидні досягнуті успіхи тим не менше не є свідомством завершеності робіт. Наразі йдуть роботи з оптимізації конструкцій шламовідокремлювача з магнітними вставками та установок водопідготовки і, головне, продовжуються дослідження в рамках просування технології застосування поверхнево-активних речовин в підготовці води для СЦТ.

Окрім цього, потребує розв'язання проблема підвищення експлуатаційної надійності теплообмінного обладнання теплових пунктів. Крім того, прогнозований початок застосування теплоутилізаторів на водогрійних котлах, що знаходяться в експлуатації, у конденсаційних або у частково конденсаційних режимах, також принесе з собою ряд проблем з нейтралізацією конденсату та його повернення в систему тепlopостачання. Кінцевим результатом бачиться підвищення надійності виробництва, екологічності та зменшення собівартості тепла для систем централізованого тепlopостачання.

Література

1. «Distring heating and 4DH in Central and Eastern Europe» 4th International conference on Smart Energy Systems and 4th generation district heating
2. Презентація: Оптимізація використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом впровадження Програми комплексної модернізації системи теплопостачання КП «Житомиртеплокомуненерго» Житомирської міської ради. Житомир 2015 р.
3. Технический отчет о проведении диагностических измерений магистральных трубопроводов Арендного предприятия тепловых сетей «Житомиртеплокомуненерго» Книга 1 Тепловой район котельной №4. Днепропетровск 2008.
4. Технический отчет о проведении диагностических измерений магистральных трубопроводов Арендного предприятия тепловых сетей «Житомиртеплокомуненерго» Книга 2 Тепловой район котельной №1. Днепропетровск 2008.
5. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171)
6. <https://vodokanal.zt.ua>.
7. Langelier, W.F. (1936) The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. AWWA, 28, 1500.
8. Юрчевский Е.Б., Первов А.Г. Экономические аспекты применения обратноосмотической и ультрафильтрационной технологии в энергетике. //Энергосбережение и водоподготовка. 2004. -№3.- С. 17–20.
9. Верхошенцева Н.Н., Давлетшина Г.И. Опыт эксплуатации установок обратного осмоса в системах водоподготовки энергетических и металлургических объектов ОАО «ММК»// Энергосбережение и водоподготовка. - 2006.- №5.- С. 25– 27.
10. Иванов М. Ультразвук в водоснабжении и водоподготовке. //Аква-терм. -2006. - №6.- С. 36–38.
11. Серебряков В.А. Неожиданные результаты использования протинакипного устройства.// Энергосбережение. -2005. - №10.- С. 12–14.
12. Стюартов М.Ю. Современные методы безреагентной водоподготовки в защите от накипи и коррозии. // Водоподготовка. -2006. - №9.- С. 40–42.
13. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978 . -232 с.
14. Епштейн С.Й., Орлов А.М., Пуль В.М. Аналіз деяких чинників, які впливають на ефективність магнітної протинакипної обробки води.//Нова тема.- 2006.- №3. - С. 17 - 62.
15. Тебенихин С.Б., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. М.: Энергия, 1970. – 144 с.
16. Мосин О. В. Магнитная обработка воды в теплоэнергетике / О. В. Мосин. // Вода і водоочисні технології. – 2013. – №1. – С. 12–26.
17. Улиг Г. Г., Ревы Р. У.: Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку. Пер. с англ. Ленинград: Химия: 1989. - 456 с.
18. Балабан-Ирменин, Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Балабан-Ирменин Ю. В., Липовских В. М., Рубашов А. М. – М. : Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.
19. Вітковський В., Гламаздин П., Габа К. Перспективи розвитку нових методів підготовки води для систем централізованого теплопостачання // Науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки». – 2016. – Вип. 27. – С. 55-62.
20. Рыженков В.А. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на гидравлическое сопротивление трубопроводов систем теплоснабжения и разработка способа снижения энергозатрат при транспортировке теплоносителя : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Рыженков А. В. – Москва, 2008.
21. Лукін М.В. Повышение эффективности эксплуатации систем теплоснабжения на основе модификации теплообменных поверхностей с использованием поверхностно-активных веществ :автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук, М.: МЭИ, 2008.
22. Янатьева А. К.. О влиянии ПАВ на процесс образования накипи / А. К. Янатьева, В. Г. ОрловаК. А. Клеваичук // Журнал прикладной химии. – 1976. – №9. – С. 1911–1914.
23. Рыженков В.А., Лукин, С. И. Погорелов, А. В. Куршаков. Результаты работ по повышению эффективности систем централизованного теплоснабжения на основе ПАВ-технологии за 2003-2013 гг. // Надежность и безопасность энергетики. – 2014. – №25. – С. 28–40.
24. Габа К. О. Підвищення ефективності систем теплопостачання модифікацією теплоносія. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Київ, 2016.
25. Гламаздин П.М., Цыкал К.О. Повышение эффективности работы систем теплоснабжения с использованием ПАВ-технологии. Материалы IX міжнародної науково-практичної конференції «Муніципальна енергетика. Проблеми, рішення», Миколаїв, НУК, 2011, с. 82-86.
26. Дятлова Н. М., Тёмкина В. Я., Попов К. И. Комплексоны и комплексонаты металлов. — М.: Химия, 1988. 544 с.
27. Чаусов Ф. Ф. Ингибирование роста кристаллов солей щелочноземельных металлов в водных растворах.

Теория и технические приложения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Ижевск, 2005.

28. Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии. М.: Химия, 1977 - 284 с.

29. НИПИ «Водоочисные технологии». Сетевые магнитные шламоотделители серии СМШ^{ИВТ}. Паспорт и инструкция по эксплуатации. г.Северодонецк, 2020.

30. Поржезинський Ю. Г. Основи проектування водопідготовки ТЕЦ і котельнь харчових підприємств., К.: НУХТ, 2008.

31. Хаустов С. А., Хаустов П. А., Максимова Е. И. Компьютерное моделирование гидродинамики жаротрубного котла с использованием конечно-элементного анализа. Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6.

32. Гламаздин П., Давиденко Е., Вітковський В. Перспективи використання магнітних вставок в шламовловлювачах // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2018, №4, с.

33. Гламаздин П.М., Габа К.О., Вітковський В.С. Перспективи розвитку нових методів підготовки води для систем централізованого теплопостачання // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Вип.27, 2016, с. 55-62.

34. Гламаздин П.М., Давиденко Е.П., Вітковський В.С. Механізм дії деяких поверхнево-активних речовин в мережній воді систем централізованого теплопостачання // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Вип.26, 2018, с. 39-43.

35. Гламаздин П.М., Габа К.О., Давиденко Е.П., Вітковський В.С. Перспективи використання поверхнево-активних речовин в технології підготовки води для систем централізованого теплопостачання // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2018, випуск 9, с. 53-57.

References

1. «Distring heating and 4DH in Central and Eastern Europe» 4th International conference on Smart Energy Systems and 4th generation district heating/

2. Prezentatsiya: Optimizatsiya vikoristannya palivno-energetichnih resursiv shlyzhom vprovadzhenya Programu kompleksnoyi modernizatsiyi systemu teplopостachannya KP «Zhutomurteplokomunenergo» Zhutomurskoyi miskoyi radu/ Zhutomur, 2015 r.

3. Tehnicheskyy otchet o providenii diagnosticheskikh izmereniy magisralnih teplovuh setey KP «Zhutomurteplokomunenergo». Kniga 1 «Teplovoy rayon kotelnoy №4». Dnepropetrovsk, 2008 g.

4. Tehnicheskyy otchet o providenii diagnosticheskikh izmereniy magisralnih truboprovodov Arendnogo predpriyatiya teplovuh setey «Zhutomurteplokomunenergo». Kniga 2 «Teplovoy rayon kotelnoy №1». Dnepropetrovsk, 2008 g.

5. Gigienichni vumogu do putnoyi vodu, pryznachenoї dlya spozhivannya lyudunoyu (DsanPiN 2.2.4-171)

6. <https://vodokanal.zt.ua>.

7. Langelier, W.F. (1936) The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. AWWA, 28, 1500.

8. Yurchevskiy E.B., Pervov A.G. Ekonomacheskyye aspektu primineniya obratnoosmoticheskoy i ultrafiltratsionnoy tehnologii v energetike. //Energoberegeniye i vodopodgotovka. 2004. -№3.- S. 17–20.

9. Verhoshcentseva N.N., Davletshcuna G.I. Oput ekspluatatsii ustanovok obratnogo osmosa v sistemsh vodopodgotovok energeticheskikh I metalurgicheskikh obyektoy OAO «ММК». //Energoberegeniye i vodopodgotovka. 2006. -№5.- S. 25–27.

10. Ivanov M. Ultrazvuk v vodosnabzhenii I vodopodgotovke. //Akva-term. -2006. - №6.- S. 36–38.

11. Serebryakov V.A. Neozhidannue rezultati ispolzovaniya protinakipnogo ustroystva. //Energoberegeniye. 2005. -№10.- S. 12–14.

12. Stuyartov M.Y. Sovremennuyе методu bezreagentnoy vodopodgotovki v zaschite ot nakipi i korozii. // Vodopodgotovka. -2006. - №9.- S. 40–42.

13. Klassen V.I. Omagnichivaniye vodnuh sistem. M.: Himiya, 1978 . -232 s.

14. Epshtein S.Y., Orlov A.M., Pul V.M. Analiz deyakih chunnukiv, yaki vplivayut na effektivnist magnitnoyi protunakupnoyi obrobku vodu. //Nova tema.- 2006.- №3. - S. 17 - 62.

15. Tebenichin Y.B., Gusyuv B.T. Obrabotka vodu magnitnum polem v teploenergetike. M.: Energiya, 1970. – 144 s.

16. Mosin O.V. Magnitnaya obrabotka vodu v teploenergetike. // Voda I vodoochisnie tehnologii.– 2013. – №1. – S. 12–26.

17. Ulig G.G., Revi R.U. Korosiya I borba s ney. Vvedeniye v korrozoinnuyu nauku. Per. s angl. Leningrad: Himiya: 1989. - 456 s.

18. Balaban-Irminin Y.V., Lipovskih V.M., Rubaschov A.M. Zashchita ot vnutrenney korozii truboprovodov vodyznuh setey/ M. : Energoatomizdat, 1999. – 248 s.

19. Vitkovskiy V., Glamazdin P., Gaba K. Perspektivu rozvutku novuh metodiv pidgotovku vodu dlyz sistem tsentralizovanogo teplopостachannya // Naukovo-tehnichnyy zbirnik «Problemu vodopostachannya, vodovidvedennya ta gidravliku». – 2016. – Vup. 27. – S. 55-62.

20. Ruzhenkov V.A. Issledovaniye vliyaniya poverhnostno-aktivnykh veshchestv na gidravlichesкое soprotivleniye truboprovodov sistem teplosnabzheniya i razrabotka sposoba snizheniya energozatrat pri transportirovke teplonositelya: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk / Ruzhenkov A. V. – Moskva, 2008.
21. Lukin M.V. Povuscheniye effektivnosti ekspluatatsui sistem teplosnabzheniya na osnove modifikatsui teploobmennuykh poverhnostey s ispolzovaniem poverhnostno-aktivnykh veshchestv: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk / Lukin M.V. – Moskva, 2008.
22. Yanatyueva A.K. O vliyaniy PAV na protses obrazovaniya nakipi // Zhurnal prikladnoy khimii. – 1976. – №9. – S. 1911–1914.
23. Ruzhenkov A.V., Lukin M.V., Pogorelov S.I., Kurschakov A.V. Rezultatu rabot po povuscheniyu effektivnosti sistem tsentralizovanogo teplosnabzheniya na osnove PAV-tehnologii za 2003-2013 g. // Nadezhnost i bezopasnost energetiki. – 2014. – №25. – S. 28–40.
24. Gaba K.O. Pidvuschennyya effektivnosti sistem teplopostachannya modifikatsiyeyu teplonociya/ didertastiya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tehnichnykh nauk. Kuyiv, 2016.
25. Glamazdin P.M., Tsykal K.O. Povuscheniye effektivnosti rabotu system teplosnabzheniya s ispolzovaniem PAV-tehnologii. Materialu IX mazznarodnoy naukovy-praktichnoy konferentsii «Munitsupalna energetika. Problemu, rischennyya», Mukolayiv, NUK, 2011, s. 82-86.
26. Dyatlova N.M., Tyemkina V.Y., Popov K.I. Kompleksonu I kompleksonatu metalov. — M.: Himiya, 1988. 544s.
27. Chausov F.F. Ingibirovaniye rosta kristalov soley schelochnozemelnykh metalov v vodnykh rastvorah. Teoriya I tehnicheskiye polozheniya. Disertatsuya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata himicheskikh nauk. Izhevsk, 2005.
28. Rozenfold I.L. Ingibitoru korozii. M: Химия, 1977 - 284 s.
29. NIPI «Vopoochisnye tehnologii». Setevue magnitnye schlamoodeliteli serii SMSH IVT. Pasport i instruktziya po ekspluatatsii. g. Severodonetsk, 2020.
30. Porzhezunskiy Y.G. Osnovu proektuvannya vodopidgotovku TETS I kotelen harchovuykh pidpruyemstv. K: NUHT, 2008.
31. Haustov S.A., Haustov P.A., Maksimova E.I. Kompyutornoe modelirovaniye gidrodinamiki zharotrubnogo kotla s ispolzovaniem konechno-elementnogo analiza. // Sovremennyye problem nauki I obrafovaniya. - 2014. - № 6.
32. Glamazdin P.M., Davidenko E.M., Vitkovskiy V.V. Perspektivu vukorustannya magnitnykh vstavok v schlamoovlovyuvshah // Energoeffektivnist v budivnutstvi ta arhitekturi. – 2018, №4, c
33. Glamazdin P.M., Gaba K.O., Vitkovskiy V.V. Perspektivu rozvutku novuykh metodiv pidgotovku vodu dlya sistem tsentralizovanogo teplopostachannya // Ventulyatsiya, osviltleniya ta teplogazopostachannya. – 2016, Vup.27, s. 55 -62.
34. Glamazdin P.M., Davidenko E.M., Vitkovskiy V.V. Mehanizm diyi poverhnevo-aktivnykh rehovun v merezhniy vodi sistem tsentralizovanogo teplopostachannya. // Ventulyatsiya, osviltleniya ta teplogazopostachannya. – 2018, Vup. 28, s. 39 -43.
35. Glamazdin P.M., Gaba K.O., Davidenko E.M., Vitkovskiy V.V. Perspektivu vukorustannya poverhnevo-aktivnykh rehovun v tehnologii pidgotovku vodu dlya sistem tsentralizovanogo teplopostachannya.// Energoeffektivnist v budivnutstvi ta arhitekturi. – 2018, Vup. 9, s. 53-57.

UDC 697.34:536.24

Experimental research of electrical characteristics combined solar-electric air heater

P.Glamazdin¹, V. Vitkovskiy², D. Rogozhin³, M. Karpyuk⁴, K. Haba⁵

¹ associate professor KNUCA, Kyiv, sib.kiev@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2611-2687

² ingineer Municipal company «Zhutomurteplokomunenergo», Zhutomur, Ukraine, vladvit1@gmail.com

³ director Municipal company «Zhutomurteplokomunenergo», Zhutomur, Ukraine, kancztke@gmail.com

⁴ ingineer Municipal company «Zhutomurteplokomunenergo», Zhutomur, Ukraine, kancztke@gmail.com

⁵ PhD., associate professor KNUCA, Kyiv, Ukraine, kristinachibra@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2201-1408

Abstract. Poor water quality in district heating systems leads to failure of boilers and pipelines in heating networks. The main reason for this is corrosion and scale deposits. The presence of these factors shows the low efficiency of water treatment systems. The article presents the results of the introduction of non-traditional water treatment technologies for district heating systems based on the experience of the Zhytomyrteplokomunenergo utility company of the Zhytomyr City Council in 2007-2021. In the boiler houses of the enterprise, water treatment systems were modernized, and the production chemical service was reorganized. In particular, chemical deaeration was launched in combination with traditional sodium cationization, as well as chemical deaeration in combination with complexonate water treatment against the classical water treatment technology - ion exchange. Installed magnetic sludge separators with magnetic inserts. The technology of water softening with anti-corrosion protection using Redox filters has been introduced. Gravimetric corrosion sensors of our own

design have been developed and installed. The database of processing and statistical analysis Access "Corrosion damage of pipelines of heat networks" was created and put into operation. The experience of modernizing the water treatment system has shown that work in this direction increases the reliability of operation of district heating systems by reducing the consumption of energy carriers and material resources. In addition, the problem of improving the operational reliability of the heat exchange equipment of thermal stations needs to be solved. The projected start of the use of heat recovery devices on water heating boilers in operation, in condensation or partially condensation modes, will also bring with it a number of problems with the neutralization of condensate and its return to the heat supply system. The end result is an increase in production reliability, environmental friendliness and a reduction in the cost of heat for district heating systems.

Keywords: water treatment, stabilization treatment, energy saving

Наукове видання

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 43

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

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

Підписано до друку 27.12.2022. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 7,44. обл. вид. арк. 7,91.

