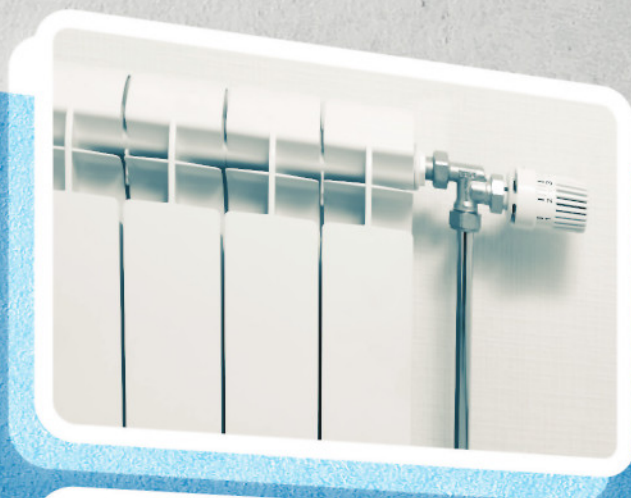


# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

Випуск 24



Київ 2018

**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 24**

**Kyiv 2018**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет  
будівництва і архітектури

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

*заснований у 2001 році*

ВИПУСК 24

Київ 2018

УДК 697

ISSN 2409-2606

B29

**Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання:** науково-технічний збірник. – Вип. 23 / відповідальний редактор Е. С. Малкін. – Київ: КНУБА, 2018. – 60 с.

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

**Редакційна колегія:** докт. техн. наук, професор Е. С. Малкін (відповідальний редактор); канд. техн. наук, професор В. Б. Довгалюк (заступник відповідального редактора); канд. техн. наук, доцент В. О. Мілейковський (відповідальний секретар); докт. техн. наук, професор О. В. Приймак; докт. техн. наук, професор В. П. Корбут; докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України О. Л. Підгорний; докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України В. М. Михайленко; канд. техн. наук, професор В. В. Трофімович; докт. техн. наук, професор Г. Собчук (Польща); доктор наук, професор А. Рогожа (Литва); доктор Г. Глінцерер (Австрія).

Рекомендовано до випуску Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 27 квітня 2018 року, протокол № 12.

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

В. П. Корбут, С. Г. Рибачов <i>Дослідження дворівневого повітряно-струминного огородження відкритої поверхні великорозмірних ванн</i> .....	5
О. П. Любарець <i>Розрахункові параметри охолоджувального періоду в Україні</i> .....	11
Е. І. Дмитроченкова <i>Алгоритм визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв при проведенні порівняльного аналізу варіантів когенераційних установок</i> .....	17
О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко <i>Експериментальні дослідження осушення повітря з використанням синтетичних напівпроникних мембран в системах кондиціонування повітря</i> .....	24
В. О. Єгорченков <i>Оцінка ефективності середовища будівель щодо впливу на людину за кількома параметрами на основі точкового числення</i> .....	32
И. А. Редько, А. А. Редько, А. В. Приймак, Н. Г. Ланцберг <i>Параметры тепловой сети при пониженном температурном графике</i> .....	42
Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний, О. Ю. Материнська <i>Термомодернізація теплопровідних включень вузлів примикання при встановленні енергоощадних вікон</i> .....	52
<i>Гурток юних гідравліків-аеродинаміків</i> .....	59

Спонсор видання – компанія ВЕНТС



## CONTENTS

V. Korbut, S. Rybachov <i>Investigation of Two-Level Air-Jet Fencing of Open Surface of Large-Sized Industrial Baths (in Ukrainian)</i> .....	5
O. Liubarets <i>Calculation Parameters for Cooling Period in Ukraine (in Ukrainian)</i> .....	11
E. Dmytrochenkova <i>Algorithm for Determining the Weight Coefficients of Local Criteria for Comparative Analysis of Several Options of Cogeneration Plants (in Ukrainian)</i> .....	17
O. Zadoianni, Y. Yevdokymenko <i>Experimental Studies of Air Dehumidification Using Synthetic Semipermeable Membranes in Air Conditioning Systems (in Ukrainian)</i> .....	24
V. Yehorchenkov <i>Estimation of the Efficiency of Building Environment Using Influence of Several Parameters on People, Based on the Point Calculus (in Ukrainian)</i> .....	32
I. Redko, A. Redko, A. Priimak, N. Lantsberg <i>Parameters of a Heat Supply System at a Lower Temperature Chart (in Russian)</i> .....	42
G. Ratushniak, A. Ocheretnyi, O. Materynska <i>Thermomodernization of Heat Conductive Inclusions of Adjoining at Installation of Energy Efficient Windows (in Ukrainian)</i> .....	52
<i>A Group of Young Hydraulicians-Aerodynamicists (in Ukrainian)</i> .....	59

Sponsor of the issue – VENTS Company



УДК 697.92

## Дослідження дворівневого повітряно-струминного огородження відкритої поверхні великорозмірних ванн

В. П. Корбут<sup>1</sup>, С. Г. Рибачов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, predsedatel@emw.kiev.ua  
ORCID: 0000-0002-0831-2477

<sup>2</sup>ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 9599770@i.ua

*Анотація.* У вентиляційній практиці знаходять широке застосування повітряно-струминні огородження, які використовуються для відокремлення зони зі сприятливими параметрами від зони з менш сприятливими параметрами повітряного середовища. Найчастіше застосовують повітряно-струминні огородження у виробничих приміщеннях. Повітряна плоска струмина відокремлює джерело шкідливих виділень від повітряного середовища приміщення, а також транспортує шкідливості, що потрапили в повітряний потік до місця їхнього вловлювання. За таким принципом влаштовуються різноманітні активовані місцеві відсмоктувачі. Наразі великого поширення для вирішення завдань аеродинаміки вентиляції, зокрема для розрахунку струминних течій і течій поблизу стоків, розроблено чисельні методи CFD моделювання (Computational Fluid Dynamics – обчислювальна гідромеханіка). Метою є визначення основних кількісних співвідношень для влаштування повітряно-струминної огорожі над дзеркалом рідини, що працює в режимі граничного вловлювання за допомогою методу CFD моделювання. Розглядається об'ємна задача про взаємодію припливних струмин, що виходять із вузьких щілинних отворів у напрямку один проти одного та щілинних стоків під припливними насадками. Розрахункова область течії обмежується поверхнею дзеркала рідини у ванні, бортами ванни й умовними межами над ванною. Використовувалася стандартна k-ε-модель турбулентних течій. При цьому вважалося, що турбулентність породжується припливними струминами й завихреннями на кутах твердих стінок. Зовнішні потоки повітря, що підтікають до струмин і до отвору всмоктування на вільних межах області розрахунку, приймалися не турбулізованими. Отримано поля розподілу температури та швидкості повітряних потоків для екранування дзеркала ванни. Також уточнено співвідношення витрат припливного повітря та повітря, що відсмоктується, для найбільш ефективного вловлювання шкідливостей.

*Ключові слова:* бортовий відсмоктувач, дворівневий відсмоктувач, розподіл концентрації, комп'ютерне моделювання.

**Вступ.** У вентиляційній практиці знаходять широке застосування повітряно-струминні огорожі, які використовуються для відокремлення зони зі сприятливими параметрами від зони з менш сприятливими параметрами повітряного середовища. Таким прикладом є різноманітні варіанти повітряно-теплових завіс, що захищають внутрішнє середовище приміщення від впливу зовнішнього холодного повітря в холодний період року та підвищують температуру повітря в зоні прорізів воріт і дверей [1].

Найчастіше застосовують повітряно-струминні огородження у виробничих приміщеннях. Повітряна плоска струмина відокремлює джерело шкідливих виділень від повітряного середовища приміщення, а також транспортує шкідливості, що потрапили в повітряний потік, до місця їхнього вловлювання. За таким принципом влаштовуються різноманітні активовані місцеві відсмоктувачі [1].

**Актуальність дослідження.** Внутрішнє повітряне середовища цехів, обладнаних промисловими ваннами зі шкідливими речовинами, забруднене парами цих речовин. Це погіршує здоров'я та працездатність людей, пошкоджує огорожувальні конструкції тощо. Тому ефективне

вловлювання парів шкідливих речовин від ванн є актуальною задачею, яка вирішується в даній роботі.

**Останні дослідження та публікації.** Для вловлювання шкідливих парів, що виділяються від ванн, використовують бортові відсмоктувачі. Серед варіантів активованих бортових відсмоктувачів найчастіше зустрічаються розташовані на одній осі припливний насадок і щілинний стік над дзеркалом рідини. Однак, якщо промислова ванна використовується для обробки великогабаритних виробів і, відповідно, має значні розміри (біля 3 м), традиційні засоби й конструктивні рішення для видалення шкідливостей є недостатньо ефективними.

В основі методу розрахунку активованих відсмоктувачів лежить аналітичне дослідження взаємодії плоских струмин і щілинних стоків, що використовує спосіб накладання потоків і базується на методі інтегральних співвідношень [1]. Як правило, розглядають взаємодію струмин і стоків при їхньому розташуванні на одній осі далеко від будь-яких обмежувальних поверхонь.

З метою збільшення ефективності роботи бортових відсмоктувачів біля обладнання зі значними відкритими поверхнями (завширшки до

10 м) токсичної рідини нами були запропоновані дворівневі динамічні огороження, які повинні практично усунути надходження токсичних речовин до навколишнього повітряного середовища [2]. Конструктивно вони використовуються таким чином. Вздовж двох протилежних бортів ванни встановлюються щільні відсмоктувачі. Над ними розміщуються припливні горизонтальні плоскі патрубки. Дворівневе перекриття дозволяє значно зменшити швидкість повітря в поверхневому шарі порівняно з активованими відсмоктувачами. При взаємодії з мінімальною швидкістю далекобійних асиметричних плоских струмин створюється динамічне огороження для всмоктування забрудненого повітря з утвореного внутрішнього об'єму.

Наразі великого поширення для вирішення завдань аеродинаміки вентиляції, зокрема для розрахунку струминних течій і течій поблизу стоків, розроблені чисельні методи CFD моделювання (Computational Fluid Dynamics – обчислювальна гідромеханіка) [3-7 та ін.].

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є визначення основних кількісних співвідношень для влаштування повітряно-струминної огорожі над дзеркалом рідини, що працює в режимі граничного вловлювання за допомогою методу CFD моделювання.

**Матеріали та методи.** У даній роботі розглядається плоска (двовимірна) задача про взаємодію припливних струмин, що виходять із вузьких щілинних отворів у напрямку один проти одного, та щілинних стоків під насадками припливу. Розрахункова область течії обмежується поверхнею дзеркала рідини у ванні, бортами ванни й умовними межами (рис. 1).

Розрахунки виконувалися методом CFD для ванни завширшки  $\ell = 1,2$  м. З двох боків ванни влаштовані активовані повітряно-струминні ого-

родження на всю довжину ванни. Висота припливних щілин була задана  $d_4 = 0,01$  м, що характерно для таких пристроїв і дозволяє розглядати плоскі припливні струмини як струмини-джерела. Відстань від дзеркала рідини до осі системи струмин-стоків не змінювалася ( $d_1 = 0,09$  м). Відстань між осями припливних і відсмоктувальних щілин змінювалася у широких межах ( $d_3 = 0,05 \dots 0,7$  м). Разом з цією відстанню відповідно змінювалася висота бортів ванни.

При виконанні чисельних розрахунків швидкість витікання припливної струмини варіювалася у межах  $v_1 = 3 \dots 15$  м/с. У свою чергу, швидкість всмоктування була в межах  $v_2 = 1,5 \dots 5$  м/с. Такий діапазон регламентувався обмеженням швидкості потоку повітря для уникнення відриву часток та зменшення тепломасообміну на поверхні рідини.

Для розв'язання задачі знаходилася така мінімальна величина швидкості, за якої спостерігається повне вловлювання шкідливостей з поверхні рідини ванни. Мінімальній величині швидкості всмоктування при заданій ширині стоку відповідає мінімальна витрата повітря, що видаляється стоком. Така витрата повітря забезпечує повне вловлювання забруднень, що потрапляють до повітряно-струминного екрана і, в той же час є найбільш вигідною за експлуатаційними витратами.

Про повне або неповне вловлювання забруднень можна зробити висновок з картини течії поблизу щілинного стоку, що подається у вигляді ліній течії (рис 2).

При повному перекритті поверхні припливними струминами всі лінії течії замикаються на отворах всмоктування. Частково відбувається підсмоктування повітря з навколишнього середовища.

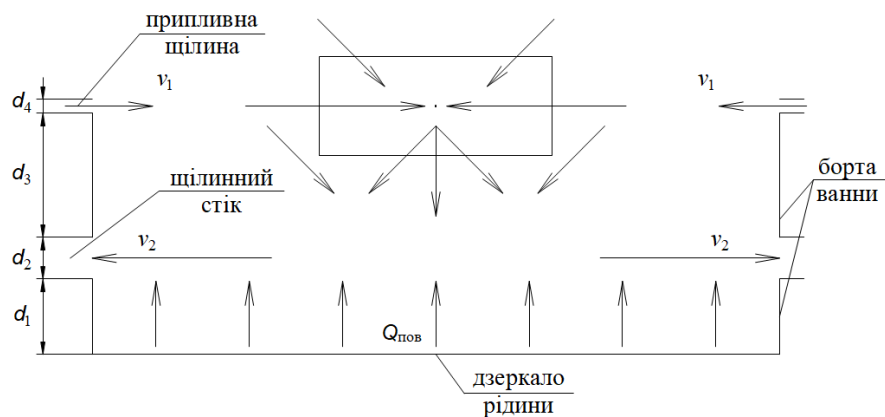


Рис.1 Розрахункова схема повітряно-струминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн



Достатньо незначно змінити співвідношення швидкості припливу і всмоктування в бік останнього (у розрахунках приблизно на 3-5 %), і частина ліній течії буде йти до простору за щілинами всмоктування, що свідчить про неповне екранування поверхні рідини.

Таким чином, при заданій геометричній формі і розмірах ванни варіюванням співвідношення швидкості припливу й відсмоктування, а також, зміненням відстані між припливними і відсмоктувальними щілинами можна підібрати режими, що відповідатимуть повному вловлюванню шкідливостей при мінімальній витраті повітря припливу й відсмоктування.

При виконанні чисельних розрахунків задавалися межі області течії: непроникні тверді межі – це поверхня дзеркала рідини, борта ванни, зовнішня поверхня щілин припливу і стоку; розрахункова область – прямокутний паралелепіпед, що охоплює зону основної течії.

На вільних межах тиск приймався рівним атмосферному, а лінії течії спрямованими перпендикулярно цим межах. У площині припливного та всмоктувального отворів задавалися, відповідно, значення швидкості  $v_1$  і  $v_2$ , м/с. Навколишнє та припливне повітря має температуру  $T = 293$  К.

Використовувалася стандартна  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентності. Вважалось, що турбулентність потоків породжується припливними струминними й завихреннями на кутах твердих стінок, а зовнішні потоки повітря, що підтікають до струмин і до отвору всмоктування на вільних межах області розрахунку, не турбулізовані.

Для проведення чисельного розв'язання вся область течії покривалася розрахунковою сіткою. Потім у ході виконання обчислень початкова сітка дробилася. При цьому найбільше дроблення проводилося в зонах найбільших змін швидкості течії. В осередках розрахункової сітки вирішувалася система рівнянь турбулентного руху і нерозривності. Розв'язання виконувалось ітераційним методом. Нев'язки ітераційного процесу для всіх контрольованих параметрів розрахунку (компоненти швидкості, нерозривність потоку, характеристики турбулентності течії  $k$  та  $\epsilon$ ) встановлювалися величиною 0,0001.

Збіжність результатів розрахунку в ході дроблення розрахункової сітки можна бачити з динаміки зміни характерної величини. Цією величиною приймалася повздовжня складова швидкості потоку в точці, розташованій на рівні верху всмоктувальної щілини і на відстані 0,1 м від

неї. Точність розрахунку вважалася досягнутою, якщо повздовжня компонента швидкості в розрахунковій точці в ході подрібнення сітки не змінювалася більш ніж на 0,5 % свого попереднього значення, а картина потоків у вигляді ліній течії залишається стабільною.

При невеликій відстані між осями припливних і відсмоктувальних щілин (від 0,01 до 0,55 м) припливні струмини не встигають екранувати поверхню рідини, а відразу всмоктуються.

Для створення граничного режиму вловлювання необхідно збільшити відстань між осями припливних отворів і отворів відсмоктування (від 0,67 до 0,75 м) при збереженні співвідношення швидкості припливу й відсмоктування. При такому рішенні струмини розвиваються практично в напрямку їхнього випуску і відхиляються в напрямку до точок всмоктування відносно імпульсу, якого вони отримали

**Результати досліджень.** Характерні картини потоків у режимі граничного вловлювання мінімальними витратами у стоку повітря представлені на рис. 2-7.

Маса шкідливих викидів з ванни оцінюється за потоком температури, якому відповідає значення інтегралу,  $m^2 \cdot K/c$ , від добутку

$$G = \int_{x_1}^{x_2} v \Delta t dx,$$

де значення повздовжніх координат  $x_1$  і  $x_2$ , м, обмежують ділянки верхнього зрізу ванни, на яких значення вертикальної швидкості  $v$ , м/с, позитивні. Саме позитивні значення швидкості  $v$ , м/с, визначають потік шкідливих парів за межі ванни.

Виконані розрахунки показують, що при фіксованій швидкості відсмоктування  $v_{\text{від}} = 1,5$  м/с й варіюванні швидкості припливного повітря  $v_{\text{припл}} = 0 \dots 15$  м/с маса шкідливих викидів та тепловий потік будуть найменшими ( $G = 0,498$   $m^2 \cdot K/c$ ) за умови видалення забрудненого повітря зі швидкістю  $v_{\text{від}} = 1,5$  м/с і при швидкості припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 11$  м/с.

Таким чином, представлений матеріал, отриманий на основі чисельного дослідження, складає основу більш точного методу розрахунку подібних пристроїв. Він дозволяє більш повно враховувати особливості взаємодії плоских струмин зі щілинними стоками при їхньому розташуванні поблизу дзеркала рідини у ванні.

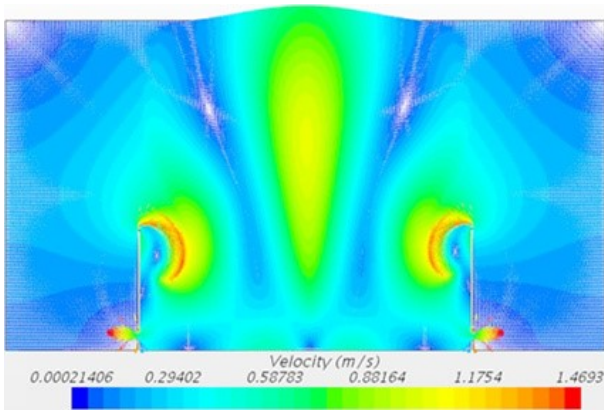


Рис. 2. Поле швидкості над ванною при відстані між щілинами притоку і видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 0$

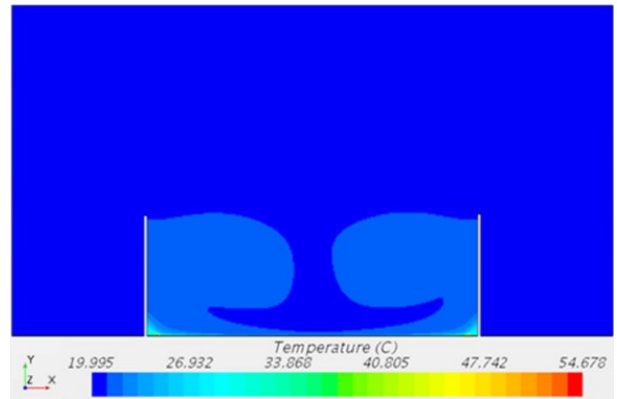


Рис. 5. Поле температури над ванною при відстані між щілинами притоку і видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 11$  м/с

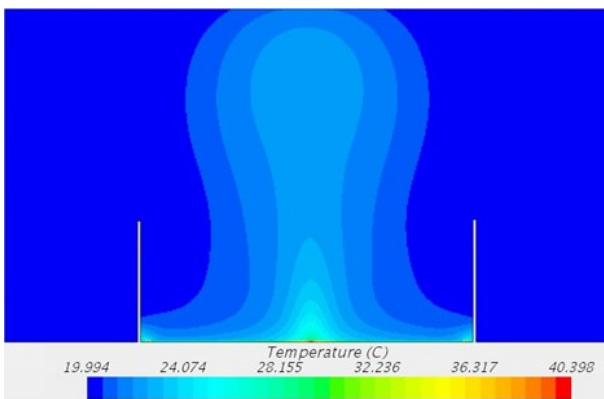


Рис. 3. Поле температури над ванною при відстані між щілинами притоку і видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 0$

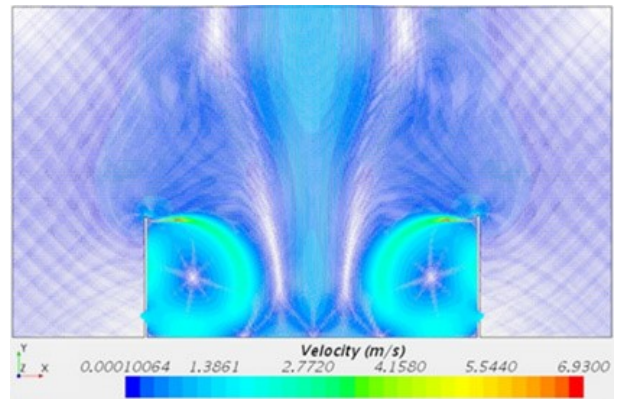


Рис. 6. Поле швидкості над ванною при відстані між щілинами притоку і видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 7$  м/с

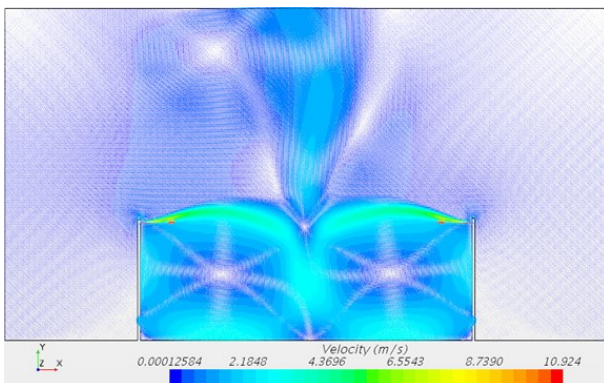


Рис. 4. Поле швидкості над ванною при відстані між щілинами припливу й видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 11$  м/с

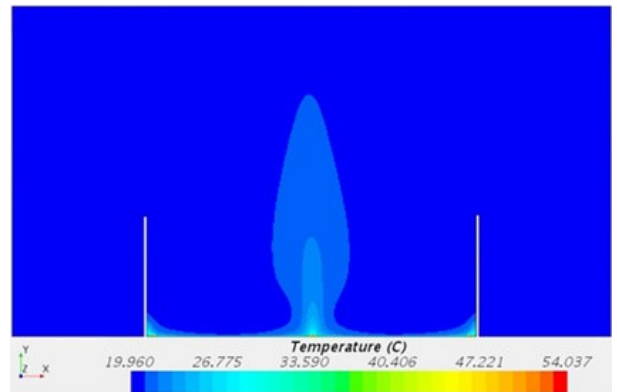


Рис. 7. Поле температури над ванною при відстані між щілинами припливу й видалення  $d_3 = 0,7$  м за умов видалення забрудненого повітря  $v_{\text{вид}} = 1,5$  м/с і відсутності припливної струмини  $v_{\text{припл}} = 7$  м/с

**Висновки.** Моделювання підтвердило ефективну роботу припливно-витяжних дворівневих бортових відсмоктувачів для великорозмірних промислових ванн. Це дозволяє практично повністю ліквідувати надходження шкідливостей до

робочої зони. У результаті отримані кількісні характеристики, що пов'язують параметри плоских припливних струмин і щілинних стоків у режимі граничного уловлювання.

### Література

1. Посохин В. Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования / В. Н. Посохин. – Москва: Машиностроение, 1984. – 160 с.
2. Корбут В. П. Удосконалення пристроїв повітряноструминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн / В. П. Корбут, С. Г. Рыбачов // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 17. – с. 26-31.
3. Цуляну К. Р. Моделирование работы щелевого отсоса взаимодействующего с плоской газовой струей / К. Р. Цуляну, В. Г. Гуцул, О. Н. Зайцев, Н. П. Богатикова // Строительство и безопасность. – 2012. – Вып. 41. – с. 235-239.
4. Варсегова Е. В. Об условия предельного улавливания потока вредных выделений местным отсосом / Е .В. Варсегова, В. Н. Посохин // Известия вузов. Строительство. – 2015. - № 11-12. – с. 18-22.
5. Wang L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use / L. Wang // Air Curtain Study. – 2013. – Режим доступа: <http://www.amca.org/UserFiles/file/Energy%20Initiative%20Web%20Pages/Air%20Curtain%20Study.pdf>
6. Nitin Kardekar. Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains / Nitin Kardekar, V. K. Bhojwani, N. K. Sane // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). – 2013. – Vol. 4, Iss. 5 – pp. 150-155.
7. Polak J. Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment / J. Polak. – Norwegian University of Science and Technology, 2015. – 95 с.

### References

1. Posokhin V. N. *Raschet mestnykh otsosov ot teplo- i gazovydeliayushchego oborudovaniia*. Mashinostroenie, 1984.
2. Korbut V. P., Rybachov S. G. “Udoskonalennia prystroiv povitrianostrumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirmnykh vann.” *Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 17, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 26-31.
3. Tsuljan K. R., Gutsul V. G., Zaytsev O. N., Bohatikova N. P. “Modelirovanie raboty shchelevogo otsosa vzaimodeistvuiushchego s ploskoi gazovoi struei.” *Stroitelstvo i bezopasnost*, vol. 41, 2012, pp. 235-239.
4. Varshegova E. V., Posokhin V. N. “Ob uslovii predelnogo ulavlivaniia potoka vrednykh vydelenii mestnym otsosom.” *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, no. 11-12, 2015, pp. 18-22.
5. Wang L. “Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use.” *Air Curtain Study*, 2013, <http://www.amca.org/UserFiles/file/Energy%20Initiative%20Web%20Pages/Air%20Curtain%20Study.pdf>
6. Nitin Kardekar, Bhojwani V. K., Dr. Sane N. K. “Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains” *International journal of mechanical engineering and technology (IJMET)*, Vol. 4, Iss. 5, 2013, pp. 150-155.
7. Polak J. *Experimental study of the airflow distribution in a room with heating equipment*. Norwegian University of Science and Technology, 2015.

УДК 697.92

## Исследование двухуровневого воздушно-струйного ограждения открытой поверхности крупноразмерных промышленных ванн

В. П. Корбут<sup>1</sup>, С. Г. Рыбачов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [predsdatel@emw.kiev.ua](mailto:predsdatel@emw.kiev.ua), ORCID: 0000-0002-0831-2477

<sup>2</sup>ас. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [9599770@i.ua](mailto:9599770@i.ua)

*Аннотация. В вентиляционной практике находят широкое применение воздушно-струйные ограждения, которые используются для отделения зоны с благоприятными параметрами от зоны с менее благоприятными параметрами воздушной среды. Чаще всего применяют воздушно-струйные ограждения в производственных помещениях. Воздушная плоская струя отделяет источник вредных выделений от воздушной среды помещения, а также транспортирует вредности, попавшие в воздушный поток, к месту их улавливания. По такому принципу работает много разновидностей активированных местных отсосов. Сейчас большое распространение для решения задач аэродинамики вентиляции, в частности для расчёта струйных течений и течений вблизи стоков, получили численные методы CFD моделирования (Computational Fluid Dynamics). Целью является определение основных количественных соотношений для устройства воздушно-струйного ограждения над зеркалом жидкости, работающего в режиме предельного улавливания с помощью метода CFD моделирования. Рассматривается объёмная задача о взаимодействии приточных*

*струи, выходящих из узких щелевых отверстий в направлении друг против друга и щелевых стоков под насадками притока. Расчётная область течения ограничивается поверхностью зеркала воды в ванне, бортами ванны и условными границами над ванной. Использовалась стандартная  $k-\epsilon$ -модель турбулентных потоков. Считалось, что турбулентность порождается приточными струями и завихрениями на углах твёрдых стенок, а внешние потоки подтекающего воздуха к отверстиям всасывания не турбулизованы. Получены поля распределения температуры и скорости воздушных потоков для экранирования зеркала ванны. Также уточнено соотношение расходов приточного и отсасываемого воздуха для наиболее эффективного улавливания вредностей.*

*Ключевые слова: бортовой отсос, двухуровневый отсос, распределение концентрации, компьютерное моделирование.*

**UDC 697.92**

## **Investigation of Two-Level Air-Jet Fencing of Open Surface of Large-Sized Industrial Baths**

V. P. Korbut<sup>1</sup>, S. G. Rybachov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sc.D, professor. National University of Construction and Architecture, City Kiev, Ukraine, predsedatel@emw.kiev.ua, ORCID: 0000-0002-0831-2477

<sup>2</sup> assistant Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv, Ukraine, 9599770@i.ua

*In ventilation practice, air-jet fences are widely used, which are used to separate a zone with favourable parameters from a zone with less favourable air parameters. Most often, air-jet fences are used in industrial premises. An air flat jet separates the source of harmful emissions from the air in the room, and conveys the hazards that get into the air stream to the point of their capture. According to this principle, there are many different types of activated local suction. Numerical methods of CFD modelling (Computational Fluid Dynamics) have now become widespread for solving the problems of aerodynamics of ventilation, in particular, for the calculation of jet flows and flows around drains. The aim is to determine the basic quantitative relationships for the air-jet fencing device above the liquid mirror operating in the limit-capture mode, using the CFD simulation method. We consider a volumetric problem of the interaction of supply jets from narrow slot holes in the direction opposite to each other and the drain slots under the inlet ones. The calculated flow area is limited by the surface of the water mirror in the bath, the sides of the bath and the conditional boundaries above the bath. The standard  $k-\epsilon$  model of turbulence was used. It was assumed that the supply jets and vortices at the corners of the solid walls generate turbulence. The external flows of the flowing air to the jets do not take part in the turbulence generation. Fields of distribution of temperature and velocity of air streams for shielding the bath mirror are obtained. The ratio of supply air and air, which is sucked away, for the most efficient collection of harmful substances, is also specified.*

*Keywords: board suction, two-level suction, concentration distribution, temperature distribution, computer simulation.*

Надійшла до редакції / Received 26.03.2018

## УДК 697.91

### Розрахункові параметри охолоджувального періоду в Україні

О. П. Любарець<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, apl\_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-

*Анотація. З метою забезпечення повноти початкових даних при проектуванні систем вентиляції, кондиціонування повітря й поверхневого охолодження приміщень та будівель з незначними (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) теплонаходженнями визначено вологовміст атмосферного повітря в липні для обласних міст України на підставі аналітичної обробки нормативних даних кліматичних параметрів. Визначено значення вологовмісту, характерних температур, дати початку та закінчення періоду охолодження сукупно з іншими нормативними кліматичними параметрами згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Вони можуть бути використані для проектування та оцінки місячного, сезонного та річного енергоспоживання системами забезпечення мікроклімату приміщень, спрощення методики розрахунку енергоспоживання на потреби охолодження та кондиціонування повітря згідно з ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Представлені дати початку та закінчення періоду охолодження, аналогічно до дат початку й закінчення опалювального періоду. Ці дати дозволять забезпечити плановість підготовки інженерних систем будівель до їхньої сезонної експлуатації тощо. На підставі запропонованої температурно-годинної характеристики періоду охолодження наводиться відповідний рейтинг обласних центрів України, який може характеризувати обсяг витрат на потреби охолодження приміщень і будівель. Отримані табличні дані рекомендуються до широкого вжитку в практиці проектування та експлуатації систем забезпечення мікроклімату*

*Ключові слова: параметри зовнішнього повітря, охолоджувальний період, репрезентативні дати, середня температура, середній вологовміст.*

**Вступ.** Впровадження в Україні європейських норм в області проектування та енергоефективної експлуатації інженерних систем забезпечення мікроклімату будівель потребує наявності відповідних кліматичних характеристик періодів опалення та охолодження. Ці дані містять середньостатистичні або репрезентативні параметри, якими є дати початку та закінчення зазначених періодів, їхня годинна та місячна тривалість, середньо-сезонна та розрахункова температура, ентальпія, абсолютна вологість зовнішнього повітря опалювального та охолоджувального періодів.

Історично склалося так, що в радянські та пост-радянські часи всі нормативні документи в Україні з будівельної кліматології та нормування кліматичних систем [1-3] у достатній мірі характеризували лише опалювальний період, і то лише для проектування систем опалення.

**Актуальність дослідження.** На момент написання даної статті в чинних в Україні нормативних документах [2, 3, 4] не наведено необхідної кількості параметрів (мінімально – два), що дозволили б визначити положення характерної точки зовнішнього повітря на I-d – діаграмі для розрахунків систем вентиляції, кондиціонування повітря та радіаційно-поверхневого охолодження. Разом з тим, наведені в таблиці 24 [2] дані про середньомісячну відносну вологість і її добову амплітуду надають можливість визначити середньомісячне значення вологовмісту атмосферного повітря в липні (найжаркіший розрахунковий місяць року).

З урахуванням того, що вологовміст повітря  $d$ , г/кг, на відміну від відносної вологості  $\phi$ , %, є більш сталою величиною і майже не залежить від добових коливань температури, отримане середньомісячне значення вологовмісту можна прийняти як розрахункове для визначення параметрів зовнішнього повітря при проектуванні систем вентиляції, охолодження та кондиціонування повітря. Це дозволить разом з відповідною розрахунковою температурою зовнішнього повітря для проектування вентиляції та кондиціонування повітря визначити на I-d діаграмі характерні точки для проведення графо-аналітичних обчислень та побудови процесів обробки повітря.

На підставі даних таблиць А3 та А6 [4] стає також можливим визначення дати початку та закінчення періоду охолодження при дотриманні загальної годинної тривалості періоду, а також розрахувати середню температуру, місячну та добову тривалість періоду охолодження. Перелічені параметри необхідні для визначення енергоспоживання системами кондиціонування повітря та панельного охолодження при оцінці енергетичної ефективності будівель згідно з [4]. У подальшому це дозволить запропонувати спрощені експрес-методики для техніко-економічного порівняння обладнання та систем охолодження в житлових, офісних та інших громадських будівлях з незначними (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) внутрішніми надходженнями теплоти.

**Останні дослідження та публікації.** Появляється періоду охолодження з'явилося лише в

п.3.33 ДБН В.2.5-67:2013 [3] і є таким, що не дозволяє визначити характерні параметри періоду. Тому в п.15.3.4 та додатку А ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [4] були надані уточнювальне визначення періоду охолодження та додаткові кліматичні характеристики. Однак вони не є достатніми для визначення координат точки зовнішнього повітря на I-d –діаграмі.

На даний момент згідно з чинними нормативними положеннями щодо періоду охолодження при забезпеченні санітарно-гігієнічних норм на оптимальному рівні в приміщеннях будівель з незначними, як правило, побутовими (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) теплонадходженнями, слід відносити період року в годинах з температурою зовнішнього повітря понад  $\theta_c = 21$  °С. При цьому температура внутрішнього повітря в цих приміщеннях буде досягати верхньої межі температури при оптимальному рівні умов забезпечення мікроклімату – на рівні 26 °С.

У таблиці додатку А.3 та А.6 [4] вперше наведено погодинну зміну температури зовнішнього повітря за репрезентативними (характерних) днями місяців та розрахункову годинну тривалість періоду охолодження. Прийемо припущення, що репрезентативні дні місяця знаходяться в його середині (15 числа). Тоді інтерполяцією за таблицею погодинної зміни температури зовнішнього повітря А.3 [4] можна визначити характерну зміну денної температури в період охолодження.

**Формулювання цілей статті.** У даній роботі була поставлена задача опису запропонованого автором варіанту визначення основних параметрів зовнішнього повітря та наведення їхніх розрахункових значень для проектування кліматичних систем у період охолодження та організації їхньої подальшої експлуатації, а саме: місячної тривалості  $L_C$ , міс, періоду охолодження, дати початку та закінчення періоду, середньої температури періоду охолодження  $\theta'_{e,c}$ , °С, та середньомісячного вологовмісту в липні  $d_{e,7}$ , г/кг. Разом з тим доцільно також визначити кількість градусо-годин періоду охолодження  $T\theta$ , °С·год, що за аналогією до опалювального періоду може характеризувати відповідний рейтинг обласних центрів України.

**Основна частина.** На підставі кліматичних даних, наведених у ДСТУ Б А.2.2-12:2015, пропонується за нижче описаною методикою визначити наступні параметри, що в повній мірі будуть характеризувати період охолодження для приміщень з незначними теплонадходженнями:

- ✓ кількість годин на репрезентативну добу для кожного місяця, год/доба, коли температура

зовнішнього повітря перевищує 21 °С – визначаємо інтерполяцією за даними табл. А.3 погодинної температури зовнішнього повітря репрезентативного дня місяця [4];

- ✓ кількість, діб/міс, діб у місяці з температурою зовнішнього повітря понад 21 °С – визначаємо за умови збереження нормативної годинної тривалості періоду охолодження, яка наводиться у таблиці А.6 [4];
- ✓ частку місяців теплої періоду року, що належить періоду охолодження, з добовою та годинною базою визначення – визначаємо за відповідними формулами:

$$f_{C,m} = D_{C,m} / D_m, \quad (1)$$

де  $D_{C,m}$  – кількість діб у місяці  $m$  з погодинною температурою зовнішнього повітря, що перевищує початкову температуру періоду охолодження для розрахункового приміщення (21 °С – для приміщень без значних теплонадходжень);  $D_m$  – загальна кількість діб у місяці  $m$ . Згідно з формулою (75) [4] місячна тривалість періоду охолодження  $L_C$ , міс, визначається як сума часток місяців, що повністю або частково належать до періоду. Отриманий параметр  $L_C$  використовується при оцінці енергетичної ефективності будівель для значної кількості приміщень (зон, будівель) із незначними теплонадходженнями;

- ✓ репрезентативні дати початку та завершення періоду охолодження – визначаємо інтерполяцією за даними табл. А.3 [4] при фіксації репрезентативної дати місяця 15 числа;
- ✓ середню температуру періоду охолодження, °С, – визначаємо як середньо інтегральне значення стояння температури, що перевищує 21 °С за даними табл. А.3 [4]:

$$\theta'_{e,c} = \left( \int_{t_1}^{t_2} \theta_{e,t} dt \right) / (t_2 - t_1), \quad (2)$$

де  $\theta_{e,t}$  – поточна температура зовнішнього повітря в момент часу  $t$ , год, згідно табл. А.3 [4], °С;  $t_1$  та  $t_2$  – час, год, відповідно, початку та закінчення періоду охолодження протягом доби (добовий інтервал з температурою зовнішнього повітря, що перевищує початкову температуру періоду охолодження для розрахункового приміщення (21 °С – для приміщень без значних теплонадходжень).

- ✓ розрахунковий вологовміст, г/кг, зовнішнього повітря для проектування кліматичних

систем в теплий період року та період охолодження – визначаємо на підставі [3] як середній вологовміст у липні за відомою залежністю:

$$d_{e,c} = d_{e,7} = 622 \frac{P_{\text{нп}}}{\frac{100 B}{\varphi_{e,v}} - P_{\text{нп}}}, \quad (3)$$

де  $\varphi_{e,v}$  – середня відносна вологість у липні, %,  $B$  – барометричний тиск, Па;  $P_{\text{нп}}$  – парціальний тиск насиченої пари, Па.

✓ годино-температурну характеристику періоду охолодження для обласних центрів України – обчислюємо за формулою, аналогічною до визначення кількості градусо-днів опалювального сезону, °С·год:

$$T\theta = (\theta'_{e,c} - \theta'_{e,c}) \cdot T_c. \quad (4)$$

На підставі порівняння значень градусо-годин був визначений рейтинг основних міст України, який може характеризувати ступінь «спекотності» кліматичних умов у регіоні та рівень витрати енергії на охолодження об'єктів.

Описані основні температурно-часові параметри, що характеризують період охолодження приміщень з незначними теплонадходженнями для обласних центрів України, наведені в табл. 1.

У випадку присутності явних теплонадходжень від інсоляції, технологічного обладнання, значної щільності людей, тощо, перевищення верхньої межі температури в 26 °С буде досягнуто при більш низькій температурі зовнішнього повітря ніж 21 °С. Це призводить до збільшення тривалості та зміни дат початку й закінчення періоду охолодження та інших характеристик для періоду параметрів. У першому наближенні для цих приміщень і будівель зовнішню температуру, що характеризує початок і закінчення періоду охолодження, можна визначити за формулою

$$\theta_{C,\phi} = \theta_{\text{int,max}} - \Sigma\Phi_i / (H_{\text{tr,adj}} + H_{\text{v,adj}}), \quad (5)$$

де  $\theta_{C,\phi}$  – розрахункова зовнішня температура початку та закінчення періоду охолодження приміщень (зони, будівлі) з наявними теплонадходженнями, °С;  $\Sigma\Phi_i$  – сумарне значення теплонадходжень до приміщень (зони, будівлі), Вт;  $\theta_{\text{int,max}}$  – максимальне розрахункове значення температури внутрішнього повітря за оптимальних умов забезпечення мікроклімату [3, Д4], °С;  $H_{\text{tr,adj}} = H_{\text{T,ix}}$  – трансмісійна характеристика приміщення (зони, будівлі), що охолоджується (загальний коефіцієнт теплопереносу трансмісією) [4, п.8.2.1.1; 5, п.6.3.2.1]), Вт/°С;  $H_{\text{v,adj}}$  – вентиляційна характеристика приміщення (зони, будівлі), що охолоджується (загальний коефіцієнт теплопереносу вентиляцією) [4, п.9.2.1.1]), Вт/°С.

Слід відмітити, що за наявності тільки незначних теплонадходжень (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) значення температури початку періоду охолодження за формулою (5) буде в межах нормативного значення (21°С):

$$\theta_{C,\phi} = 26 - (10 A) / (H_{\text{tr,adj}} + H_{\text{v,adj}}) \approx 21 = \theta_C. \quad (6)$$

**Висновки.** Запропоновані результати аналітичних досліджень можуть бути використані для проектування систем вентиляції, кондиціонування повітря та поверхневого охолодження, визначення енергоспоживання систем кондиціонування повітря та панельного охолодження при оцінці енергетичної ефективності об'єктів. Визначені репрезентативні дати початку та закінчення періоду охолодження дозволять забезпечити плановість підготовки та обслуговування відповідних інженерних систем.

**Перспективи подальших досліджень.** Викладений алгоритм визначення параметрів періоду охолодження може бути застосований для розрахунків параметрів охолоджувальних періодів для об'єктів із значними теплонадходженнями та розробки інших методик.

Таблиця 1.

Репрезентативні параметри періоду охолодження в Україні

Місто	Репрезентативні дати початку та закінчення періоду		Температурно-годинна характеристика періоду $T\theta$ , °С·год	№ у рейтингу	Середня температура періоду $\theta'_{e,C}$ , °С	Середня відносна вологість періоду $\phi'_{e,C}$ , %	Тривалість періоду охолодження			Температура зовнішнього повітря для розрахунку мікрокліматичних систем [2], °С		Вологовміст у липні (вентиляція, кондиціонування повітря) $d_{e,7}$ , г/кг
							нормативна [4], $T_C$ , год	добова, діб	місячна $L_C$ , міс	найжаркіша доба забезпеченістю $0,95 \theta_{e,C}$ (кондиціонування повітря, охолодження)	найжаркіша п'ятиденка забезпеченістю $0,99 \theta_{e,V}$ (вентиляція)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вінниця	02.06	31.08	1416	6	23,3	55	614	81	2,64	27	23	10,3
Дніпро	13.05	14.09	3712	20	24,2	46	1156	124	4,05	30	26	10,3
Донецьк	18.05	10.09	2288	13	23,3	46	1008	115	3,75	30	26	9,9
Житомир	01.06	03.09	1338	5	23,4	56	552	78	2,54	27	23	10,1
Запоріжжя	03.05	17.09	4419	23	24,5	47	1277	127	4,14	30	26	10,9
Івано-Франківськ	03.06	02.09	1552	9	24,2	59	484	68	2,21	27	22	10,3
Київ	25.05	29.08	1285	4	22,7	54	740	84	2,74	28	23	10,2
Кропивницький	14.05	12.09	1587	10	22,6	45	992	121	3,95	29	25	10,1
Луганськ	08.05	17.09	5458	25	25,4	43	1254	128	4,18	30	26	10,4
Луцьк	03.06	29.08	1478	8	23,8	57	526	78	2,54	27	23	10,2
Львів	11.06	25.08	2008	11	26,5	60	368	75	2,44	27	23	9,9
Миколаїв	11.05	20.09	3879	21	23,9	45	1342	125	4,08	30	25	10,5
Одеса	01.06	14.09	4031	22	24,7	57	1075	88	2,87	29	25	11,1
Полтава	17.05	07.09	3106	19	24,4	49	909	91	2,97	29	25	10,2
Рівне	05.06	27.08	1172	3	23,5	58	474	73	2,38	27	23	10,2
Симферопіль	18.05	21.09	2953	18	23,5	48	1205	126	4,12	28	25	10,7
Суми	22.05	31.08	2637	15	24,5	53	744	87	2,84	28	24	10,4
Тернопіль	08.06	26.08	411	1	22,0	57	423	71	2,31	26	22	9,8
Ужгород	14.05	14.09	2761	16	24,1	52	877	95	3,10	30	27	10,2
Харків	16.05	05.09	2815	17	24,0	47	924	91	2,97	29	25	10,3
Херсон	10.05	20.09	4571	24	24,5	44	1304	126	4,11	30	26	10,5
Хмельницький	01.06	30.08	639	2	22,2	57	518	75	2,44	27	22	10,3
Черкаси	16.05	08.09	2461	14	23,8	50	888	92	3,00	28	24	10,5
Чернівці	01.06	31.08	1434	7	23,2	57	650	83	2,71	27	24	10,4
Чернігів	25.05	31.08	2240	12	24,2	53	698	85	2,77	27	23	10,2
Ялта	13.04	30.09	7955	26	26,1	59	1550	142	4,64	31	26	11,1



### Література

1. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – Дата введения 01.01.1984. – Госстрой СССР. – Москва: Стройиздат, 1983. – 136 с.
2. ДСТУ-Н В В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинні від 01.11.2011. – Київ: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
3. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 с.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Чинні від 01.01.2016. – Київ: Укрархбудінформ, 2015. – 145 с.
5. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергетичні характеристики будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження. Модуль М3-3(EN 12831-1:2017, IDT). – Чинні від 15.12.2017. – Київ.

### References

1. *Stroitelnaia klimatologiia i geofizika*. SNiP 2.01.01-82, Stroiizdat, 1983.
2. *Budivelna klimatohiia*. DSTU-N B V.1.1-27:2010, Ukrarkhbudinform, 2011.
3. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013.
4. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osviltenni ta hariachomu vodopostachanni*. DSTU B A.2.2-12:2015, Ukrarkhbudinform, 2015.
5. *Enerhetychni kharakterystyky budivel. Metod rozrakhunku proektnoho teplovoho navantazhennia. Chastyna 1. Teplove navantazhennia. Modul M3-3(EN 12831-1:2017, IDT)*. DSTU EN 12831-1:2017

## УДК 697.91

## Расчётные параметры периода охлаждения в Украине

А. П. Любарец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, apl\_knuba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1905-9283

*Аннотация. Для обеспечения полноты исходных данных при проектировании систем вентиляции, кондиционирования воздуха и поверхностного охлаждения помещений и зданий с незначительными (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) теплопоступлениями было определено влагосодержание воздуха в июле для областных городов Украины на основании аналитической обработки существующих нормативных данных климатических параметров. Полученные значения влагосодержания, характерных температур, даты начала и окончания периода охлаждения в сочетании с другими климатическими параметрами согласно ДСТУ-Н В.1.1-27:2010 могут быть использованы для проектирования и оценки месячного, сезонного и годового теплопотребления в системах обеспечения микроклимата помещений, упрощения методик расчета потребления энергии для охлаждения и кондиционирования воздуха согласно ДСТУ Б А. 2.2-12:2015. Предложенные даты начала и окончания периода охлаждения, подобно датам отопительного периода, позволят обеспечить плановость подготовки инженерных систем зданий к их сезонной эксплуатации, и т.п. На основании предлагаемой температурно-часовой характеристики периода охлаждения приводится соответствующий рейтинг областных центров Украины, который может охарактеризовать объёмы расходов на нужды систем охлаждения помещений и зданий. Полученные табличные данные рекомендуются для широкого применения в практике проектирования и эксплуатации систем обеспечения микроклимата*

*Ключевые слова: параметры наружного воздуха, период охлаждения, репрезентативные даты, средняя температура, среднее влагосодержание.*

UDC 697.91

## Calculation Parameters for Cooling Period in Ukraine

O. Liubarets<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, apl\_knuba@ukr.net  
ORCID: 0000-0003-1905-9283

**Abstract.** *To ensure the completeness of the original data when designing ventilation systems, air conditioning systems and surface cooling in buildings with minor (up to 10 w/m<sup>2</sup>) heat gains, air moisture content was determined in July for regional cities of Ukraine based on analytical processing the existing regulatory data of climatic parameters. Moisture values, characteristic temperatures start and finish dates for cooling period in conjunction with other climate parameters, according to DSTU-N B V.1.1-27:2010, can be used to design and assess monthly, seasonal and annual heat consumption for microclimate providing systems in rooms, simplify the calculation methods of energy consumption for cooling and air-conditioning systems according to DSTU B A.2.2-12:2015. The proposed dates for the beginning and the end of cooling period, like dates of heating period, will ensure on time preparation of engineering systems of buildings to their seasonal operation etc. Based on the proposed temperature-time characteristics of cooling period, there is a corresponding rating of Ukrainian regional cities, which can describe the amount of expenses on the cooling system of the premises and buildings. Obtained table data is recommended for wide use in practice of design and maintenance of microclimate providing systems*

**Keywords:** *external air parameters, cooling period, representative date, average temperature, average moisture content.*

Надійшла до редакції / Received 18.02.2018

## УДК 621.4

# Алгоритм визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв при проведенні порівняльного аналізу варіантів когенераційних установок

Е. І. Дмитроченкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, elladmitrochenkova@gmail.com,

*Анотація. Зношеність основних фондів української теплової енергетики досяг 85...90 %, що призводить до погіршення електропостачання. Віддалені райони отримують електроенергію за графіком, виконується віялове вимкнення споживачів. Тому все більше уваги приділяється малій енергетиці з одночасним виробленням теплової та електричної енергії (когенерації). При розробці та реалізації проектів когенерації важливим є правильний вибір технологічних схем, первинного двигуна та інших технічних рішень. Для цього використовується певний набір показників ефективності роботи когенераційних установок. З кількох варіантів схемних рішень вибір здійснюється на основі порівняльного аналізу цих показників. Однією з можливостей здійснення порівняльного аналізу варіантів когенераційних систем є критеріально-параметричний підхід з урахуванням пріоритетів замовника щодо технічної, економічної, експлуатаційної та екологічної ефективності. З метою вибору варіанту установки запропоновано використовувати вагові коефіцієнти, які визначають вплив кожного окремого критерію на загальний підсумок. Наведена методика розрахунку чисельних значень вагових коефіцієнтів локальних критеріїв у повному та частково ранжированому рядках з використанням методу спадної арифметичної прогресії. Виконано порівняння результатів при використанні повного та частково ранжированого рядків. Використання критеріїв з однаковою важливістю дає більше варіантів для аналізу, тобто забезпечує більшу гнучкість методу.*

*Ключові слова: когенераційна установка, локальний критерій, ваговий коефіцієнт, арифметична прогресія, ранжування*

**Вступ.** Сьогодні житлово-комунальне господарство споживає до 30 % усього річного обсягу паливно-енергетичних ресурсів України. До останнього часу в нашій країні теплота та електрична енергія вироблялись або роздільно на конденсаційних електростанціях (КЕС) і в котельнях, або на теплоелектроцентралях (ТЕЦ) у паротурбінному циклі. Рівень зношеності основних фондів української теплової енергетики досяг 85...90 %. Практично всі блоки ТЕЦ відпрацювали свій проектний ресурс (100 тис. годин) [1]. У зв'язку з цим традиційні централізовані системи тепло- й електропостачання вже не в змозі забезпечувати розрахункове теплове та електричне навантаження великої кількості споживачів. Особливо від цього страждають віддалені райони, де ситуація з енергозабезпеченням критична: електроенергією населені пункти забезпечуються за графіком, спостерігається «віялове» вимкнення споживачів.

**Актуальність дослідження.** В останні роки спостерігається динамічний розвиток малої енергетики з комбінованим виробництвом теплоти та електричної енергії (когенерації) на базі існуючих опалювальних та промислово-опалювальних котельень. З часом це стає альтернативою централізації енергопостачання або її доповненням, яке підвищує ефективність і надійність схем тепло- та електропостачання об'єктів різного спрямування.

Подібна динаміка розвитку систем децентралізованого тепло- та електропостачання обумовлена наступними факторами: збільшенням тарифів на електроенергію, старінням обладнання котельень та електростанцій, високим рівнем втрат електричної енергії та теплоти під час транспортування до споживача, необхідністю підвищення рівня надійності енергозабезпечення споживачів і коефіцієнта використання теплоти палива, як одного з найбільш важливих показників ефективності роботи системи.

Правові, економічні та організаційні засади, які пов'язані з виробництвом, передачею, розподілом і постачанням теплоти та електричної енергії від когенераційних установок (КГУ) визначає Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання спадного енергопотенціалу» [2].

**Останні дослідження та публікації.** Аналіз вітчизняного досвіду реалізації проектів щодо впровадження когенераційних енергосистем свідчить про наявність певних проблем, пов'язаних з економічними та технічними аспектами.

При розробці та реалізації проектів когенерації важливим є правильний вибір технологічних схем, первинного двигуна та інших технічних рішень. Для цього використовується певний набір показників ефективності роботи когенераційних установок [3, 4]. Також у роботі [5] для цього

пропонується використовувати критеріально-параметричний підхід з урахуванням пріоритетів замовника в технічній, економічній, експлуатаційній та екологічній ефективності когенераційної системи. Невирішеним при цьому залишається питання того, яким чином враховується пріоритет замовника при визначенні того чи іншого критерію ефективності роботи КГУ.

**Основна частина.** Найбільш важливими характеристиками КГУ, за якими можна проводити комплексне порівняння альтернативних варіантів, є:

- технічні;
- економічні;
- експлуатаційні;
- екологічні.

Кожна з зазначених характеристик у своїй структурі має ряд безрозмірних критеріїв, за якими здійснюється оцінювання роботи конкретної установки. Як технічні критерії визначені:

- критерій електричної потужності  $K_N^{\text{tex}}$ ;
- критерій теплової потужності  $K_Q^{\text{tex}}$ ;
- критерій співвідношення електричної потужності та кількості теплоти, яка утилізується  $K_\xi^{\text{tex}}$ ;
- критерій впливу температури зовнішнього повітря на електричну потужність  $K_{N(t)}^{\text{tex}}$ ;
- критерій впливу температури зовнішнього повітря на теплову потужність установки  $K_{Q(t)}^{\text{tex}}$ ;
- критерій залежності електричного ККД від електричного навантаження  $K_{\eta(N)}^{\text{tex}}$ ;
- критерій залежності електричного ККД від температури зовнішнього повітря  $K_{\eta(t_{\text{ext}})}^{\text{tex}}$ .

Таким чином, загальний технічний критерій є сумою окремо взятих критеріїв:

$$K^{\text{tex}} = K_N^{\text{tex}} + K_Q^{\text{tex}} + K_\xi^{\text{tex}} + K_{N(t)}^{\text{tex}} + K_{Q(t)}^{\text{tex}} + K_{\eta(N)}^{\text{tex}} + K_{\eta(t_{\text{ext}})}^{\text{tex}}. \quad (1)$$

Доцільним є визначення впливу кожного окремого критерію на загальну суму. Для цього можуть бути використані вагові коефіцієнти  $\alpha_i$ ,  $i = 1 \dots 7$ . Тоді рівняння (1) набуде вигляду:

$$K^{\text{tex}} = \alpha_1 K_N^{\text{tex}} + \alpha_2 K_Q^{\text{tex}} + \alpha_3 K_\xi^{\text{tex}} + \alpha_4 K_{N(t)}^{\text{tex}} + \alpha_5 K_{Q(t)}^{\text{tex}} + \alpha_6 K_{\eta(N)}^{\text{tex}} + \alpha_7 K_{\eta(t_{\text{ext}})}^{\text{tex}}. \quad (2)$$

Для вирішення подібної задачі можуть бути використані наступні методи [3]:

- класичний метод парного порівняння;

- метод парного порівняння на основі фіксованої переваги;
- метод арифметичної прогресії;
- метод геометричної прогресії;
- метод послідовного порівняння критеріїв;
- метод базового критерію.

У даному випадку для визначення чисельних значень вагових критеріїв пропонується використовувати метод арифметичної прогресії. Якщо розглядати  $K^{\text{tex}}$  як інтегральний критерій, то всі складові, які входять до його визначення, є локальними критеріями. У свою чергу, кожний локальний критерій має свій рівень важливості, який розраховується на основі класичного методу парного порівняння [6]. Далі здійснюється ранжування критеріїв відносно рівня їхньої важливості. На практиці має місце як повний, так і частковий порядок ранжування локальних критеріїв, за якого можлива наявність критеріїв, які мають однаковий рівень важливості. Порядок ранжування є основою для розрахунку їхніх вагових коефіцієнтів [7].

У даній статті розглянуті дві методики визначення чисельних значень вагових коефіцієнтів: при повному та при частковому порядках ранжування. При повному порядку ранжування, коли відсутні однакові за своєю важливістю критерії, справедливим є наступний вираз:

$$K_N^{\text{tex}} > K_Q^{\text{tex}} > K_\xi^{\text{tex}} > K_{N(t)}^{\text{tex}} > K_{Q(t)}^{\text{tex}} > K_{\eta(N)}^{\text{tex}} > K_{\eta(t_{\text{ext}})}^{\text{tex}}, \quad (3)$$

а при частковому порядку ранжування:

$$K_N^{\text{tex}} > K_Q^{\text{tex}} > K_\xi^{\text{tex}} > K_{N(t)}^{\text{tex}} = K_{Q(t)}^{\text{tex}} > K_{\eta(N)}^{\text{tex}} = K_{\eta(t_{\text{ext}})}^{\text{tex}}. \quad (4)$$

Слід підкреслити, що вибір критеріїв однакової важливості є прерогативою замовника і вираз (4) може змінюватися залежно від конкретної ситуації та обраних пріоритетів.

При визначенні вагових коефіцієнтів повного ранжируваного ряду критеріїв використовується наступне рівняння:

$$\alpha_i = 2(n - i + 1) / (n(n + 1)), \quad (5)$$

де  $n$  – кількість критеріїв у повному ранжируваному ряді;  $i$  – номер критерію в ньому.

У даному випадку  $n = 7$ , а  $i = 1 \dots 7$ . Тоді  $\alpha_1 = 0,25$ ,  $\alpha_2 = 0,21$ ,  $\alpha_3 = 0,18$ ,  $\alpha_4 = 0,14$ ,  $\alpha_5 = 0,11$ ,

$\alpha_6 = 0,07$ ,  $\alpha_7 = 0,04$ . Сума отриманих значень вагових коефіцієнтів дорівнює одиниці.

На рис.1 наведена діаграма ранжування технічних критеріїв при повному порядку ранжування у відсотках.

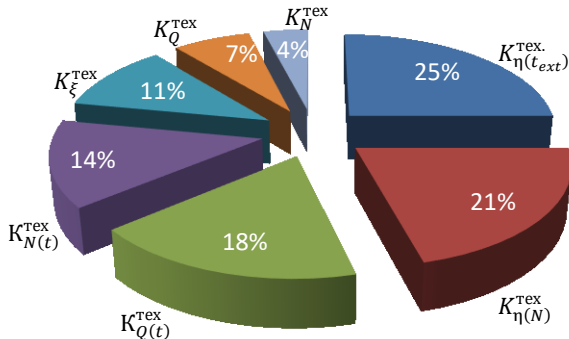


Рис.1. Ранжування технічних критеріїв за значущістю при повному порядку ранжування

Критерії, які мають однаковий ступінь важливості, називаються зв'язаними. Для розрахунку вагових критеріїв частково ранжируваного ряду використовується наступний алгоритм:

- весь набір ряду критеріїв розбивається на групи важливості, які мають однакові вагові коефіцієнти;
- вагові коефіцієнти критеріїв груп важливості є членами спадної арифметичної прогресії з кроком  $\Delta\alpha$ .

При розрахунку вагових коефіцієнтів частково ранжируваного ряду повинна виконуватися наступна умова:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{j=1}^g n_j \alpha_j = 1, \quad (6)$$

причому:

$$\sum_{j=1}^g n_j = n, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість локальних критеріїв у порівнянні;  $g$  – кількість груп важливості в частково ранжируваному ряді критеріїв;  $i$  – номер критерію в ранжируваному ряді;  $j$  – номер групи важливості критеріїв;  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$  – го критерію;  $\alpha_j$  – ваговий коефіцієнт зв'язаного критерію в складі  $j$ -ої групи;  $n_j$  – число зв'язаних критеріїв у складі  $j$ -ої групи важливості в частково ранжируваному ряді критеріїв.

Ваговий коефіцієнт зв'язаного критерію, який входить до складу  $j$ -ої групи важливості, у частково ранжируваному ряді критеріїв визначається з наступного рівняння:

$$\alpha_j = \alpha_n + (g - j)\Delta\alpha, \quad (8)$$

Після підстановки виразу (8) до рівняння (6) і проведення ряду перетворень з урахуванням умови (7) рівняння набуває наступного вигляду:

$$n\alpha_n + \sum_{j=1}^g n_j(g - j)\Delta\alpha = 1. \quad (9)$$

Рівень переваги вагового коефіцієнта найбільш важливого критерію порівняно з найменш важливим критерієм

$$\gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_n}. \quad (10)$$

Рівняння (9) розв'язується шляхом задавання чисельних значень  $n$ ,  $n_j$ ,  $g$  та  $\Delta\alpha$  з наступним визначенням  $\alpha_n$ .

Відповідно до [6]:

$$\Delta\alpha = 1 / \left( \frac{n(g-1)}{\gamma-1} + \sum_{j=1}^g n_j(g-j) \right), \quad (11)$$

$$\alpha_n = (g - 1) \Delta\alpha / (\gamma - 1). \quad (12)$$

При використанні наведеної методики для знаходження вагових коефіцієнтів критеріїв, які входять до рівняння (2), вважається, що ваговий коефіцієнт критерію  $K_{\eta(N)}^{tex}$  перевищує ваговий коефіцієнт дев'ятого критерію  $K_{\eta(t_{ext})}^{tex}$  у три рази. Отже, у даному випадку  $\gamma = 3$ . Інші члени рівняння (11) мають наступні значення:  $n = 7$ ,  $g = 5$ .

За рівнянням (11)  $\Delta\alpha = 0,04$ . Підставляємо отриманий результат до рівняння (10) і отримаємо  $\alpha_{6,7} = 0,08$ . З використанням рівняння (8) розраховуються всі значення вагових коефіцієнтів:  $\alpha_{4-5} = 0,12$ ,  $\alpha_3 = 0,16$ ,  $\alpha_2 = 0,2$ ,  $\alpha_1 = 0,24$ . Сума вагових коефіцієнтів всіх критеріїв дорівнює одиниці.

На рис. 2 наведено ранжування технічних критеріїв за значущістю у відсотках. Порівняльний аналіз результатів розрахунку вагових коефіцієнтів технічних критеріїв роботи когенераційних установок, розрахованих за двома методами, наведено в табл. 1.

Результати показують певну різницю між чисельними значеннями відповідних критеріїв, яка набуває свого максимального значення в останнього показника. При іншому розподілі критеріїв з однаковою важливістю отримуємо більше варіантів для аналізу і, як результат, більшу кількість значень загального технічного критерію.

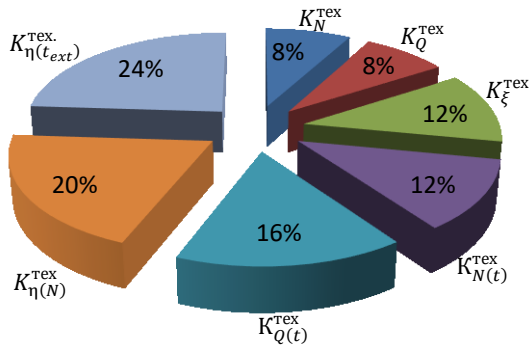


Рис. 2. Ранжування технічних критеріїв за значущістю при частковому порядку ранжування

Таблиця 1.

Вагові коефіцієнти локальних критеріїв при порядках ранжування: повному (№ 1) і частковому (№ 2)

№	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$
1	0,25	0,21	0,18	0,14	0,11	0,07	0,04
2	0,24	0,20	0,16	0,12	0,12	0,08	0,08

**Висновки.** Ранжування локальних технічних критеріїв, які складають єдиний інтегральний критерій, може бути використане для порівняльної оцінки альтернативних варіантів когенераційних установок і подальшого вибору найкращого з них. Для визначення чисельних значень вагових коефіцієнтів локальних критеріїв запропонований метод спадної арифметичної прогресії, який базується на принципах оцінки переваги критеріїв і взаємозв'язку показників їхньої важливості відносно один одного. При цьому можливо використовувати повний та частковий порядок ранжування. Останній забезпечує більше варіантів для порівняння, тобто надає більше гнучкості процесу вибору найкращого рішення. Запропонована методика може бути використана при аналізі будь-яких критеріальних показників ефективності роботи технічних систем.

### Література

1. Халатов А.А. Современное состояние и перспективы использования газотурбинных технологий в тепловой и ядерной энергетике, металлургии и ЖКХ Украины / А.А. Халатов, К.А. Ющенко // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т.34, №6. – с. 30-45.
2. Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» // Відомості Верховної Ради. – 2005. – №20. – с. 278-285.
3. Басок Б. И. Анализ когенерационных установок [Часть I. Классификация и основные показатели] / Б. И. Басок, Е. Т. Базеев, В. М. Диденко // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т.28, №3. – с. 83-89.
4. Долинский А. А. Развитие теплоэнергетики Украины с использованием когенерационных технологий / А. А. Долинский, В. Н. Клименко, П. П. Сабашук // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №1. – с. 10-15.
5. Томаров Г.В. Использование критериально-параметрического подхода при выборе оборудования когенерационных установок в инвестиционных энергетических проектах / Г.В. Томаров, А.А. Шипков, В.А. Буданов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. - №2. – с. 13-16.
6. Постников В.М. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2015. - №6. – с. 267 – 287. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/38/showToc>
7. Постников В.М. Выбор весовых коэффициентов локальных критериев на основе принципов арифметической прогрессии / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2015. – №9. – с. 237-249. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/10/showToc>

### References

1. Khalatov A. A. “Sjvremennoe sostoianie i perspektivy ispolzovaniia gazotrubbykh tekhnologii v teplovoi i iadernoi energetike, metallurgii i ZHKKH Ukrainy.” Promyshlennaia teplotekhnika, vol. 34, no. 6, 2012, pp. 30-45.
2. Pro kombinovane vyrobnytstvo teplovoi ta elektrychnoi energii (kogeneratsiiu) ta vykorystannia skydnogo energopotentsialu. Zakon Ukrainy, 2005.
3. Basok B. I., Bazeev E. T., Didenko V. M. “Analiz kogeneratsionnykh ustanovok, chast I. Klassifikatsiia i osnovnye pokazateli.” Promyshlennaia teplotekhnika, vol. 28, no. 3, 2006, pp. 83-89.
4. Dolinskii A. A., Klimenko V. N., Sabashuk P. P. “Razvitie teploenergetiki Ukrainy s ispolzovaniem kogeneratsionnykh tekhnologii.” Ekotekhnologii i resursosberezhenie, no.1, 2003, pp. 10-15.
5. Tomarov G. V., Shipkov A. A., Budanov V. A. “Ispolzovanie kriterialno-parametricheskogo podkhoda pri vybore oborudovaniia kogeneratsionnykh ustanovok v investitsionnykh energeticheskikh proektakh.” Energoberezhenie i vodopodgotovka, no.2, 2009, pp. 13-16.
6. Posnikov V. M., Spiridonov S. B. “Metody vybora vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev” Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana: Elektronnyi zhurnal, no. 6, 2015, pp. 267-287, <http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/38/showToc>
7. Postnikov V. M., Spiridonov S. B. “Vybor vesovykh koeffitsientov lokalnykh kriteriev na osnove printsipov arifmeticheskoi progressii” Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana: Elektronnyi zhurnal, no. 9, 2015, pp. 237-249, <http://technomag.edu.ru/jour/issue/view/10/showToc>

УДК 621.4

## Алгоритм определения весовых коэффициентов локальных критериев при проведении сравнительного анализа вариантов когенерационных установок

Э. И. Дмитроченкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, elladmitrochenkova@gmail.com

*Аннотация. Износ основных фондов украинской тепловой энергетики достиг 85...90 %, что приводит к ухудшению электроснабжения. Отдалённые районы получают электроэнергию по графику, выполняется веерное отключение потребителей. Поэтому всё больше внимания уделяется малой энергетике с одновременной выработкой тепловой и электрической энергии (когенерации). При разработке и реализации проектов когенерации важным является правильный выбор технологических схем, первичного двигателя и других технических решений. Для этого используется определённый набор показателей эффективности работы когенерационных установок. Выбор вариантов схемных решений осуществляется по результатам сравнительного анализа этих показателей. Одной из возможностей проведения сравнительного анализа вариантов когенерационных систем является критериально-параметрический подход с учётом приоритетов заказчика в технической, экономической, эксплуатационной и экологической эффективности. С целью его проведения предлагается использовать весовые коэффициенты, которые определяют влияние каждого отдельного критерия на общий результат. Приведена методика расчёта численных значений весовых коэффициентов локальных критериев в полном и частично ранжированном рядах с использованием метода убывающей арифметической прогрессии. Выполнено сравнение результатов при использовании полного и частично ранжированного рядов. Использование критериев с одинаковой важностью даёт больше вариантов для анализа, то есть обеспечивает большую гибкость метода.*

*Ключевые слова: когенерационная установка, локальный критерий, весовой коэффициент, арифметическая прогрессия, ранжирование.*

UDC 621.4

## Algorithm for Determining the Weight Coefficients of Local Criteria for Comparative Analysis of Several Options of Cogeneration Plants

E. Dmitrochenkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PhD, Associate Professor. Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, elladmitrochenkova@gmail.com

*Abstract. Wear of the basic facilities of Ukrainian thermal energy reached 85...90 %, which leads to a deterioration of electricity supply. Distant areas receive electricity on schedule; harp switching off consumers is performed. Therefore, more attention is paid to small power generation with simultaneous generation of thermal and electric energy (cogeneration). When designing and implementing cogeneration projects, it is important to choose the right technology system, primary motors, and other technical solutions. For this purpose, a certain set of performance indicators of cogeneration plants is used. Selection of options of schematic solutions is carried out based on the results of a comparative analysis of these indicators. One of the possibilities for comparative analysis between several options of cogeneration systems is a criterial-parametric approach taking into account the customer's priorities in technical, economic, operational and environmental efficiency. For carrying out the selection, it is proposed to use weight coefficients, which determine the influence of each separate criterion on the total. The technique for calculating the numerical values of the weight coefficients of local criteria in full and partially ranked series is presented using the method of decreasing arithmetic progression. Comparison of the results is performed using the full and partially ranked series. The use of criterias with the same importance gives more options for analysis, so, provides greater flexibility of the method.*

*Keywords: cogeneration unit, local criterion, weighting coefficient, arithmetic progression, ranking*

Надійшла до редакції / Received 25.12.2017

СЕРІЯ  
**MICRA**



МІКРА - ЦЕ ОПТИМАЛЬНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ОКРЕМИХ КІМНАТ У КВАРТИРАХ, ПРИВАТНИХ БУДИНКАХ, СОЦІАЛЬНИХ ТА КОМЕРЦІЙНИХ ПРИМІЩЕННЯХ.







- ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПРИМІЩЕННЯ ЧИСТИМ ПОВІТРЯМ
- ВІДВОДЯТЬ ВІДПРАЦЬОВАНЕ ПОВІТРЯ З ПРИМІЩЕННЯ
- ОЧИЩАЮТЬ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ ТА КОМАХ
- ЗАПОБІГАЮТЬ УТВОРЕННЮ НАДМІРНОЇ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЯВИ ПЛІСНЯВИ
- ПРАЦЮЮТЬ БЕЗШУМНО
- ПОВЕРТАЮТЬ ТЕПЛО
- НАГРІВАЮТЬ ПОВІТРЯ ДО НЕОБХІДНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ (МІКРА 150 E)
- ЗМЕНШУЮТЬ ВИТРАТИ НА ОПАЛЕННЯ ВЗИМКУ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ВЛІТКУ
- ПРАЦЮЮТЬ З МІНІМАЛЬНИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ
- РОЗРАХОВАНІ НА БЕЗПЕРЕРВНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ

## MICRA 100



## MICRA 150



УДК 697.94

## Експериментальні дослідження осушення повітря з використанням синтетичних напівпроникних мембран в системах кондиціонування повітря

О. В. Задоянний<sup>1</sup>, Ю. М. Євдокименко<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, Alvasil21@Gmail.com

<sup>2</sup>аспірант. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, bonnesante91@gmail.com

*Анотація.* Зберігання сільськогосподарської продукції в регламентованих умовах потребує цілорічного та цілодобового підтримання параметрів повітряного середовища – температури та відносної вологості – у певних діапазонах, які встановлюються технологічним регламентом для кожного виду такої продукції. Для підтримання відносної вологості системи кондиціонування повітря обладнують секціями осушення. У процесі осушення в системах кондиціонування повітря витрачається найбільша кількість енергії порівняно з іншими стадіями обробки повітря. Сучасні дослідження в області технологічного кондиціонування повітря направлені на підвищення ефективності перебігу процесів обробки повітря з одночасним зменшенням енерговитрат. В останніх дослідженнях застосовують в основному адсорбційні процеси осушення, які не зменшують радикально енерговитрати. Напівпроникні мембрани не набули широкого застосування в системах технологічного кондиціонування повітря, але мають реальну перспективу забезпечити енергоощадне осушення в системах кондиціонування повітря порівняно з традиційними конденсаційним та адсорбційним способами. Вони дозволяють крім зниження витрати енергії на осушення повітря уникнути негативного явища обмерзання теплообмінника. У даній роботі наведено результати експериментальних досліджень щодо оцінки можливості застосування напівпроникних мембран для осушення повітря складу для зберігання сільськогосподарської продукції. Наведено результати експериментальних досліджень зменшення вологовмісту в секції мембранного осушення, наведена експериментальна залежність продуктивності осушення від питомого повітряного навантаження на мембрану. Отримані результати дають можливість практичного застосування мембранного осушення при послідовній багатоступеневій обробці повітря в системах кондиціонування з чергуванням стадій охолодження та мембранним осушення повітря.

*Ключові слова:* кондиціонування повітря; напівпроникна мембрана; осушення повітря; проникність парів вологи; питома продуктивність осушення.

**Постановка проблеми.** Зберігання насіння гарбузу, капусти, редису, редьки, брукви, буряка та іншої сільськогосподарської продукції в регламентованих умовах потребує підтримання параметрів повітряного середовища - температури повітря в межах 10...12 °С та відносної вологості не вище 60 % [1]. Для виконання зазначених вимог системи кондиціонування повітря обладнують секціями охолодження та осушення повітря.

Традиційно в СКП застосовують переважно способи конденсаційного та адсорбційного осушення повітря [2]. Для загальноживаного конденсаційного способу осушення характерні значні витрати енергії для переохолодження повітря нижче точки роси й наступного нагрівання до параметрів припливу. Крім того, при переохолодженні нижче 5 °С відбувається обмерзання поверхні теплообмінного апарату [3], і система функціонує в циклічному режимі з періодичним відтаванням теплообмінника. Сорбційний спосіб осушення вимагає значних витрат енергії на регенерацію сорбенту. Тому розробка більш енергоефективних способів осушення для систем кондиціонування повітря є важливою задачею

для зменшення споживання енергії на забезпечення мікроклімату.

**Актуальність дослідження.** Дані дослідження проводяться відповідно до законодавчих актів: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94 р. що затвердила “Закон України про енергозбереження”, Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 5.02.97 р. “Про комплексну державну програму енергозбереження України”.

**Останні дослідження та публікації.** На *i-d*-діаграмі (рис. 1) наведено зону [1] потрібних параметрів повітря (лінія 1-2-3-4) для зберігання сільськогосподарської продукції та процес конденсаційного осушення повітря (відрізок *B-O-O'-in*). Необхідна температура повітря після секції осушення становить 2 °С. У такому режимі система працює нестабільно з періодичним відтаванням теплообмінника, що не сприяє стабільності підтримки заданих параметрів мікроклімату.

Даного недоліку позбавлені системи осушення повітря на основі сорбентних технологій (процес ext-A на рис.1)

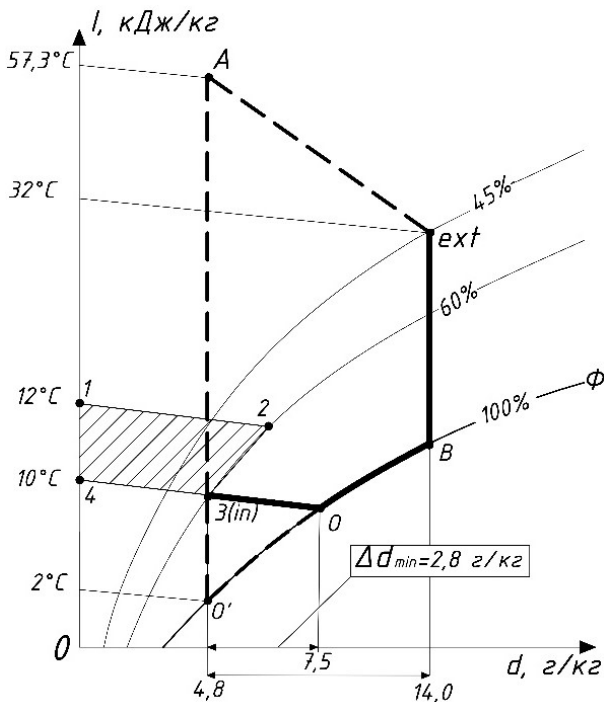


Рис. 1. *I-d* – діаграма вологого повітря із процесами обробки для зберіганні сільськогосподарської продукції

У них здійснюється осушення без конденсації, проте вони потребують більших енерговитрат при сухому охолодженні (процес А-3) та при регенерації адсорбенту. До вказаних недоліків слід долучити необхідність додаткових площ приміщень для основного обладнання, що разом стримує широке застосування даного методу осушення повітря.

У роботі [4] наведено спосіб багатостадійного осушення повітря в СКП із застосуванням адсорбції. Він має певні переваги порівняно із вказаними щодо енерговитрат. Проте цей спосіб несуттєво зменшує потребу в енергії, оскільки залишає стадії перегріву й переохолодження і також потребують відповідних додаткових площ (рис.2).

У технологічних процесах осушення стисненого повітря застосовують системи мембранного розділення повітря та водяних парів [2], які на відміну від вищенаведених не потребують суттєвих перепадів температури, але з іншого боку потребують достатньо великих перепадів тисків. Крім того, як зазначають автори вказаної роботи, дані процеси потребують значного удосконалення матеріалу мембран задля збільшення пропускної спроможності.

Заслугує уваги застосування напівпроникних мембран у будівельній галузі для запобігання конденсації водяних парів у даховому просторі під покрівлею [5].

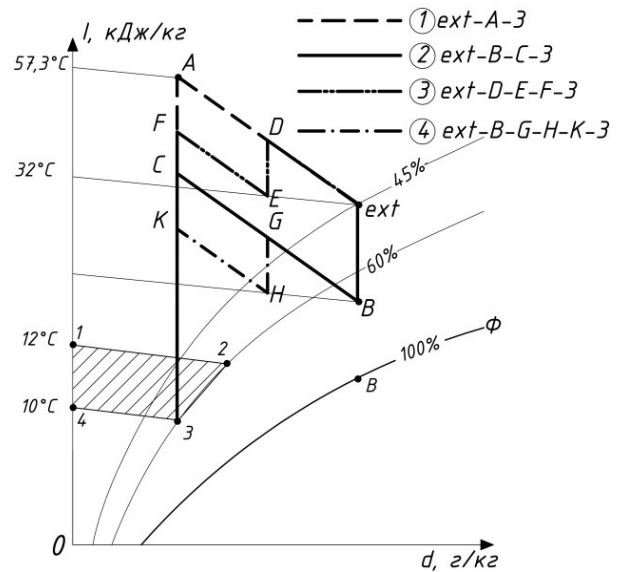


Рис.2. *I-d*-діаграма процесів багатостадійного адсорбційного осушення повітря в СКП:

1 – одностадійне адсорбційне осушення повітря без попереднього охолодження; 2 – одностадійне адсорбційне осушення повітря з попереднім охолодженням; 3 – двостадійне адсорбційне осушення повітря без попереднього охолодження; 4 – двостадійне адсорбційне осушення повітря з попереднім охолодженням.

Розроблені спеціально для вказаної мети напівпроникні мембрани достатньо ефективно – з продуктивністю понад 1300 кг/(доб. м<sup>2</sup> Па) – пропускають крізь себе водяні пари із подальшим видаленням назовні [6]. До процесу не залучають додаткової енергії. Він здійснюється завдяки сукупності капілярних ефектів та перепаду парціальних тисків водяної пари. З наведеного випливає достатньо приваблива можливість застосування напівпроникних мембран для осушення повітря в СКП.

У роботі [7] представлена порівняльна ексергетична оцінка різних способів осушення повітря із використанням поточкових ексергетичних діаграм, на яких спостерігаються характерні для конденсаційного способу осушення значні пікові стрибки питомої ексергії повітря в процесах переохолодження (осушення) й догрівання повітря. У роботі [4] ексергетичний аналіз адсорбційного способу осушення також показує значні втрати ексергії на регенерацію адсорбенту і охолодження його після регенерації.

Осушення повітря за допомогою напівпроникних (селективних) мембран, а також особливості протікання такого процесу детально розглянуті в роботах [8, 9]. В роботах [10, 11] представлені методи регулювання вологості повітря із застосуванням мембранних технологій та перспективи застосування мембран для осушення повітря. В даних роботах підкреслюється при-

важливість наведеного способу осушення завдяки протіканню цього процесу ізотермічно, що не потребує теплової енергії, або холоду.

**Формулювання цілей статті.** Ціллю статті є експериментальне підтвердження можливості осушення повітря в СКП із застосуванням селективних мембран. Об'єктом застосування даного способу вибрано СКП складів зберігання сільськогосподарської продукції згідно з технічними умовами на проект кондиціонування повітря складу зберігання гарбузового насіння.

**Основна частина.** Схемне рішення СКП для вказаного об'єкту прийнято комбінованим, із запобіганням зони можливого обмерзання теплообмінного апарату (процес "ext-B-O-3" на рис. 1). Процес складається з сухого охолодження "ext-B", конденсаційного охолодження і першої ступені осушення "B-O" та остаточної ізотермічної ступені осушення "O-3" в мембранній тканині. Мінімально необхідне ізотермічне осушення становить  $\Delta d = 2,8$  г/кг.

Процес перенесення речовини крізь мембрану описується теорією нерівноважної термодинаміки [12], де його відносять до феноменологічних понять і описують терміном «проникнення». Цей термін охоплює багато механізмів перенесення речовини, викликаних різними за природою рушійними силами і за присутності градієнтів різних потенціалів: концентрації парів вологи, парціальних тисків вологи, надлишкових тисків з обох боків мембрани тощо.

Для визначення феноменологічної проникності записується загальне рівняння для коефіцієнта проникності мембрани, кг/с:

$$G = Q_p \cdot F \cdot (P_1 - P_2) / l, \quad (1)$$

де  $G$  – масова витрата потоку рідини, кг/с;  $F$  – площа поверхні мембрани, м<sup>2</sup>;  $Q_p$  – проникність мембрани, кг/(с·м<sup>2</sup>·Па);  $P_1, P_2$  – різниця тисків, створених з обох боків мембрани, Па;  $l$  – товщина мембрани, м.

Механізм перенесення речовини крізь мембрану описують законом Дарсі [9]. Рушійною силою процесу згідно з рівнянням для фільтрації рідини є градієнт тиску, створений з обох боків мембрани. Загальна проникність речовини в даних рівняннях визначається різницею тиску речовини з обох боків мембрани, м<sup>2</sup>:

$$k = \frac{2 P_0 \cdot Q \cdot \mu \cdot L}{(P_1 - P_2)^2 \cdot F}, \quad (2)$$

де  $Q$  – об'ємна витрата рідини, м<sup>3</sup>/с;  $F$  – площа

поверхні фільтрації, м<sup>2</sup>;  $P_1$  і  $P_2$  – тиск, створений з обох боків мембрани, Па;  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини, Па·с;  $L$  – товщина мембрани, м;  $P_0$  – атмосферний тиск, Па

Рівняння (1) є зручним для розуміння процесу відокремлення вологи, якщо не вдаватися до реального механізму перенесення речовини, який містить ефекти проникнення речовини в прилеглих шарах і в товщі самої мембрани [12]. Загальна проникність речовини не є постійною характеристикою мембрани і залежить від умов процесу. Розрахунки за залежністю (1) дозволили отримати орієнтовні значення необхідної площі фільтрації для проектування експериментального обладнання стосовно проникнення теоретично необхідної кількості вологи  $G$  кг/год (рис. 1), градієнту надлишкового тиску з обох боків мембрани та фактичної проникності, яка залежить від типу обраної мембрани [6].

Для дослідження процесу осушення повітря в лабораторній установці з мембранною тканиною була складена наступна математична модель. Розглянуто сталий рух потоку вологого повітря крізь елементарну площину поперечного перерізу вздовж  $dx$ , м (рис. 3), мембранного модуля осушення повітря. Зменшення вологи  $-dG$ , кг/с, прямо пропорційне перепаду тиску на мембрані ( $P_1 - P_2$ ), Па, та проникності, віднесеної до площі мембрани,  $Q_{pF}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>·Па), при сталому діаметрі рукава  $d$ , м, [12, 13]. Маємо, кг/(с·м):

$$-dG = \pi \cdot d \cdot Q_{pF} \cdot (P_1 - P_2) dx. \quad (3)$$

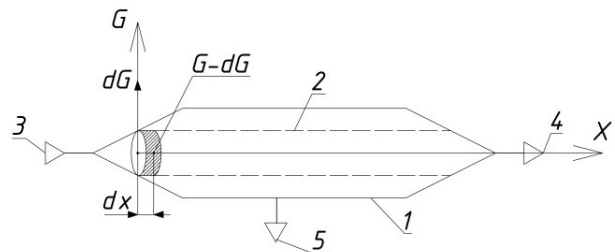


Рис. 3. Схema мембранного модуля  
1-камера розрідження; 2-рукав з мембранної тканини; 3-вхід вологого повітря; 4- вихід осушеного повітря;

Інтегрування рівняння (3) дає залежність для визначення зменшення потоку вологи при русі повітря вздовж мембранного модуля, кг/с:

$$-G = \pi \cdot d \cdot Q_{pF} \cdot (P_1 - P_2) x + C. \quad (4)$$

Для експериментального дослідження загальної проникності обраної мембрани  $Q_{pF}$ , кг/(с·м<sup>2</sup>·Па) розроблена дослідна установка (рис. 4).

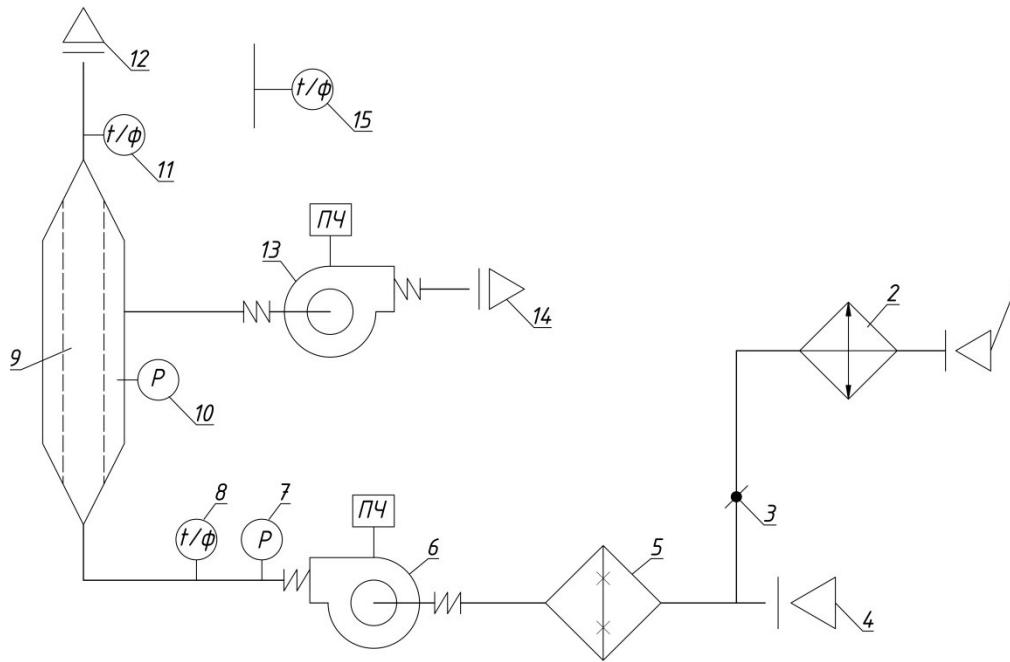


Рис. 4 Схема експериментальної установки:

1 і 4-входи повітряного потоку; 2 - охолоджувач; 3 – регулювальний дросель-кран; 5 – паровий зволожувач повітря; 6,13 – радіальний вентилятор з частотним перетворювачем; 6 – датчик температури та вологості повітря в приміщенні; 7 – цифровий диференціальний манометр ДМЦ-01М з трубкою Піто; 8,11 – каналний датчик температури та відносної вологості повітря; 9 – мембранний модуль осушення повітря; 10 – датчик тиску; 12 – вихід осушеного потоку повітря; 14 – вихід повітряного потоку та пермеату; 15-датчик температури та відносної вологості повітря в приміщенні

Для регулювання температури й вологості повітря до схеми було долучено охолоджувач та зволожувач повітря. Мембрана закріплена таким чином, що розділяє об'єм камери на дві ізолювані одна від одної частини. Зволожене повітря подавалося на мембранну секцію осушення, а в просторі між мембраною та стінками камери постійно підтримувалося розрідження, значення якого контролювалося цифровим мікроманометром. Приладом для вимірювання температури та вологості повітря фіксувалися значення відповідних параметрів на вході та на виході з секції осушення повітря

Площа поверхні мембрани в експериментальній установці розрахована за формулою (2). Перепад тиску на мембрані для умов проведення експериментального дослідження проникності мембрани становив 250 Па. Значення проникності мембрани для розрахунку її площі приймалося  $1,5 \cdot 10^{-5}$  кг/(с·м·Па) [6].

Значення витрати потоку повітря варіювалось у діапазоні від 0 до 400 м<sup>3</sup>/год, що відповідало питомому повітряному навантаженню для кожної серії експериментів 9,8; 19,6; 39,2; 78,4; 156,9 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) відповідно. У ході експерименту за допомогою секцій обробки повітря штучно створювалися та підтримувалися умови початкових параметрів повітря (температура та відносна вологість) перед подачею повітря до

секції мембранного осушення, а також контролювалися значення параметрів повітря після секції мембранного осушення. За значеннями початкових та кінцевих параметрів повітря з *i-d*-діаграми розраховувалася зміна вологовмісту в процесі оброблення повітря.

На рис. 5 подана апроксимована залежність зміни вологовмісту повітря від питомого значення повітряного потоку на поверхню мембрани при сталому перепаді тиску на мембрані  $\Delta P = 250$  Па. Для умов експерименту оптимальне значення становило 89 м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>). При цьому зменшення вологовмісту  $\Delta d$  спостерігалось у межах 1,1...1,2 г/кг.

На рис. 6 представлено залежність значення проникності від кількості вологи, що проходить крізь мембрану.

Отриманні експериментальні данні дозволяють розрахувати фактичне значення коефіцієнта проникності мембрани та розрахувати фактичне значення зменшення вологи в потоці повітря. За результатами розрахунків побудована графічна залежність зменшення кількості вологи в потоці повітря, що обробляється, в мембранному модулі (рис. 7). Також на рис. 7 наведено теоретичне зменшення вологи в повітрі при проходженні його вздовж модуля за залежністю (4).

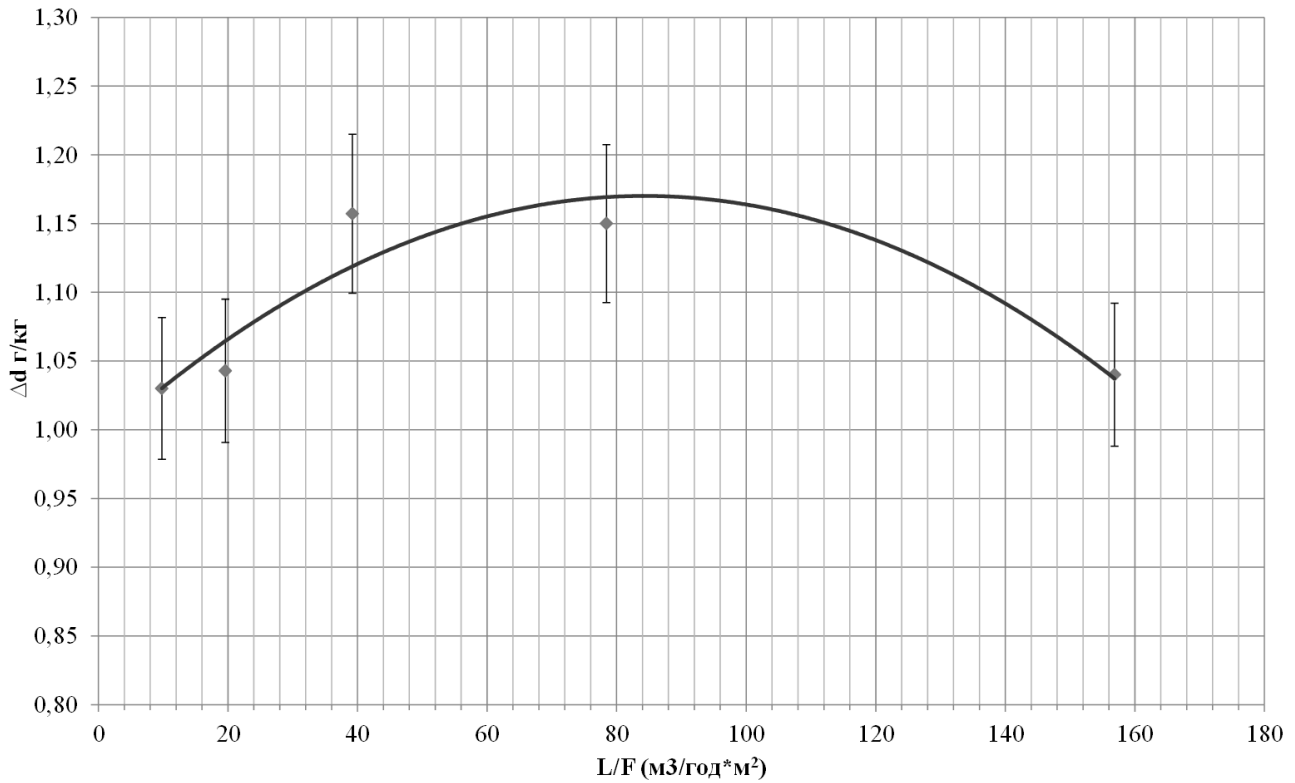


Рис. 5. Експериментальна залежність величини осушення від питомого повітряного навантаження

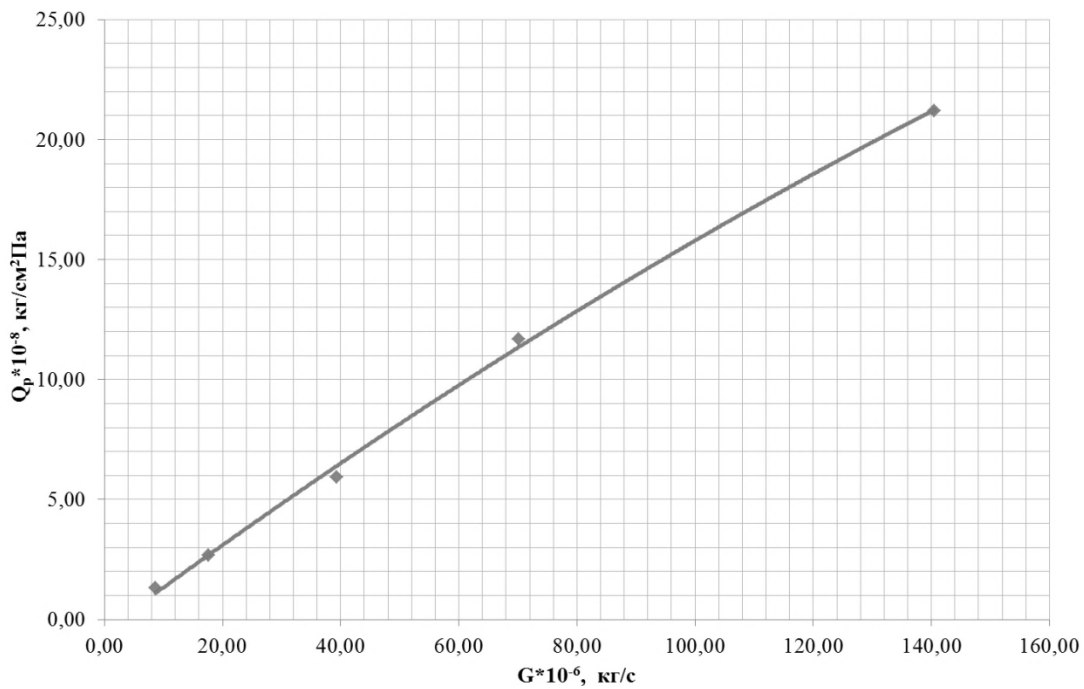


Рис. 6. Експериментальна залежність проникності від кількості вологи що проходить через мембрану

**Висновки.** Отримані результати матимуть практичне застосування при послідовній багатоступеневій обробці повітря охолодженням та мембранним осушенням. Експериментальні данні дозволяють зробити висновок, що напівпроникна мембрана може застосовуватися для осушення в системах кондиціонування повітря для уникнення можливого обмерзання теплообмінника за низької температури охолодження.

Найбільше значення осушення  $\Delta d$  в експерименті становило 1,1...1,2 г/кг. Суттєву розбіжність експериментальних та теоретичних даних, наведених на рис. 7, можна пояснити врахуванням не всіх капілярних та інших ефектів на мембрані, що пов'язано з браком необхідних характеристик мембрани. Оптимальне повітряне навантаження на мембрану для умов експерименту складає 80 м³/(год·м²).

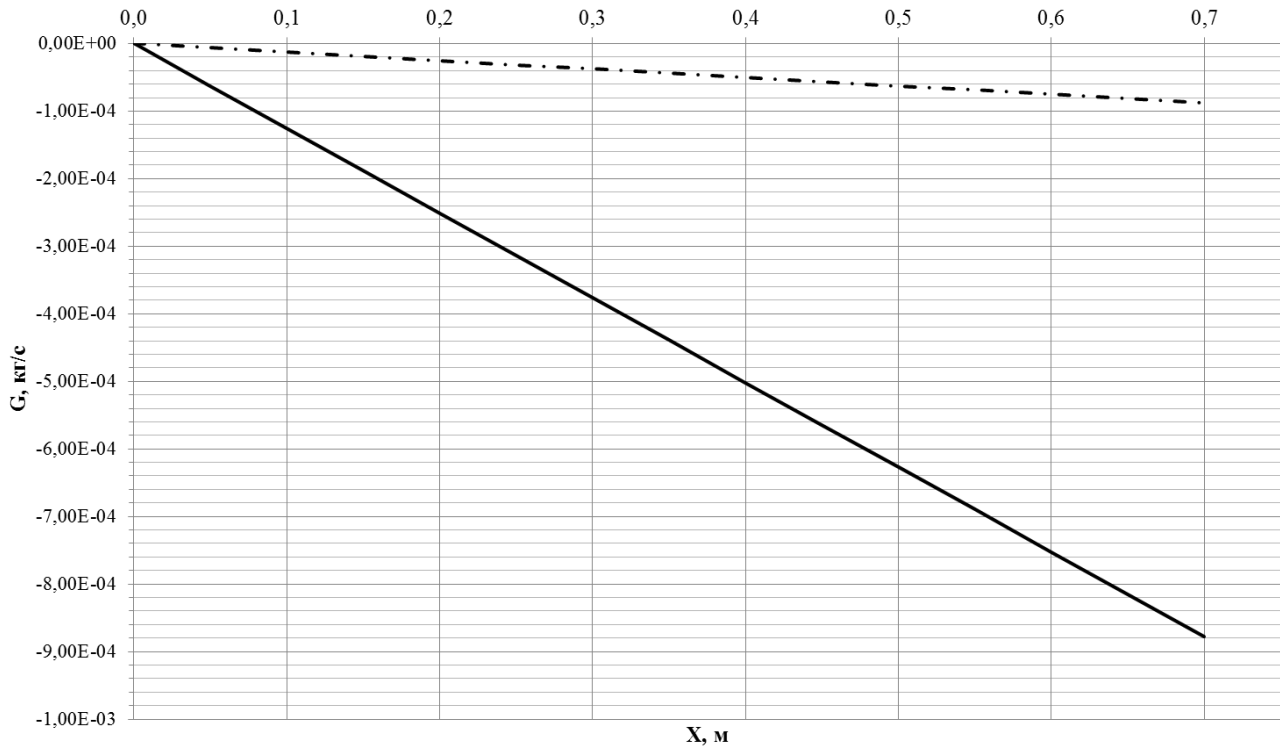


Рис. 7. Зменшення вологовмісту повітряного потоку по довжині мембранного модуля при обробці повітря в секції мембранного осушення (суцільна лінія – теоретична залежність ф.(4); пунктирна лінія – апроксимовані експериментальні дані)

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження будуть направлені на розроблення конструкції для корисної моделі осу-

шувача повітря з використанням напівпроникних мембран та уточненню й поглибленню теоретичних положень.

#### Література

1. Гордеева А. В. Плодоовощеводство. Производственное обучение / А. В. Гордеева, Н. И. Козлов, В. В. Скорина. – Минск: Урожай, 2002. – 432 с. – ISBN: 985-04-0506-6.
2. Хмельнюк М. Г. Современные технологии осушения воздуха / М. Г. Хмельнюк, Д. И. Важинский, Н. В. Жихарева // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 3. – с. 15-21.
3. Липа А. И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. второе, перераб., доп. – Одеса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», 2010. – 607с., ил. – ISBN 978-966-413-146-6..
4. Hua Liu Lowering the regeneration temperature of a rotary wheel dehumidification system using exergy analysis / Hua Liu, Yi Jiang // Energy Conversion and Management. – 2015. – Vol. 89. – p. 162-174.
5. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. – Чинні від 01.01.20184. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 43 с.
6. Membrana Dachowa Strotex 1300 Basic [Electronic resource] / Folnet. – Skórzewo, – Access mode <https://folnet.pl/towar/membrana-dachowa-strotex-1300-basic>. – Title from the screen. – Access date 28.02.2018.
7. Zadoiannyi O. V. Exergoeconomic Analysis of Air Cooling Systems / O. V. Zadoyannyi, Y. M. Yevdokymenko // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2016. – Вип. 20. – с. 14-23.
8. Bergmair Daniel. Design of a system for humidity harvesting using water vapor selective membranes / Daniel Bergmair. – Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 2015. – 149 p.
9. Гамаюнов Н. И. Массоперенос в пористых и дисперсных материалах / Н. И. Гамаюнов // Вестник ТвГТУ. – 2012. – вып 22. – с. 46-54. – ISSN 2224-63
10. Левин Е. В. Мембранные системы регулировки влажности воздуха / Е. В. Левин, А. Ю. Окунев // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – вып 3. – с. 505-511.
11. Окунев А. Ю. Перспективы применения мембранных технологий при эксплуатации зданий / А. Ю. Окунев // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – вып 5. – с. 389-394.
12. Хванг С.-Т. Мембранные процессы разделения / С.-Т. Хванг, К. Каммермейер. – Москва: Химия, 1981. – 464 с.

13. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. – Москва: Мир, 1992. – 513 с.

#### References

1. Gordeeva A. V., Kozlov N. I. Skorina V. V. *Plodoovoshchevodstvo. Proizvodstvennoe obuchenie*. Urozhai, 2002.
2. Khmelniuk M. G., Vazhinsky D. I., Zhikharev N. V. “Modern technologies of air drying”, *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia*, No. 3, 2014, pp. 15-21.
3. Lipa A. I. *Konditsionirovanie vozdukha. Ocnovy teorii. Sovremennyye tekhnologii obrabotki vozdukha*. Izdatelstvo VMV», 2010.
4. Hua Liu, Yi Jiang. “Lowering the regeneration temperature using a rotary wheel dehumidification system using exergy analysis”. *Energy Conversion and Management*, vol. 89, 2015, pp. 162-174.
5. *Pokryttia budivel i sporud*. DBN 2.6-220: 2017, Ukrarkhbudinform, 2017.
6. “Membrana Dachowa Strotex 1300 Basic” *Folnet: Electronic resource*, <https://folnet.pl/towar/membrana-dachowa-strotex-1300-basic>. – Title from the screen. Accessed 28 February 2018.
7. Zadoyannyi O. V., Yevdokymenko Y. M. “Exergoeconomic Analysis of Air Cooling Systems.” *Ventylatsiia, osvitlennia ta teplohozopostachannia: Naukovo-tekhnichniy zbirnyk*, Iss. 20, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 46-54.
8. Bergmair D. *Design of a system for humidity harvesting using water vapor*. Technische Universiteit Eindhoven, 2015.
9. Gamaiunov N. I. “Massoperenos v poristyykh I dispersnykh materialakh.” *Vestnik TvGTU*, Iss. 22, 2012, pp 46-54.
10. Levin E. V., Okunev A. Yu. “Membrannyye sistemy regulirovki vlazhnosti vozdukha.” *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. Iss. 3, 2010, pp. 505-511.
11. Okunev A. Yu. “Perspektivy primeneniia membrannykh tekhnologii pri ekspluatatsii zdaniy.” *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. Iss. 5, 2009, pp. 389-394.
12. Hvang S.-T., Kammermeier K. *Membrannyye protsessy razdeleniia*. Khimiia, 1981.
13. Mulder M. *Vvedenie v membrannuiu tekhnologiu*. Mir, 1992.

#### УДК 697.94

### Экспериментальные исследования осушения воздуха с использованием синтетических полупроницаемых мембран в системах кондиционирования воздуха

А. В. Задоянный<sup>1</sup>, Ю. М. Евдокименко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [alvasil21@gmail.com](mailto:alvasil21@gmail.com)

<sup>2</sup> аспирант Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, [bonnesante91@gmail.com](mailto:bonnesante91@gmail.com)

*Аннотация. Хранение сельскохозяйственной продукции в регламентированных условиях требует круглогодичного и круглосуточного поддержания параметров воздушной среды - температуры и относительной влажности - в определенных диапазонах, которые устанавливаются технологическим регламентом для каждого вида такой продукции. Для поддержания относительной влажности системы кондиционирования воздуха оборудуют секциями осушения. В процессе осушения в системах кондиционирования воздуха расходуется большое количество энергии по сравнению с другими стадиями обработки воздуха. Современные исследования в области технологического кондиционирования воздуха направлены на повышение эффективности протекания процессов обработки воздуха с одновременным уменьшением энергозатрат. В последних исследованиях применяют в основном адсорбционные процессы осушения, которые не уменьшают радикально затраты энергии. Полупроницаемые мембраны не получили широкого применения в системах технологического кондиционирования воздуха, но имеют реальную перспективу обеспечить энергоэффективное осушения в системах кондиционирования воздуха по сравнению с традиционными конденсационным и адсорбционным методами. Они позволяют кроме снижения расхода энергии на осушку воздуха избежать негативного явления обледенения теплообменника. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований по оценке возможности применения полупроницаемых мембран с целью осушения воздуха склада для хранения сельскохозяйственной продукции. Приведены результаты экспериментальных исследований уменьшения влагосодержания в секции мембранного осушения, приведена экспериментальная зависимость производительности осушения от удельной воздушной нагрузки на мембрану. Полученные результаты дают возможность практического применения мембранного осушения при последовательной многоступенчатой обработке воздуха в системах кондиционирования воздуха с чередованием стадий охлаждения и мембранного осушения воздуха.*



*Ключевые слова: кондиционирования воздуха; полупроницаемая мембрана; осушения воздуха; проницаемость паров влаги; удельная производительность осушения.*

**UDC 697.94**

## **Experimental Studies of Air Dehumidification Using Synthetic Semipermeable Membranes in Air Conditioning Systems**

O. Zadoyannii<sup>1</sup>, Yu. Evdokimenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor. National University of Construction and Architecture, City Kiev, Ukraine, Alvasil21@Gmail.com

<sup>2</sup> Post-graduate student. Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv, Ukraine, bonnesante91@gmail.com

*Annotation. Storage of agricultural products in regulated conditions requires year-round and round-the-clock maintenance of the air environment parameters - temperature and relative humidity - in certain ranges, which are established by the technological regulations for each type of such products. To maintain relative humidity, air conditioning systems are equipped with dehumidification sections. During dehumidification, air conditioning systems consume a large amount of energy compared to other air treatment stages. Modern research in the field of technological air conditioning is aimed at increasing the efficiency of air treatment processes with simultaneous reduction of energy costs. In recent studies, mainly adsorption drying processes are used, which do not reduce radically the energy expenditure. Semipermeable membranes have not been widely used in air conditioning systems, but have a realistic prospect of providing energy-efficient dehumidification in air conditioning systems compared to traditional condensation and adsorption methods. They allow, in addition, reducing the energy consumption for air-drying, avoiding the negative phenomenon of icing of the heat exchanger. In this paper, we present the results of experimental studies to evaluate the feasibility of using semipermeable membranes for drying air in a storage warehouse for agricultural products. The results of experimental studies of moisture content reduction in the membrane dehumidification section are presented; the experimental dependence of drainage performance on the specific air load on the membrane is given. The obtained results allow the practical application of membrane dehumidification in the successive multistage treatment of air in air conditioning systems with alternating cooling and membrane drying of air.*

*Keywords: air conditioning; semipermeable membrane; dehumidification of air; moisture vapour permeability; specific drainage capacity.*

Надійшла до редакції / Received 25.02.2018

УДК 504.064.2: 004.925.8

## Оцінка ефективності середовища будівель щодо впливу на людину за кількома параметрами на основі точкового числення

В. О. Єгорченков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, egval@ukr.net, ORCID:000-0003-2910-0331

*Анотація.* Згідно з законом оптимуму в екології, кожний фактор має відповідний діапазон (зона оптимуму), у якому людина почувається комфортно. Якщо значення фактору виходять поза межі цього діапазону, то організм пригнічується. При формуванні середовища в будівлях важливо, щоб значення факторів максимально наближалися до зони оптимуму. Тому метою даної роботи є розробка комплексної оцінки різноманітних факторів, які впливають на людину. Критерієм оцінки в даній роботі прийнято продуктивність праці. Криві зміни продуктивності праці від того чи іншого фактору описувалися точковими рівняннями. Для практичної реалізації приймалися три фактори: температура, відносна вологість повітря в приміщенні, а також кутлова висота світлового вектору. Криві зміни продуктивності праці від цих факторів наносилися на один графік. Вздовж осі абсцис відкладалися значення факторів у частках від комфортних значень. Це дало змогу визначити коефіцієнти впливу факторів один відносно одного. Для комплексної оцінки формувалася точкова множина поверхонь розрахункових або вимірних значень. З використанням формули коефіцієнта варіації визначалося середнє відхилення від комфортного значення за кожним фактором. На завершення, визначалося середньозважене значення відхилення за всіма оцінюваними факторами з урахуванням коефіцієнтів впливу. Найкращим рішенням середовища в будівлі буде те, у якому середньозважений критерій оцінки набуває мінімального значення.

*Ключові слова:* закон оптимуму, комплексна оцінка, продуктивність праці, точкове числення, коефіцієнти впливу, комфортні значення.

### Постановка проблеми і її актуальність.

Людина постійно знаходиться під впливом різноманітних факторів: температура, світло, радіація, звук та ін. Дія цих факторів є різноплановою та неоднаковою. Для забезпечення максимальної працездатності людини та якості її відпочинку необхідно визначити комбінації зазначених параметрів для досягнення комфортного стану людини. Тому актуальним є завдання створення методів визначення оптимальної комбінації параметрів середовища приміщень задля забезпечення комфортного стану людини з урахуванням її фізіологічних потреб.

**Останні дослідження та публікації.** Згідно з законом оптимуму в екології [1], кожен фактор має відповідний діапазон, у якому організм почуває себе комфортно (рис.1). Цей діапазон називається зоною оптимуму. Зміна величини фактору як в один, так і в інший бік призводить до пригнічення організму. І чим більше відхилення від зони оптимуму, тим більше організм пригнічується. Максимальні та мінімальні значення фактору, які переносяться організмом – це критичні точки, за межами яких існування вже неможливе.

Межі витривалості між критичними точками називають екологічною валентністю живих істот

стосовно конкретного фактору середовища. Реакція людського організму є аналогічною розглянутій. Якщо значення того чи іншого параметру знаходяться в зоні оптимуму, то по перше, у людини гарне самопочуття, по друге, продуктивність праці знаходиться на високому рівні. Це підтверджується низкою досліджень [2-6]. І навпаки, при виході із цього діапазону погіршується самопочуття, знижується продуктивність праці, швидше з'являється втома тощо.

Однак, на людину можуть діяти відразу декілька різнорідних за своєю фізичною суттю факторів, які в тому або іншому ступені мають вплив на продуктивність праці: температура, освітленість, звукове поле, відносна вологість повітря та ін. Ці фактори впливають не однаково. Більш того, зміна одного фактору може впливати на сприйняття іншого, і навпаки. Тому постає питання при проектуванні середовища, як правильно зробити комплексну оцінку впливових факторів. Це вирішувалося в основному за допомогою інтуїції фахівців. У роботі [5] була спроба оцінити низку факторів, але це вирішено з невеликою точністю і лише для світлових факторів, які впливають на продуктивність зорової праці.

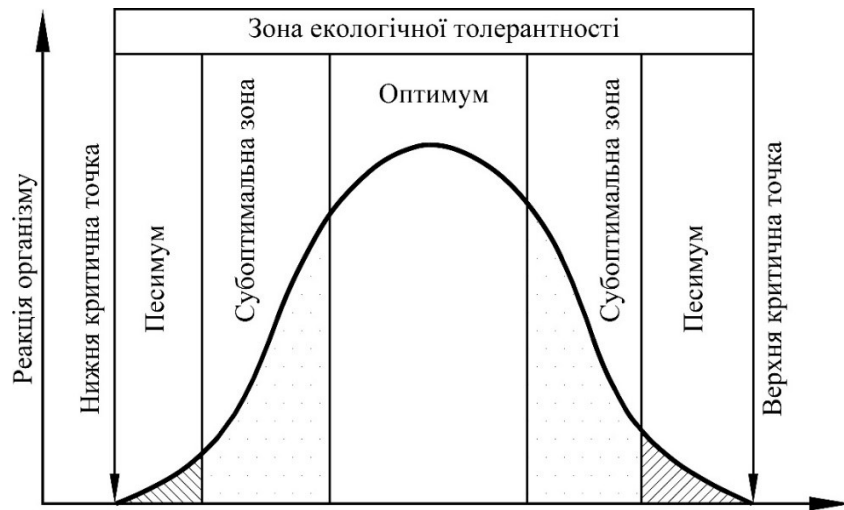


Рис. 1. Схема дії факторів середовища на живі організми

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є розробка методу комплексної оцінки різноманітних за своєю фізичною суттю екологічних факторів, що впливають на людину, для покращення її здоров'я і збереження продуктивності праці на високому рівні при формуванні комфортного середовища в приміщеннях з використанням точкового числення.

**Основна частина.** Якщо прийняти продуктивність праці основним критерієм оцінки впливу на стан людини того чи іншого фактору, то наукові дослідження надали достатній обсяг результатів вивчення впливу різноманітних факторів на цей критерій.

Так К. Даніелс [2] досліджував вплив температури на продуктивність розумової праці (рис. 2 а). В [3] представлені дані про вплив відносної вологості повітря приміщення (рис. 2 б), а в [5] досліджувався вплив характеристик освітлення (рис. 2 в).

Для оцінки використовуємо температуру, відносну вологість і, наприклад, кутову висоту світлового вектору

(крива 3, рис. 2в), яка має найбільший вплив серед світлотехнічних факторів. Ці фактори, як видно з графіків, мають різну фізичну основу, різні одиниці вимірювання і різний вплив на людину.

Щоб здійснити комплексну оцінку, треба знайти спільні риси. По перше, всі ці фактори підкоряються закону оптимуму. По друге, всі вони мають максимуми в точці найбільш приємного (комфортного) сприйняття людиною даного фактору. Ці риси і будемо враховувати при розробці методу оцінки.

Якщо сумістити всі криві на одну позначку осі абсцис, яка відповідає комфортному стану людини, а масштаб цієї осі вибрати не в абсолютних одиницях, а відносно до комфортного значення (верхній індекс «к»), то отримаємо картину, за допомогою якої можна порівнювати ці показники (рис.3). Як бачимо, перша й третя криві (рис. 2 а, в) мають форму еліпса, а друга крива (рис. 2 б) має форму параболи.

У точковому численні [7] ці криві мають наступні рівняння:

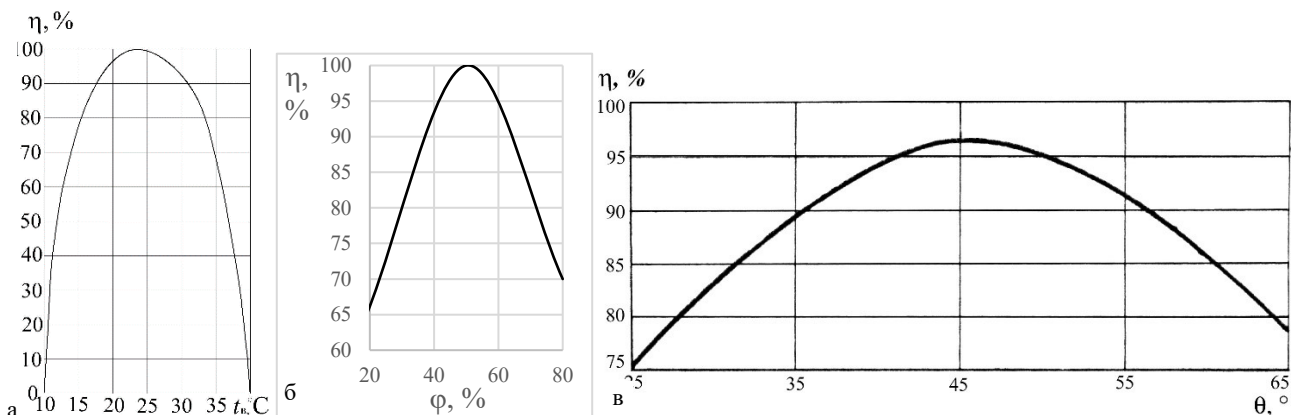


Рис.2. Графіки впливу різних факторів на продуктивність праці  $\eta$ , %:

а – температури  $t$ , °C; б – відносної вологості  $\phi$ , %; в – кутова висота світлового вектору  $\theta$ , °

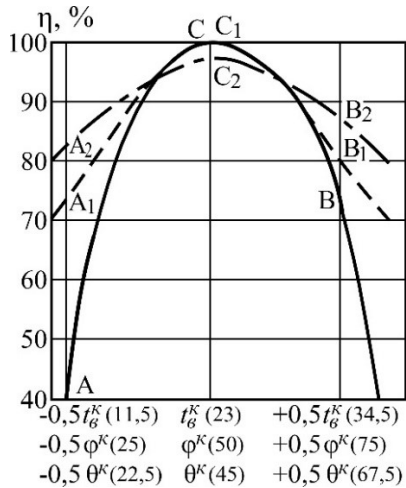


Рис. 3. Графіки впливу різних факторів на продуктивність праці у відносних одиницях:

суцільна лінія – температури;  
пунктир – відносної вологості;

штрих-пунктир – кутової висоти світлового вектору

$$M_t = A \frac{(1-u)(1-2u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + B \frac{u(2u-1)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + C \frac{2u(1-u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)}; \quad (1)$$

$$M_\varphi = A_1(1-u)(1-2u) + 4C_1u(1-u) + B_1u(2u-1); \quad (2)$$

$$M_\theta = A_2 \frac{(1-u)(1-2u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + B_2 \frac{u(2u-1)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + C_2 \frac{2u(1-u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)}, \quad (3)$$

де  $M_t$ ,  $M_\varphi$ ,  $M_\theta$  – поточні точки на відповідних кривих;  $u$  – параметр рівнянь, який визначає три криві та змінюється від нуля до одиниці:

$$u = k/l; \quad (4)$$

$k$  – порядковий номер точки сканування,  $k = 0, 1, 2, \dots, l$ ;  $l$  – кількість прийнятих точок сканування, залежить від прийнятої точності.

Рівняння (1-3) вказують на залежність продуктивності праці від температури  $t$ , °С, відносної вологості  $\varphi$ , %, і кутової висоти світлового

вектору  $\theta$ . Перше рівняння в симплексі  $ABC$  (характерні точки, які задаються із експериментальних або розрахункових даних), наступне рівняння (2) в симплексі  $A_1B_1C_1$ , і останнє рівняння (3) в симплексі  $A_2B_2C_2$ .

Із рис. 3 видно не однозначність впливу факторів та різну їхню значущість. Найбільший вплив із трьох наведених факторів має температура, найменший – кутова висота світлового вектору. Коефіцієнти впливу відносно температури повітря в приміщенні:

$$\kappa_\varphi = \frac{q(A\kappa_{\varphi a}(1-u)(1-2u) + 4C\kappa_{\varphi c}u(1-u) + B\kappa_{\varphi b}u(2u-1))}{A(1-u)(1-2u) + Bu(2u-1) + 2Cu(1-u)},$$

$$\kappa_\theta = \frac{A\kappa_{\theta a}(1-u)(1-2u) + B\kappa_{\theta b}u(2u-1) + 2C\kappa_{\theta c}u(1-u)}{A(1-u)(1-2u) + Bu(2u-1) + 2Cu(1-u)},$$

$$q = - + - \quad (5)$$

де  $\kappa_{\varphi t}$  – коефіцієнт впливу відносної вологості повітря стосовно його температури;  $\kappa_{\theta t}$  – те ж саме, кутової висоти світлового вектору;  $\kappa_{\varphi a}$ ,  $\kappa_{\varphi b}$ ,  $\kappa_{\varphi c}$ ,  $\kappa_{\theta a}$ ,  $\kappa_{\theta b}$  та  $\kappa_{\theta c}$  – коефіцієнти впливу в характерних точках відповідних кривих:

$$\kappa_{\varphi a} = A_1/A, \dots, \kappa_{\theta c} = C_1/C. \quad (6)$$

Результати реалізації отриманих рівнянь (1-6) у середовище MathCAD наведена на рис. 4.

У більшості точок приміщення значення того чи іншого параметра буде відрізнятися від комфортного. Задача спеціалістів полягає в тому, щоб при проектуванні будівлі в кожній точці приміщення ці відхилення були мінімальними.

Таке завдання може вирішуватися двома шляхами. Перший – в абсолютному плані. Підраховується сума відхилень від комфортного значення у всіх точках. Другий шлях – відносний. Спочатку знаходиться найкращий варіант або першим шляхом, або експериментальним шляхом (еталонний варіант), а потім здійснюється порівняння всіх варіантів відносно еталонного.

Для визначення оцінного показника за кожним параметром можна використати формулу коефіцієнта варіації, яка використовується в математичній статистиці.

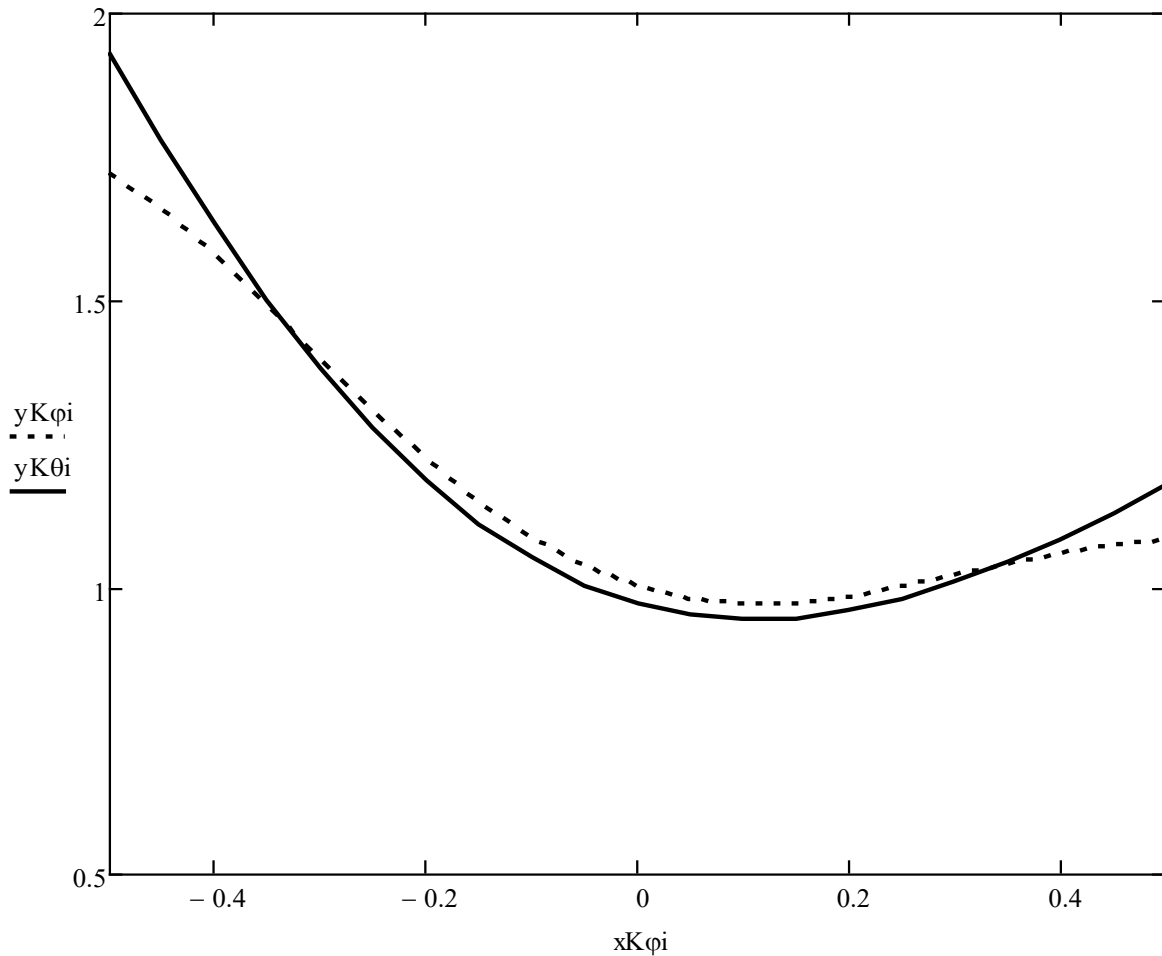


Рис.4. Криві коефіцієнтів впливу на продуктивність праці

Перший шлях. Формується множина розрахункових точок методом точкового числення [8]

$$C_{1p} = \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{1ij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}};$$

$$C_{2p} = \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{2ij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}};$$

...

$$C_{Np} = \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{Nij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}, \quad (7)$$

де  $D_{Nij}$  – точкова множина поверхні розрахункових/вимірних значень оцінюваного параметра даного фактору (рис.5);  $D_k$  – комфортне (нормоване) значення оцінюваного параметра даного фактору;  $i, j, m, n$  – порядковий номер та кількість розрахункових точок в обох напрямках;

$N$  – кількість оцінюваних факторів. У цьому випадку комфортним буде одне значення, своє для кожного параметра в межах даного приміщення у вигляді горизонтально розташованої площини з точками сканування, які мають однакову координату  $z$ .

Другий шлях. Припустимо, що є приміщення, варіанти середовища якого треба оцінити відносно іншого еталонного приміщення, у якого інший характер змін оцінюваних факторів (рис.6). Підраховується критерій оцінки за кожним фактором  $C_{Np}$  за наступними формулами:

$$C_{1p} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{1ij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2} / \sqrt{m \cdot n};$$

$$C_{2p} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{2ij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2} / \sqrt{m \cdot n};$$

...

$$C_{Np} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{Nij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2} / \sqrt{m \cdot n}, \quad (8)$$

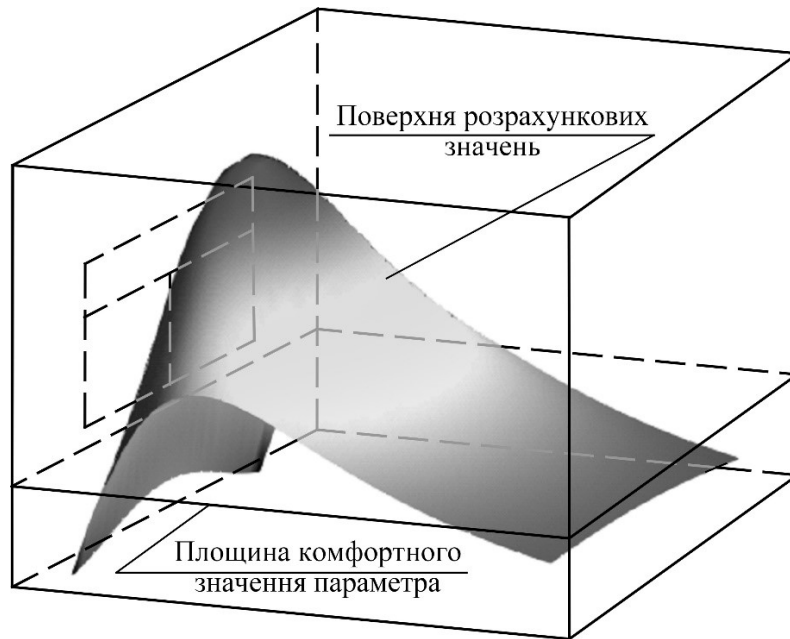


Рис.5. Приклад поверхні розрахункових значень

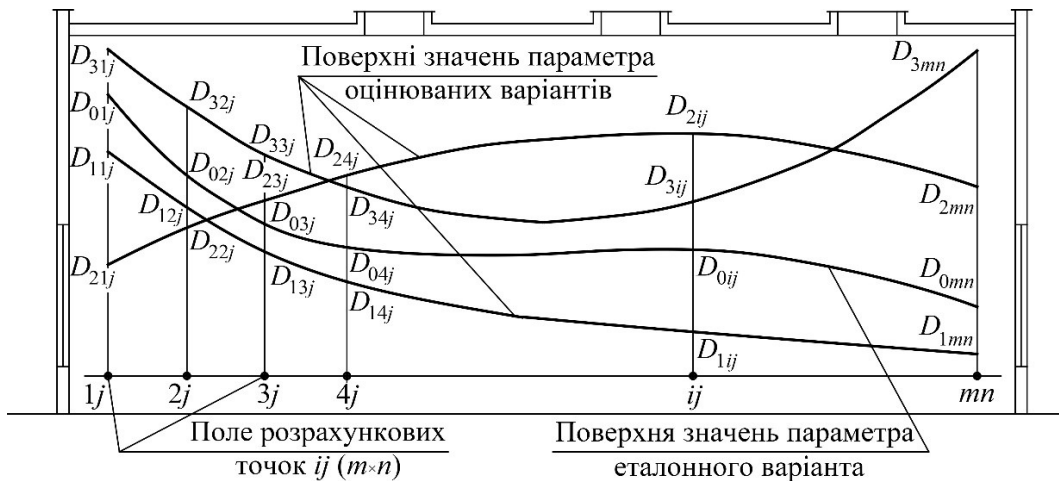


Рис.6. Поверхні точкових множин значень параметрів (в розрізі будівлі), які оцінюються (розрахункових  $D_{Nij}$ ) зі значеннями еталонного варіанту  $D_{oij}$ .

де  $D_{oij}$  – точкова множина поверхні розрахункових/вимірних значень параметра даного фактору еталонного варіанту.

Якщо оцінка здійснюється за декількома варіантами рішень будівлі, серед яких є і еталонний, тобто найбільш досконалий за раніше проведеними дослідженнями або розрахунками, то координати точок сканування (розрахункових точок) всіх варіантів повинні збігатися.

Розглянемо квадрат різниці, наприклад,  $(D_{Nij} - D_{oij})^2$ . У точковому численні з використанням метричного оператора [9] ця різниця буде визначатися наступним чином:

$$\sum_{D_1, D_o}^{D_o} = \sum (D_1 - D_o)^2 = |D_1 D_o|^2;$$

$$\begin{aligned} \sum_{D_2, D_o}^{D_o} &= \sum (D_2 - D_o)^2 = |D_2 D_o|^2; \\ &\dots \\ \sum_{D_N, D_o}^{D_o} &= \sum (D_N - D_o)^2 = |D_N D_o|^2, \end{aligned} \quad (9)$$

або в координатному вигляді:

$$|DD_o|^2 = (x_D - x_{D_o})^2 + (y_D - y_{D_o})^2 + (z_D - z_{D_o})^2. \quad (10)$$

Тут  $D_N, D_o$  – поточні точки сканування розрахункових і еталонних поверхонь, які описуються наступними рівняннями в симплексі

ABCFO в чотиривимірному просторі (наприклад, три координати простору і одна координата часу):

$$D_{ij} = Ap(u, v, w, t) + Bq(u, v, w, t) + Cr(u, v, w, t) + Fs(u, v, w, t) + Qf(u, v, w, t) \quad (11)$$

За отриманими залежностями можна порівняти обидва варіанти (табл. 1). Підставляємо отримані координати до рівняння (10) і результат до рівняння (8). Отримуємо значення оцінного показника за кожним впливовим фактором середовища.

Наприкінці визначається середньозважений критерій оцінки, який підраховується для всіх варіантів рішень будівель, що розглядаються при проектуванні:

$$C1_o = \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot C1_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p}; \quad C2_o = \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot C2_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p};$$

...

$$CN_o = \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot CN_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p}, \quad (12)$$

де  $N_o$  – номер варіанта рішення будівлі;  $CN_p$  – значення оцінного показника за кожним параметром середовища;  $k_p$  – коефіцієнти, які враховують ступінь впливу кожного параметра;  $\xi$  – кількість параметрів, за якими здійснюється оцінка.

У результаті приймається той варіант будівлі, у якого середньозважений критерій оцінки  $CN_o$  набуває мінімального значення, оскільки середнє відхилення від комфортного (нормативного) або еталонного значення мінімальне.

**Висновки.** Розроблений метод комплексної оцінки внутрішнього середовища в будівлях щодо дії різноманітних екологічних факторів дозволяє формувати ефективне середовище при мінімальних витратах енергії і коштів, що підвищить рівень енергоефективності будівель. Результати досліджень цієї роботи доведено до розробки алгоритму.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальших дослідженнях будуть розроблятися програми формування ефективних середовищ. У результаті їхнього використання буде знижено рівень енергоспоживання будівель.

Таблиця 1

Рівняння для порівняння варіантів

Варіант, який оцінюється	Еталонний варіант
$x_{D1ij} = x_{A1}p_1 + x_{B1}q_1 + x_{C1}r_1 + x_{F1}s_1 + x_{Q1}f_1;$ $y_{D1ij} = y_{A1}p_1 + y_{B1}q_1 + y_{C1}r_1 + y_{F1}s_1 + y_{Q1}f_1;$ $z_{D1ij} = z_{A1}p_1 + z_{B1}q_1 + z_{C1}r_1 + z_{F1}s_1 + z_{Q1}f_1;$	
$x_{D2ij} = x_{A2}p_2 + x_{B2}q_2 + x_{C2}r_2 + x_{F2}s_2 + x_{Q2}f_2;$ $y_{D2ij} = y_{A2}p_2 + y_{B2}q_2 + y_{C2}r_2 + y_{F2}s_2 + y_{Q2}f_2;$ $z_{D2ij} = z_{A2}p_2 + z_{B2}q_2 + z_{C2}r_2 + z_{F2}s_2 + z_{Q2}f_2;$	
...	
$x_{DNij} = x_{AN}p_N + x_{BN}q_N + x_{CN}r_N + x_{FN}s_N + x_{QN}f_N;$ $y_{DNij} = y_{AN}p_N + y_{BN}q_N + y_{CN}r_N + y_{FN}s_N + y_{QN}f_N;$ $z_{DNij} = z_{AN}p_N + z_{BN}q_N + z_{CN}r_N + z_{FN}s_N + z_{QN}f_N;$	$x_{Doij} = x_{Ao}p_o + x_{Bo}q_o + x_{Co}r_o + x_{Fo}s_o + x_{Qo}f_o;$ $y_{Doij} = y_{Ao}p_o + y_{Bo}q_o + y_{Co}r_o + y_{Fo}s_o + y_{Qo}f_o;$ $z_{Doij} = z_{Ao}p_o + z_{Bo}q_o + z_{Co}r_o + z_{Fo}s_o + z_{Qo}f_o.$

**Примітка.**  $x_{A1}, x_{B1}, x_{C1}, x_{F1}, \dots, x_{Ao}, x_{Bo}, x_{Co}, \dots$  – координати опорних вершин симплексів відповідних поверхонь, які задаються, виходячи з розрахунків або вимірювань;  $p_1, q_1, r_1, s_1, f_1, p_o, q_o, r_o, s_o, f_o$  – функції параметрів при відповідних координатах, які залежать від типу поверхонь.

### Література

1. Чернова Н. М. Общая экология / Н. М. Чернова, А. М. Былова. – М.: Издательство Дрофа 2004. - 416 с.
2. Daniels K. Klimatisieren oder nur heizen / K. Daniels // Technische Rdsch. – 1971. – №13.
3. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди. – Москва: Стройиздат, 1981. – 248 с.
4. Хамидов К. А. Совершенствование естественного освещения в производственных зданиях с использованием пространственных характеристик светового поля (на примере предприятий швейной промышленности): автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.23.10 / К. Х. Хамидов; Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. – Москва, 1988. – 16 с.
5. Егорченков В. А. Эффективность систем комбинированного естественного освещения производственных зданий и ее оценка с использованием пространственных характеристик светового поля: дис ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Егорченков Владимир Алексеевич; Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. – Москва, 1982. – 205 с.
6. Завьялов Е. М. Совершенствование систем естественного освещения производственных зданий метизной промышленности (на основе пространственных характеристик светового поля): автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.23.10 / Е. М. Завьялов; Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. – Москва, 1989. – 22 с.
7. Балюба И. Г. Замена симплекса в уравнении плоской кривой и его приложения / И. Г. Балюба, Е.В. Конопацкий // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького. – 2016. – Вип. 6. – с. 12-18.
8. Егорченков В. А. Средняя яркость четырехугольного окна в условиях полусферического неба / В. А. Егорченков // Прикладна геометрія та інженерна графіка: зб. наук. праць / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2011. – Вип. 87. – с. 128-132.
9. Балюба И. Г. Точечное исчисление: Учебное пособие / И.Г. Балюба, В.М. Найдыш. – Мелитополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015 – 234 с.

### References

1. Chernova N. M., Bylova A. M. *Obshchaia ekologiia*. Yzdatelstvo Drofa, 2004.
2. Daniels K. "Klimatisieren oder nur heizen." *Technische Rdsch*, no. 13, 1971.
3. Bankhidi L. *Teplovoi mikroklymat pomeshchenii: Raschet komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniiam cheloveka*. Stroiizdat, 1981.
4. Khamidov K. A. Sovershenstvovanie estestvennogo osveshcheniia v proizvodstvennykh zdaniiax s ispolzovaniem prostranstvennykh kharakterystyk svetovoho polia (na primere predpriatii shveinoi promyshlennosti) Dys. abstract. Moscow Engineering Building Institute, 1988.
5. Yehorchenkov V. A. Effektivnost sistem kombinirovannogo estestvennogo osveshcheniia proizvodstvennykh zdanii i ee otsenka s ispolzovaniem prostranstvennykh kharakteristik svetovogo polia. Dys. abstract. Moscow Engineering Building Institute, 1982.
6. Zavialov E. M. *Sovershenstvovanie sistem estestvennogo osveshcheniia proizvodstvennykh zdanii metiznoi promyshlennosti (na osnove prostranstvennykh kharakteristik svetovogo polia)*. Dys. abstract. Moscow Engineering Building Institute, 1989.
7. Baliuba I. H., Konopatskyi E. V. "Zamena simpleksa v uravnenii ploskoi krivoi i ego prilozheniya." Suchasni problemy modeliuвання: zб. nauk. prats, Iss. 6, Melitopolskii derzhavnyi pedahohichniy universytet im. B. Khmelnytskoho, 2016, pp. 12-18.
8. Yegorchenkov V. A. "Sredniaia yarkost chetyrekhugolnogo okna v usloviakh poluiasnoho neba." *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 87, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2011, pp. 128-132.
9. Baliuba I. H., Naidysh V. M. *Tochechnoe ischyslenie*, Yzd-vo MGPU im. B. Khmelnitskogo, 2015.



УДК 504.064.2:004.925.8

## Оценка эффективности среды зданий по влиянию на человека нескольких параметров на основе точечного исчисления

В. А. Егорченков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц., Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, egval@ukr.net, ORCID:000-0003-2910-0331

*Аннотация. Согласно закону оптимума в экологии, каждый фактор имеет определённый диапазон (зона оптимума), в котором человек чувствует себя комфортно. Если значения фактора выходят из этого диапазона, организм угнетается. При формировании среды в зданиях важно, чтобы значения факторов в максимальной степени приближались к зоне оптимума. Поэтому целью данной работы является разработка комплексной оценки действующих на человека разнородных факторов. В качестве критерия оценки в данной работе принята производительность труда. Кривые изменения производительности труда от того или иного фактора описывались точечными уравнениями. Для практической реализации принималось три фактора: температура и влажность воздуха в помещении, а также угловая высота светового вектора. Кривые изменения производительности труда от этих факторов совмещались на один график. По оси абсцисс откладывались значения факторов в долях единиц от комфортных значений. Это дало возможность определить коэффициенты влияния факторов друг относительно друга. Для комплексной оценки формировалось точечное множество поверхностей расчётных или измеренных значений. Используя формулу коэффициента вариации, определялось среднее отклонение от комфортного значения по каждому фактору. В завершении определялось средневзвешенное значение отклонения по всем оцениваемым факторам с учётом коэффициентов влияния. Наилучшее решение среды в здании будет то, в котором средневзвешенный критерий принимает минимальное значение.*

*Ключевые слова: закон оптимума, комплексная оценка, производительность труда, точечное исчисление, коэффициенты влияния, комфортные значения*

UDC 504.064.2:004.925.8

## Estimation of the Efficiency of Building Environment Using Influence of Several Parameters on People, Based on the Point Calculus

V. O. Yehorchenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph. D., Assistants professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, egval@ukr.net, ORCID:000-0003-2910-0331

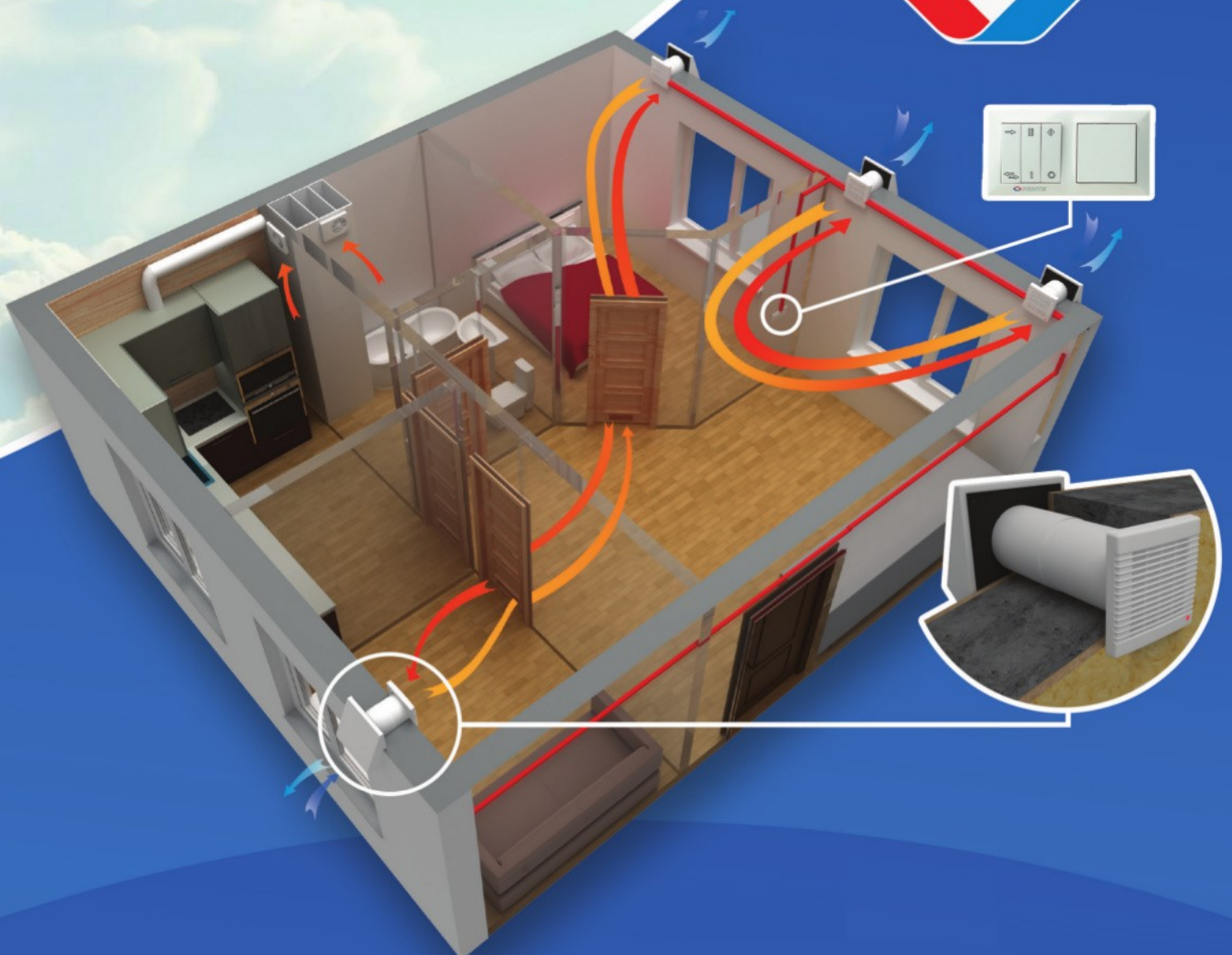
*Abstract. According to the law of optimum in ecology, each factor has a certain range (the optimum zone), in which a person feels comfort. If the factor values come out of this range, the body is depressed. When designing environment in buildings, it is important that the values of the factors should be as closer as possible to the optimum zone. Therefore, the goal of this paper is developing a comprehensive estimation of the various factors acting on humans. Labour productivity is accepted in this paper as the estimation criterion. The curves of changes in labour productivity from one or another factor were described by point equations. For practical implementation, three factors were taken: temperature and relative humidity of the air in the room, as well as angular height of the light vector. The curves of changes in labour productivity from these factors were combined into one graph. The values of factors in fractions of units from comfort values were plotted along the abscissa axis. This made it possible to determine coefficient of influence of factors relative to each other. For complex estimation, a point set of surfaces of calculated or measured values was formed. Using the formula for coefficient of variation, the average deviation from the comfortable value for each factor was determined. Finally, the average weighted deviation was determined for all the factors being evaluated, taking into account the coefficients of influence. The best solution of the environment in the building corresponds to the minimum of the weighted average criterion.*

*Keywords: law of optimum, comprehensive estimation, labour productivity, point calculation, coefficient of influence, comfortable value*

Надійшла до редакції / Received 06.02.2018.



# ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ ПРОВІТРЮВАЧІ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ



**Провітрювачі ТвінФреш** – просте та ефективне рішення для організації децентралізованої енергоощадної вентиляції окремих кімнат у квартирах, приватних будинках, соціальних та комерційних приміщеннях.

- ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПРИМІЩЕННЯ ЧИСТИМ ПОВІТРЯМ
- ВІДВОДЯТЬ ВІДПРАЦЬОВАНЕ ПОВІТРЯ З ПРИМІЩЕННЯ
- ОЧИЩАЮТЬ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ ТА КОМАХ
- ЗАПОБИГАЮТЬ ВИНИКНЕННЮ НАДМІРНОЇ ВОЛОГОСТІ ТА ПОЯВИ ПЛІСНЯВИ
- ЗАХИЩАЮТЬ ВІД ВУЛИЧНОГО ШУМУ
- ПОВЕРТАЮТЬ ТЕПЛО І ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ БАЛАНС ВОЛОГОСТІ В ПРИМІЩЕННІ
- ЗМЕНШУЮТЬ ВИТРАТИ НА ОПАЛЕННЯ ВЗИМКУ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ВЛІТКУ
- ПРАЦЮЮТЬ З МІНІМАЛЬНИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ



УДК 697.34

## Параметры тепловой сети при пониженном температурном графике

И.А. Редько<sup>1</sup>, А.А. Редько<sup>2</sup>, А.В. Приймак<sup>3</sup>, Н.Г. Ланцберг<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова, г. Харьков, Украина, gemes\_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

<sup>2</sup>д.т.н., проф. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 02opriymak@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, natan.lanzberg@gmail.com

*Аннотация. В современной экономической ситуации в Украине эксплуатация систем теплоснабжения ведётся при пониженной температуре сетевой воды. Повышенный температурный график 95/70°C из-за высокой стоимости топлива является нецелесообразным. Опыт таких стран как Дания, Германия, Финляндия, Швеция и Голландия с развитым централизованным теплоснабжением указывает на необходимость первоочередного оборудования индивидуального теплового пункта (ИТП) здания системой автоматического регулирования, после чего выполняется переход на технологию с пониженным температурным графиком. Поэтому модернизация систем теплоснабжения Украины, направленная на применение пониженного температурного графика, потребует перехода на закрытые независимые системы отопления, на качественно-количественное регулирование и на автоматизацию систем ИТП потребителей. В настоящей работе приведены результаты численного исследования влияния конструктивных и режимных параметров тепловой сети на выбор оптимальной температуры и расхода сетевой воды системы централизованного теплоснабжения (СЦТ). Определено существенное влияние отопительной характеристики  $k-F$ , Вт/К, здания на параметры СЦТ, определены фактические значения  $k-F$  некоторых жилых домов по данным натурных исследований. Полученные фактические данные ниже расчётных значений  $k-F$ , что требует повышенной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе. Снижение температурного графика потребует снижения энергопотребления в жилых домах и административных зданиях.*

*Ключевые слова: тепловая сеть, пониженный температурный график, численное исследование.*

**Введение.** Развитие централизованного теплоснабжения в странах ЕС идёт по пути, позволяющем использовать его преимущества [1, 2, 3]. Теплофикация обеспечивает минимальный расход топлива на производство тепловой и электрической энергии. Крупные источники более подготовлены к использованию низкокалорийных сортов топлива. Их экономичнее оснастить газоочистными установками и обеспечить на них проведение экологических мероприятий. Совместное использование различных источников теплоты для параллельной работы на единые тепловые сети обеспечивает повышение их экономичности. Совместная работа источников позволяет перейти от качественного регулирования отпуска теплоты к качественно-количественному и количественному регулированию с переменным расходом теплоносителя, что обеспечивает сокращение тепловых потерь и улучшенный гидравлический режим системы. Перспективным техническим решением является понижение максимальной температуры сетевой воды. Снижение температуры подаваемой сетевой воды на 1 °C увеличивает выработку электрической энергии на ТЭЦ на 0,1-0,3 %. При этом потери теплоты понижаются на 0,3 %. В

настоящее время технические возможности потребителей позволяют достичь достаточно низкой температуры обратной сетевой воды. Это позволяет увеличить перепад температуры подающего ( $t_{np}$ , °C) и обратного ( $t_{обp}$ , °C) теплоносителя у потребителя  $\Delta t = t_{np} - t_{обp}$ , К, а также понизить расход теплоносителя не увеличивая диаметр трубопроводов тепловой сети. Пониженная температура сетевой воды позволяет применять пластиковые теплоизолированные трубы, что обеспечивает повышение их надёжности.

В настоящее время в условиях модернизации систем централизованного теплоснабжения с целью повышения их энергоэффективности осуществляется внедрение количественного регулирования. Опыт внедрения показывает, что приведённые затраты на 40-50 % меньше, чем при качественном регулировании. Совмещение качественного и количественного регулирования позволяет снизить теплопотребление в переходные периоды отопительного сезона до 50 % [2].

**Состояние проблемы.** Изменение нагрузки в тепловой сети – отключение некоторых промышленных предприятий, переход на децентрализованное теплоснабжение потребителей –

приводит к изменению гидравлических режимов системы централизованного теплоснабжения при качественном регулировании. Во многих городах Украины с целью экономии природного газа системы центрального теплоснабжения эксплуатируются с пониженными параметрами температурного графика. При этом в системе циркулирует завышенное количество теплоносителя. Это является либо нарушением нормативных параметров, либо связано с повышением энергетической и экономической эффективности [1, 4, 5, 6]. Мероприятия, выполняемые при реконструкции зданий и модернизации систем отопления, обеспечивают снижение необходимой тепловой мощности системы теплоснабжения [6, 7, 8]. Но эксплуатация систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) с завышенным расходом теплоносителя и недостаточно эффективными системами автоматизации приводит к «перетопам» в жилых домах и административных зданиях, а также значительным потерям теплоты. Поэтому при модернизации СЦТ необходимо обоснование температурного графика для каждой системы теплоснабжения [3, 9, 10, 11, 12].

При существующей системе отопления зданий и графике 95/70 °С обеспечивается разность температуры  $\Delta t = t_{np} - t_{обp} = 20$  К при значении теплотехнической характеристики оборудования системы отопления здания, Вт/К,  $k \cdot F = \text{const}$ . При увеличении расхода теплоносителя и при постоянной тепловой нагрузке потребителя перепад температуры  $\Delta t$ , К, понижается. При понижении тепловой мощности системы отопления потребителя необходимо понизить температуру поверхности отопительных приборов или увеличить значение  $k \cdot F$ , пропорционально снизив перепад температуры  $\Delta t$ , К. Расход теплоносителя при этом увеличивается. В [5] указывается что замена графика 150/70 °С на 95/70 °С приводит к увеличению расхода теплоносителя в три раза и затрат на транспортировку теплоносителя почти в пять раз. Это указывает на нецелесообразность использования пониженного температурного графика. Перечислим факторы, влияющие на выбор оптимальной температуры теплоносителя: расход теплоносителя; затраты на транспорт; пропускная способность трубопроводов (диаметр); тепловые потери (толщина и материал теплоизоляции); «перетопы» зданий при положительной температуре наружного воздуха из-за срезки графика температуры сетевой воды при наличии систем горячего водоснабжения у потребителей. При модернизации СЦТ и изменении зоны и конфигурации системы теплоснабжения, реконструкции и автоматизации

возникает необходимость обоснования теплового графика отпуска теплоты [21].

Результаты [10, 13] указывают на необходимость корректировки температуры сетевой воды в зависимости от тепловой нагрузки, температуры наружного воздуха, времени суток, т.е. создания динамических температурных графиков. Температурные графики должны составляться индивидуально для каждой СЦТ, и только при этом наблюдается системная экономия расхода топлива. В [11] указывается, что понижение температуры сетевой воды после системы отопления, запроектированной на график 95/70 °С, не реально без технической модернизации и финансовых затрат. Снижение температуры прямой сетевой воды при одновременном увеличении её расхода стало возможным вследствие значительного снижения тепловой нагрузки источников и тепловых магистралей. В [14] приведены данные натурных испытаний режимов СЦТ (г. Витебск). Выполнено сравнение энергозатрат при различных температурных графиках отпуска теплоты в межотопительный период. Установлено, что энергопотребление снижается при режиме теплоснабжения 75/55 °С до центрального или индивидуального теплового пункта. Опыт внедрения количественного регулирования показывает, что приведённые затраты на 40-50 % меньше, чем при качественном регулировании.

Технические возможности потребителей позволяют иметь достаточно низкую температуру обратной сетевой воды, что позволяет сохранить или даже увеличить перепад температуры  $\Delta t$ , К. Так, температурный график 130/70 °С может быть заменён на график 100/40 °С при том же расходе сетевой воды [3]. В работе [15] приведены результаты оптимизации параметров пониженного температурного графика при оптимизации затрат на транспорт теплоносителя. Пониженный температурный график возможен за счёт снижения мощности систем вентиляции помещений при расчётном расходе сетевой воды [16]. Показано, что возможно снижение температуры прямой сетевой воды от 150 °С до 115 °С за счёт снижения общей тепловой мощности системы отопления до 0,706 от проектного значения.

Факторы, влияющие на выбор температурного графика: температура наружного воздуха, пропускная способность тепловых сетей, нагрузка на горячее водоснабжение (ГВС), нагрузка на вентиляцию, нагрузка на отопление: потери через ограждающие конструкции и кратность воздухообмена [7, 8, 25]. Нормативные документы, влияющие на выбор температурного

графика: ДБН В.2.2-15:2015, ДСТУ Б EN 12831, ДБН В.2.5-39:2008, ДБН В.2.5-67:2013, ДСТУ Б EN 15251:2011, ДСТУ Б EN ISO 7730.

Кратность воздухообмена согласно ДБН В.2.5 – 67:2013 в Украине составляет 0,5. Для сравнения: в США – 0,35; Германии – 0,5; Англии – 0,4; Швеции – 0,2. Нормативное снижение кратности воздухообмена в 2,4 раза обеспечивает снижение проектной тепловой нагрузки на 30-35 % [4] и позволяет обосновать замену температурного графика 150/70 °С на 115/70 °С. В Дании, Финляндии, Швеции и Норвегии реализуется температурный график в первичном контуре 120 °С/(50-70 °С) [17-20]. Международные стандарты систем централизованного теплоснабжения приведены в табл. 1. Пределы эффективности использования технологии пониженного температурного графика приведены в табл. 2.

Таблица 1

Стандарты температуры теплоносителя (Финляндия)

Контур системы теплоснабжения	Новые здания		Старые здания	
	Отопление	ГВС	Отопление	ГВС
первичный	115/45	70/25	115/65	70/25
вторичный	70/40	55/10	80/60	55/10

Таблица 2

Температурные графики систем централизованного теплоснабжения (Голландия)

Название системы теплоснабжения	Температура, °С, в трубопроводе	
	прямом	обратном
Высокотемпературное	90	70
Среднетемпературное	55	35-40
Низкотемпературное	45	25-35
Сверхнизкотемпературное	35	25

**Методика исследования.** Выбор оптимального расхода теплоносителя зависит от диаметра трубопровода, толщины и свойств тепловой изоляции, а также температуры сетевой воды [22]. Поэтому при определении температуры теплоносителя необходимо учитывать потери энергии при транспорте и тепловые потери в окружающую среду. Электрическая мощность насосов определяется по формуле [23], Вт/м:

$$P_{эл} = \Delta p_{эл} Q / \eta, \quad (1)$$

где  $\Delta p$  – потери давления на метр трубопровода, Па/м,  $Q$  – объёмный расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – КПД насосной установки.

Формулу (1) можно записать в виде, Вт/м:

$$P_{эл} = 0.86 K_э^{0,25} G_m / (\eta_n \eta_э n^2 \rho^2 D_{вн}^{5,25}), \quad (2)$$

где  $K_э$  – эквивалентная шероховатость, м, внутренней поверхности трубопровода (0,5 мм);  $G_m$  – массовый расход теплоносителя, кг/ч;  $\eta_n$  и  $\eta_э$  – КПД насоса и электродвигателя соответственно, принятые равными 0,6;  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м. Сумма коэффициентов местных сопротивлений принята 0,1.

Потери теплоты (линейная плотность теплового потока), Вт/м, определяются по формуле:

$$q_l = \pi (t_{пр} - t_{окр}) / R_l \quad (3)$$

где  $t_{окр}$  – температура окружающего воздуха, °С;  $R_l$  – линейное термическое сопротивление теплоизолированного трубопровода, м К/Вт:

$$R_l = \ln(D_{из} / D_{тр}) / (2\lambda_{из});$$

$\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·К):  $\lambda_{из} = 0,05$  Вт/(м·К) – для пенополиуретана.

Суммарные удельные потери энергии при неизотермическом транспорте сетевой воды определяются по формуле, Вт/м:

$$P_{\Sigma} = P_{эл} + q_l \quad (4)$$

Массовый расход теплоносителя, кг/с, определяется по формуле:

$$G_m = \frac{Q_{пот}}{2c_p \cdot (t_{пр} - t_{вн} - \frac{Q_{пот}}{K \cdot F})}, \quad (5)$$

где  $Q_{пот}$  – количество теплоты, потребляемое зданием (или зданиями), Вт;  $t_{вн}$  – внутренняя температура помещений, °С;  $c_p$  – теплоёмкость теплоносителя, Дж/(кг К).

Количество теплоты, потребляемое зданием, определялась по формуле:

$$Q_{пот} = G_m c_p \cdot (t_{пр} - t_{обр}). \quad (6)$$

Теплотехническая характеристика здания рассчитывалась по формуле [15]:

$$k \cdot F = \frac{Q_{\text{пот}}}{\frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}}{2} - t_{\text{вн}}} \quad (7)$$

Затраты на транспорт теплоты определялись с учётом тарифов на электроэнергию и теплоту, которые приняты, соответственно,  $C_{эл} = 1,883$  грн/(кВт·ч) и  $C_q = 1,06$  грн/(кВт·ч).

Удельные затраты,  $10^{-3}$  грн/(м·ч):

$$Z_{\Sigma} = P_{эл}C_{эл} + q_l C_q \rightarrow \min. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) выполнено с применением математического планирования эксперимента в зависимости от диаметра и толщины тепловой изоляции трубопровода. В результате определялась температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также расход теплоносителя при минимальных удельных потерях энергии для различных значений температуры наружного воздуха (г. Харьков).

#### Анализ результатов.

В работе приведены результаты моделирования системы теплоснабжения, проложенной в подземном канале. Глубина заложения канала – 1 м; поперечное сечение канала – 0,25 м<sup>2</sup>. Коэффициент теплопроводности стенок канала принят 1,3 Вт/(м·К). Определено существенное влияние теплотехнической характеристики на значения температуры сетевой воды в подаваемом трубопроводе. В табл. 3 приведены данные расчёта при различных значениях  $K \cdot F$ . Теплотехническую характеристику зданий и количество потребляемой теплоты определяли так же при проведении натурных измерений (табл. 4).

Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий определяется согласно [25] и должен быть меньше нормированного значения, которое определяется для различных типов жилых и общественных зданий. В зависимости от этажности зданий и температурной зоны, значение

$q_h^{reg}$  изменяется от 104 до 56 (кВт·ч)/м<sup>2</sup>. Нормативные значения  $q_h^{reg}$  в Германии составляют 96-40 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). По энергетической эффективности здания классифицируются согласно отклонению в процентах  $q_h^{reg}$  от  $E_{max}$ .

Влияние конструктивных параметров трубопроводов исследовалось с применением метода математического планирования эксперимента. План и матрица вычислительного эксперимента приведены в таблицах 5 и 6. Поверхность  $t_{np} = f(D_{np}, \delta_{из})$  показана на рис. 1.

В результате обработки данных вычислительного эксперимента получены уравнения регрессии. Температура теплоносителя в подающем трубопроводе определяется по формуле:

$$\begin{cases} t_{np} = t_{np}^0 + t_{np}^1 \cdot t_{нар}; \\ t_{np}^0 = 48.198 - 3.318X_1 + \\ + 0.213X_2 - 0.133X_1X_2; \\ t_{np}^1 = -1.28 + 0.079 \cdot X_1. \end{cases} \quad (8)$$

Температура теплоносителя в обратном трубопроводе определяется по формуле:

$$\begin{cases} t_{обр} = t_{обр}^0 + t_{обр}^1 \cdot t_{нар}; \\ t_{обр}^0 = 39.145 + 2.57X_1 - 0.155X_2 + \\ + 0.08X_1X_2; \\ t_{обр}^1 = -1.051 - 0.073 \cdot X_1. \end{cases} \quad (9)$$

Результаты определения расчётной температуры сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха представлены на рис. 2. Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 7. Натурные измерения энергетических характеристик жилых домов (г. Харьков), выполнены в 2015-2016 годах. Результаты показали, что их значения превышают нормативные (табл. 8), рекомендуемые ДБН В.2.6 – 31:2006, на 35...75.3%.

Таблица 3.

Влияние теплотехнической характеристики оборудования системы отопления  $K \cdot F$ , Вт/К, на температуру теплоносителя\*

№	$K \cdot F$ , кВт/К	$t_{np}$ , °С	$t_{обр}$ , °С	$G_m$ , кг/с	$\Delta p$ , Па/м	$P_{эл}$ , Вт/м	$q_l$ , Вт/м	$P_{эл} + q_l$ , Вт/м
1	8	91,5	73,5	6,6	114,5	1,265	38,65	39,9
2	10	79,0	61,0	6,6	114,5	1,265	33,37	34,63
3	12	70,6	52,7	6,6	114,5	1,265	29,80	31,11
4	14	64,7	46,7	6,6	114,5	1,265	27,30	28,60
5	16	60,2	42,3	6,6	114,5	1,265	25,45	26,71
6	18	56,8	38,8	6,6	114,5	1,265	24,0	25,24

\*Наружный и внутренний диаметр трубопровода, соответственно,  $D_{нар} = 108$  мм и  $D_{вн} = 100$  мм; толщина тепловой изоляции из пенополиуретана  $\delta_{из} = 60$  мм; тепловая мощность объекта отопления 500 кВт, температура внутреннего воздуха 20°С, температура наружного воздуха 0°С, разница температуры прямой и обратной воды 18°С, скорость воды 0,84 м/с.

Таблиця 4.

Данные натурных испытаний отопительной системы жилых зданий (г. Харьков, февраль 2017 г.)

Адрес жилого дома	г. Харьков ул. Достоевского, 21	г. Змиев ул. Вишневая, 1
Характеристика		
Этажность	9	9
Количество квартир	84	108 (21 отк)
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	4013,26	4465,60
Тепловая нагрузка, Гкал/час	0,4197	0,3501
Средняя температура наружного воздуха, °C	-3,8	-3,5
Температура теплоносителя, °C $t_{np}/t_{обр}$	66/46	49/39
Расход теплоносителя, м <sup>3</sup>	5210,26	5537,83
Тепловая мощность, кВт	162,37	94,11
Удельная тепловая мощность, Вт/м <sup>2</sup>	4,05	21,1
Потребление тепловой энергии, Гкал	130,76	74,124
Характеристика отопительной системы, $K \cdot F$ , кВт/К	5,8	4,0

Таблиця 5.

Факторы плана двухфакторного эксперимента

Название фактора	Кодовое обозначение	Уровни фактора		
		-1	0	+1
Диаметр трубопровода $D_{тр}$ , мм	$X_1$	100	200	300
Толщина изоляции, $\delta_{из}$ , мм	$X_2$	40	55	70
<b>Выход</b> – температура теплоносителя, °C	$Y$	–	–	–

Таблиця 6.

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Y_i$
1	+	-	$Y_1$
2	-	+	$Y_2$
3	+	+	$Y_3$
4	-	-	$Y_4$
5	+	0	$Y_5$
6	-	0	$Y_6$
7	0	+	$Y_7$
8	0	0	$Y_8$
9	0	-	$Y_9$

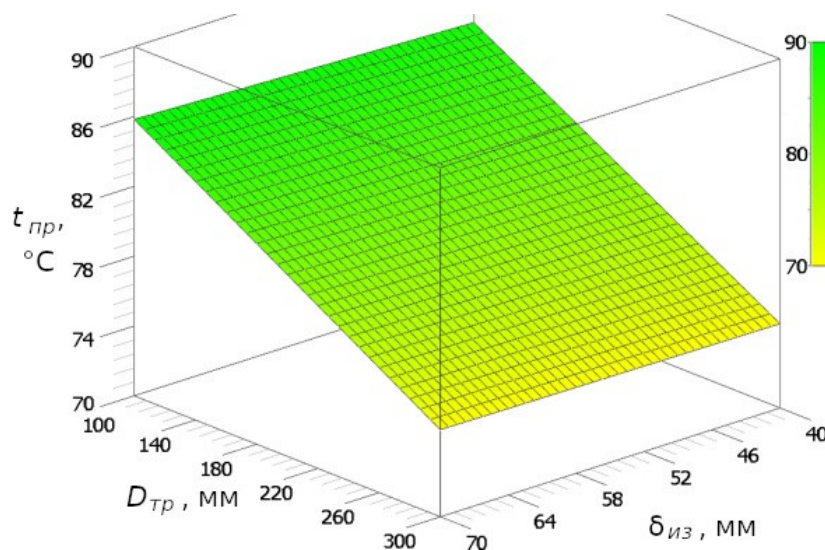


Рис. 1. Поверхность  $t_{np} = f(D_{тр}, \delta_{из}), ^\circ C$



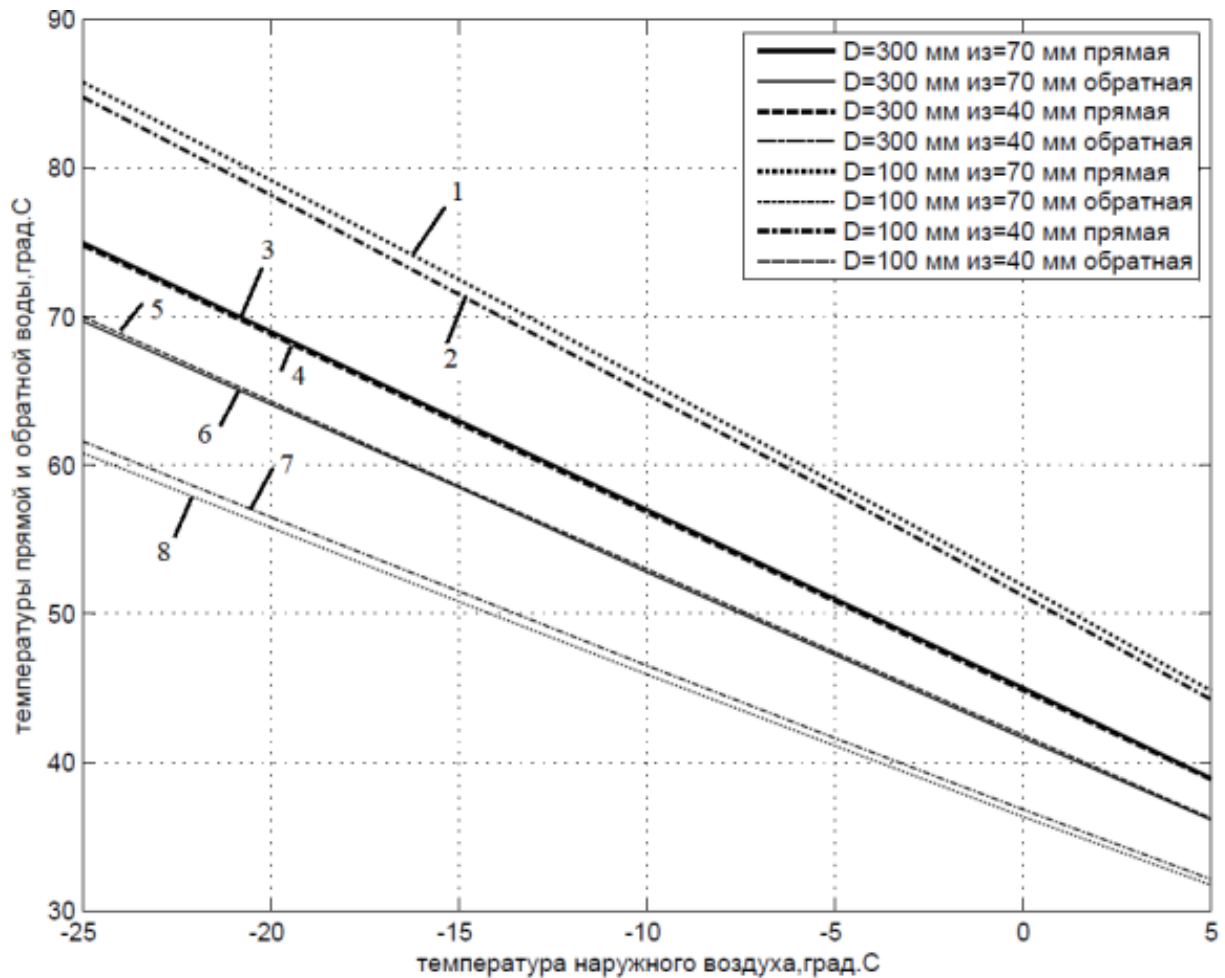


Рис. 2. Зависимость температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха ( $Q_{max} = 600$  кВт;  $K \cdot F = 12$  кВт/К):  
 1 –  $d=100$  мм,  $\delta=70$  мм (прямая вода); 2 –  $d=100$  мм,  $\delta=40$  мм (прямая вода); 3 –  $d=300$  мм,  $\delta=70$  мм (прямая вода);  
 4 –  $d=300$  мм,  $\delta=40$  мм (прямая вода); 5 –  $d=300$  мм,  $\delta=40$  мм (обратная вода); 6 –  $d=300$  мм,  $\delta=70$  мм (обратная вода);  
 7 –  $d=100$  мм,  $\delta=40$  мм (обратная вода); 8 –  $d=100$  мм,  $\delta=70$  мм (обратная вода)

Таким образом, применение пониженного температурного графика в системах теплоснабжения потребует снижения энергопотребления в жилых домах и административных зданиях. На рис. 3 показана зависимость температуры теплоносителя от тепловой нагрузки.

**Выводы.** Определено существенное влияние отопительной характеристики  $K \cdot F$ , Вт/К, здания на параметры СЦТ, определены фактические значения  $K \cdot F$  некоторых жилых домов. Установлено, что фактические данные ниже расчётных значений, что требует повышенной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе. Результаты вычислительного эксперимента позволили определить рациональные конструктивные и режимные параметры СЦТ при различных значениях температуры теплоносителя. Результаты численного исследования показывают, что параметры тепловой сети при максимальной тепловой нагрузке и температуре наружного воздуха минус  $25$  °С следующие:

температура сетевой воды в подающем трубопроводе равна  $76,7$  °С; расход теплоносителя  $5,7$  кг/с, скорость  $0,73$  м/с, удельные потери давления  $85,3$  Па/м, удельные потери электрической мощности на транспорт теплоносителя  $0,81$  Вт/м, удельные тепловые потери  $33,8$  Вт/м. Разность температуры в прямом и обратном трубопроводах изменяется от  $26$  °С до  $30$  °С. При изменении тарифа на электроэнергию и теплоту значение температуры прямой воды и массовый расход также изменяются. При пониженной тепловой нагрузке ( $Q = 0,8 Q_{ном}$ ) за счёт снижения кратности воздухообмена до  $0,5$  в системах вентиляции зданий, что приближается к условиям эксплуатации СЦТ стран ЕС ( $t_{обр} = 40$  °С). Температура теплоносителя в подающем трубопроводе равна  $72$  °С, а в обратном  $51,6$  °С. При снижении тепловой нагрузки на  $40$  % температурный график понижается до  $60/42,5$  °С.

Таблиця 7.

Данные вычислительного эксперимента при температуре наружного воздуха  $t_{нар}$ , °С, наружном и внутреннем диаметре трубопровода, мм, соответственно  $D_{нар}$  и  $D_{вн}$

Номер опыта	$t_{нар}$ , °С	$D_{вн}$ , мм	$D_{нар}$ , мм	$\delta_{из}$ , мм	$t_{пр}$ , °С	$t_{обр}$ , °С	$G_m$ , кг/с	$w$ , м/с	$\Delta p$ , Па/м	$P_{эл}$ , Вт/м	$q_t$ , Вт/м
1	-25	300	308	70	75,0	69,7	28,5	0,40	6,6	0,31	66,4
2	-20	300	308	70	69,0	64,1	27,1	0,38	6,0	0,27	59,1
3	-15	300	308	70	63,0	58,5	25,5	0,36	5,3	0,23	51,8
4	-10	300	308	70	57,0	52,8	23,9	0,34	4,6	0,18	44,5
5	-5	300	308	70	51,0	47,2	22,1	0,31	4,0	0,15	37,2
6	0	300	308	70	45,0	41,6	20,1	0,28	3,3	0,11	29,8
7	5	300	308	70	38,9	36,1	17,8	0,25	2,6	0,08	22,5
8	-25	300	308	40	74,8	70,0	31,1	0,44	7,9	0,41	94,3
9	-20	300	308	40	68,8	64,3	29,5	0,42	7,1	0,35	83,9
10	-15	300	308	40	62,8	58,6	27,8	0,39	6,3	0,29	73,5
11	-10	300	308	40	56,8	53,0	26,0	0,37	5,5	0,24	63,2
12	-5	300	308	40	50,8	47,4	24,1	0,34	4,7	0,19	52,8
13	0	300	308	40	44,8	41,8	21,9	0,31	3,9	0,14	42,3
14	5	300	308	40	38,8	36,2	19,4	0,27	3,1	0,10	31,9
15	-25	100	108	70	85,8	60,8	6,0	0,76	92,9	0,92	36,9
16	-20	100	108	70	79,2	55,8	5,7	0,72	84,2	0,80	33,0
17	-15	100	108	70	72,5	50,8	5,4	0,68	75,3	0,67	29,1
18	-10	100	108	70	65,7	45,9	5,0	0,64	66,3	0,56	25,2
19	-5	100	108	70	58,8	41,1	4,7	0,60	57,1	0,45	21,2
20	0	100	108	70	51,9	36,3	4,3	0,54	47,7	0,34	17,2
21	5	100	108	70	44,8	31,7	3,8	0,49	38,0	0,24	13,2
22	-25	100	108	40	84,8	61,6	6,5	0,82	108,6	1,17	50,8
23	-20	100	108	40	78,2	56,5	6,1	0,78	98,4	1,0	45,4
24	-15	100	108	40	71,5	51,5	5,8	0,74	88,0	0,85	40,0
25	-10	100	108	40	64,8	46,5	5,5	0,69	77,4	0,70	34,6
26	-5	100	108	40	58,1	41,6	5,1	0,64	66,6	0,56	29,2
27	0	100	108	40	51,2	36,8	4,6	0,59	55,6	0,43	23,7
28	5	100	108	40	44,2	32,1	4,1	0,52	44,2	0,30	18,1

Таблиця 8.

Энергетические характеристики жилых домов

Этажность жилых домов	Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	Нормативные значения, кВт/м <sup>2</sup>	Фактические значения, кВт/м <sup>2</sup>
5	3087	89	117
9	7869	73	112,7
16	3656	73	128

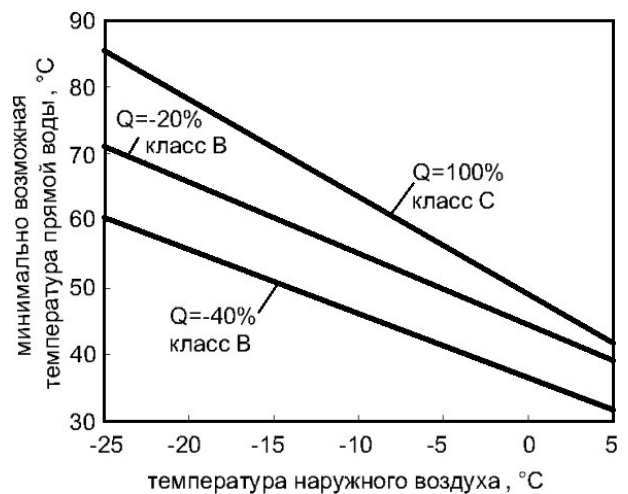


Рис. 3. Температура теплоносителя при различной тепловой нагрузке

Литература

1. Басок Б. І. Перспективи розвитку сфери теплозабезпечення населених пунктів України / Б.І. Басок, О.М. Недбайло // Энергоефективність в будівництві та архітектурі: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2017. – Вип. 9. – с. 31-37.
2. Шарапов В.И. Регулирование загрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. – Москва: Издательство Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.
3. Стенников В. А. Методы комплексного преобразования систем централизованного теплоснабжения в новых экономических условиях: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.14.01 / В. А. Стенников; Сибирское отделение Российской академии наук, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. – Иркутск, 2002. – 50 с.
4. Сафьянц А. С. Анализ температурного графика работы тепловых сетей г. Киева и предложения по его оптимизации / XXVI міжнародна конференція «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики». 20 по 24 вересня 2016 р. в м. Одеса: доповідь. – Режим доступа: <http://engecology.com/konferencii/konferenci%D1%97-2016/>
5. Дорошенко Ж. Ф. О целесообразности использования пониженного графика работы ЦСТ муниципальных систем теплоснабжения [Электронный ресурс] / Ж. Ф. Дорошенко, Г. И. Ковальчук, М. Д. Потапов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Ч.ІІІ. – Харків: НТУ ХПИ, 2017. с. 23. – Режим доступа: [http://pim.net.ua/arch\\_f/tez\\_mic\\_17\\_III.pdf](http://pim.net.ua/arch_f/tez_mic_17_III.pdf)
6. Парасочка С. О. До питання температурних графіків відпуску теплової енергії традиційними системами ЦТ [Електронний ресурс] / С. О. Парасочка // ПП НВЦ «Теплокомплект». Режим доступа: <http://www.tescom.com.ua/work/publications/75/tempgraf.pds>.
7. Кувшинов Ю. Я. Основы обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов, О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2012. – 200 с.
8. Самарин О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / О. Д. Самарин. – Москва: Издательство «АСВ», 2011. – 297 с.
9. Шарапов В. И. Технологии обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, М. Е. Орлов. – Москва: Издательство "Новости теплоснабжения", 2006. – 208 с.
10. Седнин В. А. Оптимизация параметров температурного графика отпуска теплоты в теплофикационных системах / В. А. Седнин, А. В. Седнин, М. Л. Богданович // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика: научно-технический и производственный журнал. – 2009. – № 4. – с. 55-62.
11. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.14 / Б. В. Яковлев; кол. авт. Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2004. – 40 с.
12. Малая Э. М. Теплоснабжение от тепловых сетей ТЭЦ и (роторных) котельных с оптимизацией параметров / Э. М. Малая. – Саратов: Политехнический Институт, 1983. – 48 с.
13. Седнин В. А. Теория и практика создания автоматизированных систем управления теплоснабжением / В. А. Седнин. – Минск: БНТУ, 2005. – 136 с.
14. Черковский Н. М. Оптимизация температурного графика отпуска тепла в межотопительный период / Н. М. Черковский // Энергия и менеджмент. – 2002. – №2. – с. 10-14.
15. Панферов В. И., Гавей О. Ф. Об оптимальном управлении температурой теплоносителя в тепловых сетях / В. И. Панферов, О. Ф. Гавей // Вестник ЮУрГУ, сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2014. – №4. – т. 14. – с. 65-70
16. Петрущенко В. А. Обоснование пониженного температурного графика регулирования центральных систем теплоснабжения / В. А. Петрущенко // Новости теплоснабжения. – 2015. – № 8 (180). – с. 30-37.
17. Кролин А. Эффективное теплоснабжение: датский опыт [Электронный ресурс] / А. Кролин // ЭнергоРынок. – 2005. – № 4. – Режим доступа: [http://www.e.m.ru/er/2005\\_04/22708/](http://www.e.m.ru/er/2005_04/22708/)
18. Пекка Коури. Централизованное теплоснабжение в Финляндии / Пекка Коури // Информ. Бюл. ППВ ЖФ. – 1998. – №5.
19. Гащо Е. Г. О некоторых способах повышения эффективности теплоснабжения: регулирование и автономное отопление / Е. Г. Гащо, В. П. Кожевников // Новости теплоснабжения. – 2007. – №2. – с. 17-22.
20. Loppenhien J.K. Temperature Optimization – Horning District Heatind Company has achieved remarkable results / J.K. Loppenhien, P. Jensen // Holtcool. – 2008. – №1. – pp. 14-15.
21. Давыдов А.Н. Анализ практики применения пониженных температурных графиков в теплоснабжении в зарубежных странах и оценка перспектив использования в системах теплоснабжения, включающих источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, режимов с пониженными температурными графиками в целях повышения энергоэффективности и качества предоставляемых услуг по теплоснабжению: Отчет НИР [Электронный ресурс] / А.Н. Давыдов. – Москва. – 2014. – 170 с. – Режим доступа: <http://gokurce.ru/tinybrowser/files/doc/metodika-o-ponizhenii-temperatury.docx>
22. Каганович Б. М. Равновесное термодинамическое моделирование диссипативных макроскопических систем / Б. М. Каганович, А. В. Кейко. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. – 76 с.

23. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для ВУЗов / Е. Я. Соколов. – Москва: изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
24. Вагин Н. И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов / Н. И. Вагин, Т. В. Самопляс. – СанктПетербург, 2004. – 66 с.
25. ДБН В.2.6-31-2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.04.2017. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 35 с.

#### References

1. Basok B. I., Nedbailo O. M. “Perspektyvy rozvytku sfery teplozabezpechennia naselenykh punktiv v Ukraini.” *Energoeffektivnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, no. 9, 2017, pp. 31-37.
2. Sharapov V. I., Rotov P. V. *Regulirovanie zagruzki sistem teplosnabzheniia*, Izdatelstvo Novosti teplosnabzheniia, 2007.
3. Stennikov V. A. *Metody kompleksnogo preobrazovaniya sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniia v novykh ekonomicheskikh usloviyakh*. Diss. abstract. The L.A.Melentiev Institute of Energy Systems, 2002.
4. Safiants A. S. “Analiz temperaturnogo grafika raboty teplovykh setei g. Kieva i predlozheniia po ego optimizatsii.” *XXVI mizhnarodna konferentsiia «Problemy ekolohii i ekspluatatsii obektiv enerhetyky», 20 - 24 veresnia 2016, m. Odesa: dopovid*, <http://engecology.com/konferencii/konferenci%D1%97-2016/>
5. Doroshenko Zh.F., Kovalchuk G. I., Potapov M. D. “Okazaniye uslug po vnedreniyu i vnedreniyu mikroskhem.” *Informatyvi tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorobia: tezy dopovidei XXV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2017, 17-19 travnia 2017*, vol. III. pp. 23, [http://pim.net.ua/arch\\_f/tez\\_mic\\_17\\_III.pdf](http://pim.net.ua/arch_f/tez_mic_17_III.pdf)
6. Parasochka S.O. “Do pytannya temperaturnykh grafikiv vidpusku teplovoi energii tradytsiinymy systemamy TST” *PP NVTS «Teplokomplekt»*, [http:// www. tecom.com.ua/Work/publications/75/tempgraf.pds](http://www.tecom.com.ua/Work/publications/75/tempgraf.pds).
7. Kuvshinov Yu.Ya., Samarin O. D. *Osnovy obespecheniia mikroklimata zdanii*. Izdatelstvo «ASV», 2012.
8. Samarin O. D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost*. Izdatelstvo «ASV», 2011.
9. Sharapov V. I., Orlov M. E. *Tekhnologii obespecheniia pikovoi nagruzki sistem teplosnabzheniia*. Izdatelstvo “Novosti teplosnabzheniia”, 2006.
10. Sednin V. A., Sednin A. V., Bogdanovich M. L. “Optimizatsiya parametrov temperaturnogo grafika otpuska teploty v teplofikatsionnykh sistemakh.” *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obiedinenii SNG Energetika*, № 4, 2009.
11. Yakovlev B. V. *Povysheniye effektivnosti sistem teplofikatsii i teplosnabzheniia*: Diss. abstract. Belarusian National Technical University, 2004.
12. Malaya E. M. *Teplosnabzhenie ot teplovykh setey TETS i (rotornykh) kotelnykh s optimizatsiei*. Politekhnicheskii Institut, 1983.
13. Sednin V. A. *Teoriya i praktika sozdaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya teplosnabzheniyem*. BNTU, 2005.
14. Cherkovskiy N. M. “Optimizatsiya temperaturnogo grafika otpuska tepla v mezhotopitel'nyy period.” *Energiya i menedzhment*, No.2, 2002.
15. Panferov V. I., Gavei O. F. “Ob optimalnom upravlenii temperaturoi teplonositelia v teplovykh setiakh.” *Vestnik YUURGU, ser. Kompiuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, vol. 14, no. 4, 2014, pp. 65 – 70.
16. Petrushchenkov V. A. “Obosnovanie ponizhennoogo temperaturnogo grafika regulirovaniia tsentralnykh sistem teplosnabzheniia.” *Novosti teplosnabzheniia*, no. 6 (180), 2015.
17. Krolin A. “Effektivnoe teplosnabzheniye: datskii opyt.” *Energorynok*, no. 4, 2005, [http://www.e.m.ru/er/2005\\_04/22708/](http://www.e.m.ru/er/2005_04/22708/).
18. Pekka Kouri. “Tsentralizovannoe teplosnabzhenie v Finlyandii.” *Inform. Byul. PPV ZHF*, no. 5, 1998.
19. Gasho Ye. G., Kozhevnikov V. P. “O nekotorykh sposobakh povysheniia effektivnosti teplosnabzheniia: regulirovaniie i avtonomnoe otoplenie.” *Novosti teplosnabzheniia*, no. 2, 2007.
20. Loppenhien J.K., Jensen P. “Temperature Optimization – Horning District Heatind Company has achieved remarkable results.” *Holtcool*, no. 1, 2008.
21. Davydov A. N. “Analiz praktiki primeneniia ponizhenykh temperaturnykh grafikov v teplosnabzhenii v zarubezhnykh stranakh i otsenka perspektiv ispolzovaniia v sistemakh teplosnabzheniia, vkluchaiushchikh istochniki kombinirovannoi vyrabotki elektricheskoi i teplovoi energii, rezhimov s ponizhennymi temperaturnymi grafikami v tseliakh povysheniia energoeffektivnosti i kachestva predostavliaemykh uslug po teplosnabzheniiu”, <http://gokurce.ru/tinybrowser/files/doc/metodika-o-ponizhenii-temperatury.docx>
22. Kaganovich B. M., Keiko A. V., Shamanskii V. A. *Ravnovesnoe termodinamicheskoe modelirovanie dissipativnykh makroskopicheskikh system*. ISEM SO RAN, 2007.
23. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiia i teplovye seti*. Izdatelstvo MEI, 1999.
24. Vagin N. I., Samoplias T. V. *Sistemy ventilyatsii zhilykh pomeshcheniy mnogokvartirnykh domov*. Sankt-Peterburg, 2004.
25. Teplova isoliatsiia budivel. ДБН В.2.6-31:2016, Укрархбудінформ, 2016.

УДК 697.34

## Параметри теплової мережі при зниженому температурному графіку

І. О. Редько<sup>1</sup>, А. О. Редько<sup>2</sup>, О. В. Приймак<sup>3</sup>, Н. Г. Ланцберг<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна, gemes\_s2006@ukr.net, ORCID:0000-0002-9863-4487

<sup>2</sup>д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, andrey.ua-mail@ukr.net ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, 02opriymak@gmail.com

<sup>4</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, natan.lanzberg@gmail.com

*Анотація.* У сучасній економічній ситуації в Україні експлуатація систем теплопостачання проводиться із низькою температурою мережевої води. Підвищений температурний графік 95/70°C через високу вартість палива є недоцільним. Досвід таких країн як Данія, Німеччина, Фінляндія, Швеція та Голландія з розвиненим централізованим теплопостачанням вказує на необхідність першочергового обладнання індивідуального теплового пункту (ТПП) будівлі системою автоматичного регулювання, після чого виконується перехід на технологію зі зниженим температурним графіком. Тому модернізація систем теплопостачання України, спрямована на застосування зниженого температурного графіка, потребує переходу на закриті незалежні системи опалення, на якісно-кількісне регулювання та автоматизацію систем ТПП споживачів. У даній роботі наведені результати чисельного дослідження впливу конструктивних і режимних параметрів теплової мережі на вибір оптимальної температури і витрати мережевої води системи централізованого теплопостачання (СЦТ). Визначено істотний вплив опалювальної характеристики  $k-F$ , Вт / К, будівлі на параметри СЦТ. Визначені фактичні значення  $k-F$  деяких житлових будинків за даними натурних досліджень. Отримані фактичні дані нижче розрахункових значень  $k-F$ , що вимагає підвищеної температури теплоносія в подавальному трубопроводі. Зниження температурного графіка вимагає зниження енергоспоживання в житлових будинках і адміністративних будівлях.

*Ключові слова:* тепла мережа, знижений температурний графік, чисельне дослідження.

UDC 697.34

## Parameters of a Heat Supply System at a Lower Temperature Chart

I. Redko<sup>1</sup>, A. Redko<sup>2</sup>, A. Priymak<sup>3</sup>, N. Lantsberg<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine, gemes\_s2006@ukr.net

<sup>2</sup>ScD, professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, andrey.ua-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2331-7273

<sup>3</sup>Sc.D, professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com

<sup>4</sup>PhD, associate professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, natan.lanzberg@gmail.com

*Abstract.* In the current Ukrainian economic situation, operation of heat supply systems is under low temperature of the heating-system water. The higher temperature chart of 95/70°C is inexpedient because of high cost of fuel. The experience of such countries as Denmark, Germany, Finland, Sweden, and Holland with developed centralized heat supply proves the necessity of priority equipment of local heat distribution and metering stations (HDMS) of the building with an automatic control system. After that, the technology with a reduced temperature chart should be applied. Therefore, the modernization of heat supply systems in Ukraine aimed to applying the reduced temperature chart will require the transition to closed independent heating systems, to qualitative and quantitative regulation, to automation of HDMS consumers. In the paper, the results of the numerical study of the constructive and operating parameters of influence of a heat supply network on the selection of the optimum temperature and the flow of the heating-system water in a district heating system (DHS) are considered. The significant influence of the heating characteristic  $k-F$  [W / K] of a building on the parameters of the DHS has been determined, the actual values of  $k-F$  of some residential buildings have been determined according to field studies. The obtained actual data is lower than the calculated values of  $k-F$ , which requires increased temperature of the heat carrier in the supply pipeline. Reducing the temperature chart will require a reduction in energy consumption in residential and administrative buildings.

*Keywords:* heat supply, lower temperature chart, numerical study

Надійшла до редакції / Received 12.12.2017

УДК 69.03

## Термомодернізація теплопровідних включень вузлів примикання при встановленні енергоощадних вікон

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, А. М. Очеретний<sup>2</sup>, О. Ю. Материнська<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, ratusnakg@gmail.com

<sup>2</sup>замісник головного директора концерну "Поділля"

<sup>3</sup>асп. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, oksana2718@ukr.net

*Анотація.* Тепловізійним обстеженням фасадів житлових будинків, побудованих з дотриманням сучасних вітчизняних нормативних вимог щодо термічного опору огорожувальних конструкцій, встановлено наявність суттєвих тепловтрат у вузлах примикання віконних рам до стінових огорожувальних конструкцій, що свідчить про невідповідність значень нормованим вимогам термічного опору. Державна політика у сфері забезпечення енергетичної ефективності впроваджує реалізацію в житлово-комунальному господарстві високоефективних технологій при влаштуванні утеплення фасадів будинків з метою зменшення споживання енергоносіїв на опалення в холодний період року. Впровадження енергозберіжливих заходів дозволяє збільшити термічний опір зовнішніх огорожувальних конструкцій. Застосування інноваційних енергоощадних конструктивних вузлів примикання вікон при будівництві дозволить підвищити енергоефективність багатопверхових житлових будинків та зменшити витрати коштів на оплату спожитих енергоносіїв на опалення в холодний період року, а також знизити затрати на кондиціонування повітря в теплий період року. Термомодернізація вікон в існуючих будинках практично не передбачає архітектурно-конструктивних рішень щодо зменшення тепловтрат у вузлах примикання віконних, як правило металопластикових, рам до зовнішніх огорожувальних конструкцій. Теоретично обґрунтована можливість підвищення енергоощадності будівель шляхом термомодернізації вузла примикання вікна до стіни зовнішньої огорожувальної конструкції, що є зоною теплопровідних включень. З метою підвищення енергоефективності будівлі, запропоновано спосіб термомодернізації вікон, шляхом удосконалення архітектурно-конструктивного виконання вузла примикання віконних рам до зовнішніх стін огорожувальних конструкцій.

*Ключові слова:* віконні рами, вузол примикання, енергоефективність, огорожувальна конструкція, тепловтрати, термічний опір, термограма.

**Вступ.** Реалізація державної політики в Україні щодо підвищення енергоефективності будівель передбачає термомодернізацію зовнішніх огорожувальних конструкцій з метою приведення їхньої енергетичної ефективності до нормативних вимог [1, 2]. На опалення житлових будинків в Україні щорічно витрачається понад 70 млн. т умовного палива, що майже втричі перевищує споживання в країнах Європейського Союзу. Для зменшення надмірного споживання в існуючих та новозбудованих будівлях улаштовують теплоізоляцію зовнішніх огорожувальних конструкцій [3, 4]. Однак, порушення рівномірності теплопередачі крізь огорожувальні конструкції в зонах теплопровідних включень є причиною зниження температури на поверхні конструкції, що сприяє погіршенню санітарно-гігієнічного режиму приміщень [5, 6, 7]. Нормативними документами не передбачено дієвих технічних рішень щодо зменшення тепловтрат через термічні неоднорідності зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.

**Актуальність досліджень.** Теплопровідні включення є причиною нерівномірності теплопередачі крізь огорожувальні конструкції. Це

призводить до зниження температури огорожувальних конструкцій всередині приміщення, що створює умови для появи конденсату. Крім того, при експлуатації будівель додаткові тепловтрати підвищують витрати коштів на опалення. Тому виявлення шляхів зменшення негативного впливу теплопровідних включень при експлуатації будівель потребує відповідного обґрунтування доцільності та архітектурно-конструктивної можливості термомодернізації теплопровідних вузлів примикання при влаштуванні теплоізоляції огорожувальних конструкцій.

**Останні дослідження та публікації.** Дослідженнями підвищення енергоефективності будинків за рахунок утеплення вузлів примикання займалися О. М. Кузьменко [8], Н. А. Головченко, П. Г. Фаренюк [10], М. В. Савицький [11], К. Б. Дікарев [11] та інші.

Конструктивне виконання вузла примикання віконної рами до огорожувальної конструкції призводить до появи підвищених тепловтрат приміщення. Запобігти цим недолікам можливо шляхом термомодернізації архітектурно-конструктивного виконання вузла примикання віконного блоку.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є

експериментальне та теоретичне обґрунтування необхідності зменшення негативного впливу теплопровідних включень та розроблення архітектурно-конструктивних рішень щодо термомодернізації теплопровідних зон при влаштуванні вузла примикання вікон.

**Основна частина.** Дослідженнями [8] виявлено недоліки розповсюдженої технології влаштування утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель. Існуючі технології теплоізоляції не в повній мірі забезпечують зменшення тепловтрат у зонах теплопровідних включень, якими є вузли перекриття останнього поверху та

підвальних приміщень, балконна плита, плита перекриття та встановлення вікон.

За результатами тепловізійного обстеження багатоповерхових будинків, побудованих у м. Вінниці концерном "Поділля" з дотриманням нормативних вимог щодо термічного опору зовнішніх стін, виявлено наявність вузлів окремих елементів конструкцій, що потребують архітектурно-конструктивного вдосконалення з метою зменшення тепловтрат у зонах теплопровідних включень (рис.1). Такими зонами є вузли примикання вікон до зовнішніх стін огорожувальних конструкцій.

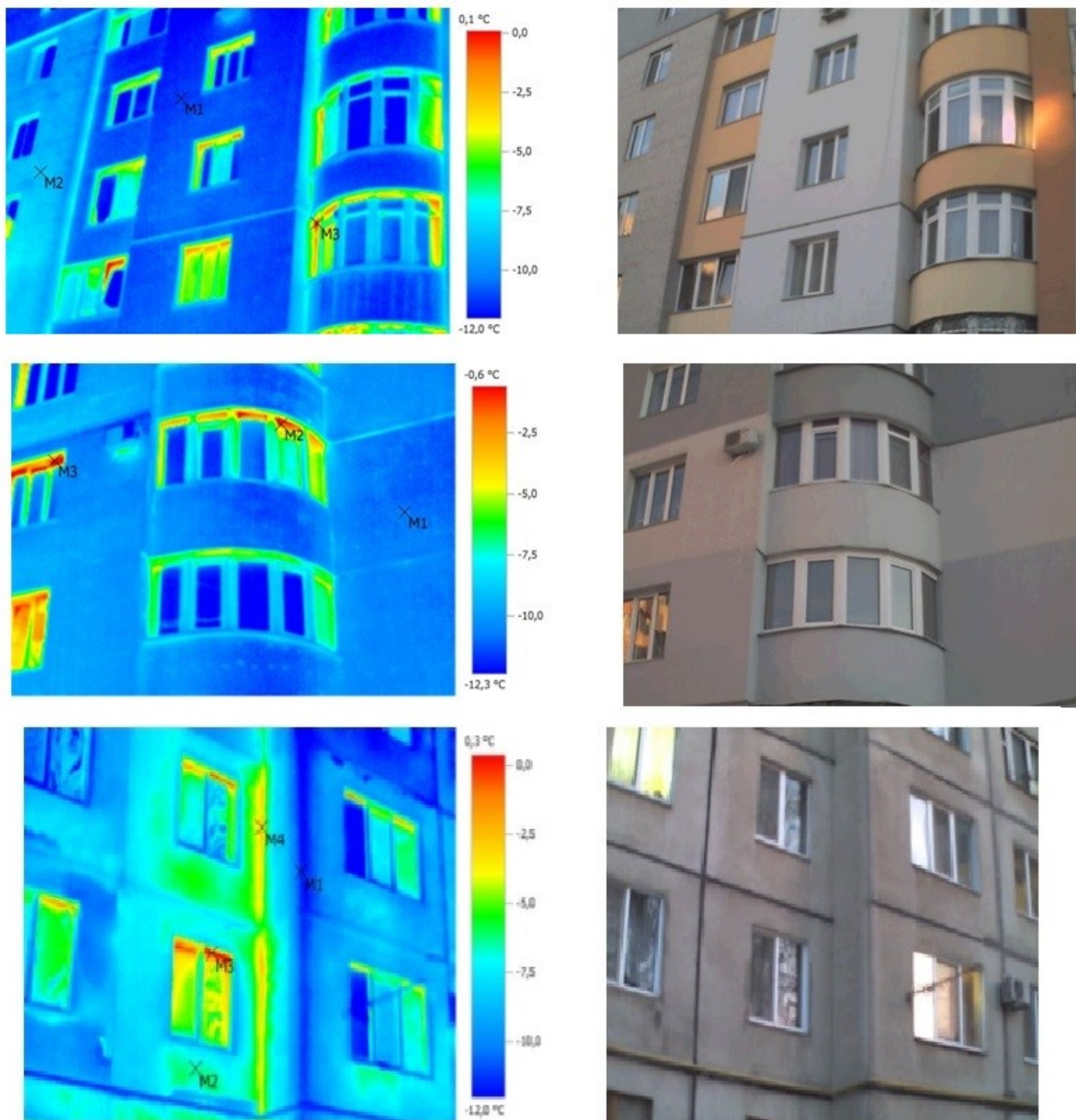


Рис. 1. Термограми та світлини зовнішніх фасадів житлового будинку в м. Вінниці

Відповідно до теоретичних досліджень [7], для двовірного температурного поля укосу віконного прорізу в зовнішній огорожувальній конструкції будівлі, опір теплопередачі залежить від фактору форми  $f_{вік}$ , який визначають для ширини у два калібри (за один калібр прийнято товщину огорожувальної конструкції). Відносна надлишкова температура кута укосу  $\theta_k$  залежить від відносного опору теплопередачі заповнення віконного простору:

$$\theta_k = \frac{T_e - T_0}{T_e - T_z} = f \left( \frac{\delta / \lambda}{R_0} \right), \quad (1)$$

де  $T_e, T_z$  – відповідно, внутрішня та зовнішня температура огорожувальної конструкції, К;  $T_0$  – температура ізотерми температурного поля внутрішньої та зовнішньої частини огорожувальної конструкції, яка збігається з віссю заповнення віконного простору, К;  $\delta_s$  – половина товщини віконної рами, м;  $\delta_o$  – відстань від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за товшки  $\delta_{ок}$  до осі заповнення віконного простору, м;  $\lambda$  – теплопровідність матеріалу огорожувальної конструкції будівлі, Вт/(м·К);  $R_0$  – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції до ізотерми  $T_0$ , м<sup>2</sup>·К/Вт. Аналіз формули (1) свідчить, що підвищити енергоощадність будівель можливо шляхом термомодернізації вузла примикання вікон до прорізів огорожувальних конструкцій, а саме за рахунок вдосконалення конструктивного виконання вузла

примикання. На рис. 2 представлено конструктивне виконання вузла примикання віконного блоку без утеплення та існуючого виду утеплення. Недоліком існуючого способу утеплення зовнішніх стін є те, що він не забезпечує зменшення тепловтрат у вузлах примикання віконних блоків зовні фасаду будинку. Він не дозволяє створити достатнього зовнішнього утеплення та має досить вузькі функціональні можливості щодо підвищення енергоефективності будівлі за рахунок зменшення тепловтрат.

Для підвищення термічного опору вікна запропоновано нову конструктивну схему теплоізоляції при монтажі віконного блоку. Архітектурно-конструктивне рішення вузла примикання віконного блоку до огорожувальної конструкції представлено на рис.3. Таке розміщення утеплювачів за рахунок збільшення опору теплопередачі дозволяє підвищити термічний опір вузла примикання та температуру всередині приміщення, що запобігає утворенню конденсату в місці примикання віконного блоку до зовнішньої стіни огорожувальної конструкції будівлі. Для порівняння даних архітектурно-конструктивних рішень примикання віконної рами до зовнішньої стіни огорожувальної конструкції, розрахуємо термічний опір за формулою [10]:

$$R = \Sigma (\delta_i / \lambda_i), \quad (2)$$

де  $\delta_i$  – товщина шару елемента огорожувальної конструкції вузла примикання віконного блоку до стіни, м;  $\lambda_i$  – теплопровідність матеріалу огорожувальної конструкції будівлі, Вт/(м·К).

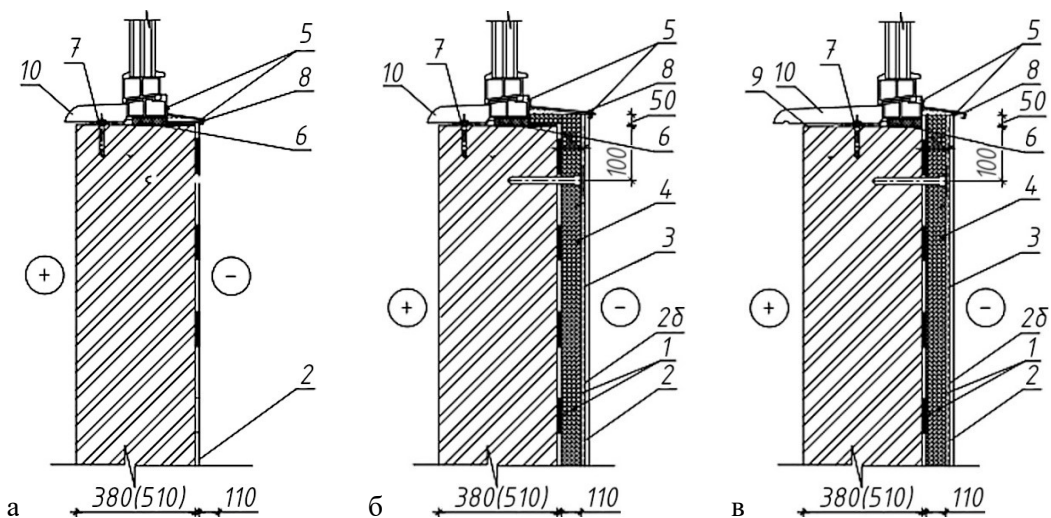


Рис. 2. Архітектурно-конструктивне виконання вузла примикання віконного блоку до огорожувальної конструкції: а – без утеплення; б, в – розповсюджений спосіб утеплення:

1 - клейова суміш для приклеювання плит теплоізоляції і обладнання захисного шару Ceresit С Т85, 2 - декоративна штукатурка Ceresit С Т35, 3 - армована склосітка лугостійка, 4 - утеплювач мінеральна вата, 5 - герметик Ceresit, 6 - піна будівельна, 7 - елемент кріплення віконного блоку, 8 - злив, 9 - укіс, 10 - підвіконня.



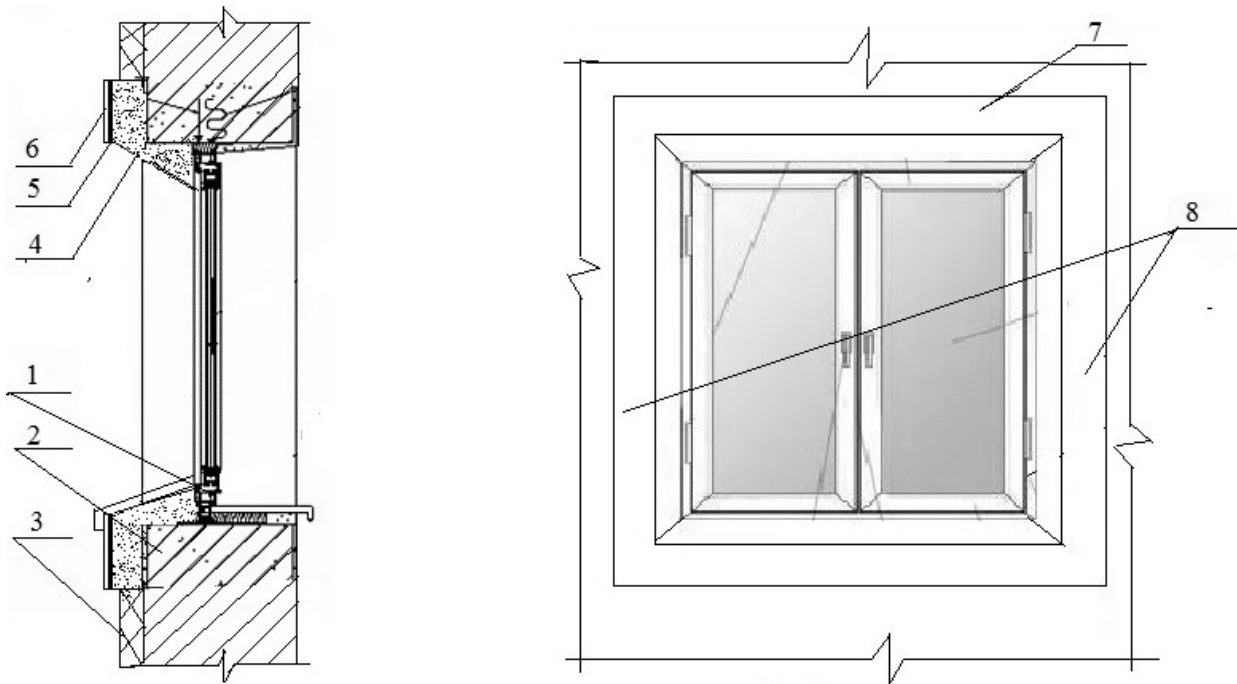


Рис. 3. Архітектурно-конструктивне виконання вузла примикання віконного блоку до огорожувальної конструкції: 1 - віконний блок, 2 - зовнішня стіна, 3 - теплоізоляційно-оздоблювальна система зовнішніх стін, 4 - теплоізоляційна суміш "Тепловер", 5 - армувальна сітка, 6 - декоративний фінішний шар, 7 - сандрик, 8 - імпост.

Результати визначення опорів виконання вузлів примикання віконної рами до огорожувальної конструкції (рис. 2) наведено в табл. 1.

Запропонований спосіб утеплення примикання віконного блоку та використання склопакетів з енергоощадними шибками дозволяє підвищити енергоефективність будинку. Це суттєво заощаджує енергоресурси в системах опалення та кондиціонерів при створенні комфортних умов мешканцям.

Впровадження інноваційних енергоощадних конструктивних вузлів примикання дозволить підвищити енергоефективність багатопверхових житлових будинків та зменшити затрати коштів на оплату спожитих енергоносіїв на опалення в холодний період року та електроенергію на кондиціонування повітря.

**Висновки.** При термомодернізації вікон, зазвичай, не передбачаються архітектурно-конструктивних рішень щодо зменшення тепловтрат у вузлах примикання віконних рам до зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій.

Це не сприяє дотриманню чинних вимог щодо значень термічного опору. Експериментальні та теоретичні дослідження свідчать про необхідність удосконалення конструктивного виконання вузлів примикання віконних рам до зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій. Впровадження запропонованих інноваційних енергоощадних архітектурно-конструктивних рішень виконання вузлів примикання віконних рам дозволить підвищити енергоефективність житлових будинків за рахунок зменшення тепловтрат в зонах теплопровідних включень при термомодернізації вікон.

**Перспективи подальших досліджень.** Необхідно експериментально дослідити зони, де спостерігаються більші тепловтрати та виконати теоретичне обґрунтування технологічних рішень реалізації запропонованого способу термомодернізації для підвищення ефективності виконання вузла примикання віконного блоку до зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Конструктивні характеристики та значення термічного опору вузла примикання вікна до огорожувальних конструкцій

Спосіб та матеріали вузла примикання	Товщина шару матеріалу, м	Теплопровідність матеріалу, Вт/м К	Термічний опір, м <sup>2</sup> К/Вт
1. Без утеплення - піна будівельна - герметик	$\delta_1=0,02$ $\delta_2=0,01$	$\lambda=0,04$ $\lambda=0,9$	0,5
2. Існуючий спосіб утеплення - піна будівельна - утеплювач; плити мінераловатні -декоративна штукатурка Ceresit	$\delta_1=0,02$ $\delta_2=0,03$ $\delta_4=0,01$	$\lambda=0,04$ $\lambda=0,05$ $\lambda=0,21$	1,1
3. Запропонований спосіб утеплення -піна будівельна -теплоізо- ляційна суміш "Тепловер" - фінішний шар	$\delta_1=0,02$ $\delta_2=0,1$ $\delta_4=0,01$	$\lambda=0,04$ $\lambda=0,07$ $\lambda=0,14$	2,0

### Література

1. Ратушняк Г. С. Оцінка доцільності підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій багатоповерхових житлових будинків / Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний // Вісник ВПІ. – 2016. – №6. – с. 11-16.
2. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г. П. Фаренюк. – Київ: Гамма-принт, 2009. – 137 с.
3. Дудар І. Н. Енергозбереження в міському будівництві : навч. посіб. / І. Н. Дудар, Л. В. Кучеренко, В. В. Швець. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 57 с.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Чинні від 01.01.2016. – Київ: Укразбудінформ, 2015. – 145 с.
5. ДБН В.2.6-31-2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.04.2017. – Київ: Укразбудінформ, 2017. – 35 с.
6. Ратушняк Г. С. Енергоаудит багатоповерхових житлових будинків з використанням тепловізійних зйомок / Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2017. – №1. – с. 84-93.
7. Богословский В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – Москва: Высшая школа, 1982. – 415 с.
8. Кузьменко О. М. Обґрунтування технологічних рішень влаштування додаткової теплоізоляції конструктивного вузла "балконна плита - плита перекриття": автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.08 / Кузьменко О. М.; Міністерство освіти і науки України, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – Дніпро, 2017. – 18 с.
9. Ратушняк Г. С. Підвищення енергоощадності багатоповерхових будинків шляхом вдосконалення вузлів примикання огорожувальних конструкцій [Електронний ресурс] / Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний, О. Ю. Материнська // Електронне наукове видання матеріалів міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2017»: 25-28 жовтня 2017 р., м. Вінниця. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/egcu2017/paper/viewFile/3333/2825>
10. Хоменко В. П. Довідник по теплозахисту будівель / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – Київ: Будівельник, 1986. – 216 с.
11. Шаленний В. Т. Ресурсозбереження в технології влаштування та відновлення властивостей зовнішніх стін цивільних будівель: навч. посіб. / В. Т. Шаленний, А. М. Березюк, І. Ф. Огданський, К. Б. Дікарев, А. О. Скокова. – Дніпропетровськ: «Акцент ПП», 2014. – 264 с.

## References

1. Ratushniak G. S., Ocheretnyi A. M. "Otsinka dotsilnosti pidvyshchennia termichnoo oporu ohorodzhualnukh konstruksii bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv." *Visnyk VPI*, No 6, 2016, pp. 11-16.
2. Farenjuk H. P. *Osnovy zabezpechennia enerhoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ohorodzhualnukh konstruksii*, Hamma-prints, 2009.
3. Dudar I. N., Kucherenko L. V., Shvets V. V. *Enerhozberezhennia v miskomu budivnytstvi*, VNTU, 2015.
4. *Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni*. DSTU B A.2.2-12:2015, Ukrarkhbudininform, 2015.
5. *Teplova isoliatsiia budivel*. DBN V.2.6-31:2016, Ukrarkhbudininform, 2016.
6. Ratushniak G. S., Ocheretnyi A. M. "Enerhoaudyt bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv z vykorystanniam teploviziiniykh ziomok." *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, No 1, 2017, pp. 84-93.
7. Bogoslovskii V. N. *Stroitelnaia teplofizika*, Vysshiaia shkola, 1982.
8. Kuzmenko O. M. *Obgruntuvannia tekhnolohichnykh rishen vlashtuvannia dodatkovoi teploizoliatsii konstruktivnoho vyzla "balkonna plyta - plyta perekryttia"*. Diss. abstract. Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2017.
9. Ratushniak G. S., Ocheretnyi A. M., Materynska O. Yu. "Pidvyshchennia enerhooshchadnosti bahatopoverkhovykh budynkiv shliakhom vdoskonalenia vuzliv pry mykannia ohorodzhualnykh konstruksii" *Elektronne naukove vydannia materialiv mizhnarodnoi nauko-tekhnichnoi konferentsii «Enerhoefektyvnist v haluziakh ekonomiky Ukrainy-2017»*: 25-28 zhovtnia 2017, <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/egeu2017/paper/viewFile/3333/2825>
10. Khomenko V. P., Farenjuk H. H. *Dovidnyk po teplozakhystu budivel*, Budivelnyk, 1986.
11. Shalenyi V. T., Bereziuk A. M., Ohdanskui I. F., Dikarev K. B., Skokova A. O. *Resursoberezhennia v tekhnologii vlashtuvannia ta vidnovlennia vlastyvostei zovnishnikh stin tsyvilnykh budivel*, «Aktsept PP», 2014

## УДК 69.03

### Термомодернизация теплопроводных включений узлов примыкания при установке энергосберегающих окон

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, А. М. Очеретный<sup>2</sup>, О. Ю. Материнская<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, ratusnak@gmail.com

<sup>2</sup>заместитель главного директора концерна "Подолье"

<sup>3</sup>аспирант, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, oksana2718@ukr.net.

*Аннотация.* Тепловизионным обследованием фасадов жилых домов, построенных с соблюдением современных отечественных нормативных требований к термическому сопротивлению ограждающих конструкций, установлено наличие существенных теплопотерь в узлах примыкания оконных рам к стеновым ограждающим конструкциям. Это свидетельствует о несоответствии значений нормированным требованиям термического сопротивления. Государственная политика в сфере обеспечения энергетической эффективности внедряет реализацию в жилищно-коммунальном хозяйстве высокоэффективных технологий при устройстве утепления фасадов зданий с целью уменьшения потребления энергоносителей на отопление в холодный период года. Внедрение энергосберегающих мероприятий позволяет повысить термическое сопротивление наружных ограждающих конструкций. Внедрение инновационных энергосберегающих конструктивных узлов примыкания окон позволит повысить энергоэффективность многоэтажных жилых домов и уменьшить затраты средств на оплату потреблённых энергоносителей на отопление в холодный период года, а также снизить затраты на кондиционирование воздуха в тёплый период года. Термомодернизация окон в существующих домах обычно не предусматривает архитектурно-конструктивных решений по уменьшению теплопотерь в узлах примыкания оконных, как правило металлопластиковых, рам к наружным ограждающим конструкциям. Теоретически обоснована возможность повышения энергоэффективности зданий путём термомодернизации узла примыкания окна к стене наружной ограждающей конструкции, которая является зоной теплопроводных включений. С целью повышения энергоэффективности здания предложен способ термомодернизации окон путём совершенствования архитектурно-конструктивного исполнения узла примыкания оконных рам к наружным стенам ограждающих конструкций.

*Ключевые слова:* оконные рамы, узел примыкания, энергоэффективность, ограждающая конструкция, теплопотери, термическое сопротивление, термограмма.

UDC 69.03

## Thermomodernization of Heat Conductive Inclusions of Adjoining at Installation of Energy Efficient Windows

G. S. Ratushnyak<sup>1</sup>, A. M Ocheretniy<sup>2</sup>, O. Yu. Materynska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D, professor. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ratusnag@gmail.com

<sup>2</sup> Deputy General Director of Concern «Podillia»

<sup>3</sup> Postgraduate, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine, [oksana2718@ukr.net](mailto:oksana2718@ukr.net).

*Abstract. The presence of significant heat loss at adjoining of windows to wall-mounted enclosures is established by thermal imaging of facades of residential buildings. This indicates the non-conformity of those values with the standardized requirements of thermal resistance. The state policy for ensuring energy efficiency introduces the implementation in housing and communal services of highly efficient technologies in the process of thermal insulation of building facades with the aim of reducing energy consumption for heating in cold season. The introduction of energy-saving measures makes it possible to increase the thermal resistance of external enclosing structures. The introduction of innovative energy-saving structural junctions of windows will increase the energy efficiency of multi-storey residential buildings, reduce the cost for energy consumption for heating in cold season and decrease consumption for air conditioning in hot season. Thermomodernization of windows in existing houses practically does not provide architectural and constructive solutions to reduce heat losses in the junctions of window, usually metal-plastic, and frames to external enclosing structures. Theoretically, the possibility of increasing the energy efficiency of buildings by thermomodernization of the junction of the window to the wall of the external enclosing structure, which is the zone of heat-conducting inclusions, is justified. In order to increase the energy efficiency of the building, a method for thermo-modernization of windows is proposed by improving the architectural and structural design of the junction of window frames to the outer walls of enclosing structures.*

*Keywords: window-frame, junction, energy efficiency, building envelopment, heat losses, thermal resistance, thermogram.*

Надійшла до редакції / Received 03.03.2018

## Гурток юних гідраліків-аеродинаміків



Кафедра теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури запрошує учнів шкіл долучитися до наукової діяльності нашого гуртка юних гідраліків-аеродинаміків. На нашій лабораторній базі можна виконувати експерименти з аеродинаміки вентиляційних систем, приміщень та обтікання вітром об'єктів, досліджувати гідравлічні режими сучасних систем опалення, визначати ефективність використання теплоти витяжного повітря та багато іншого.

У грудні 2017 року разом з двома учнями загальноосвітньої школи було проведено експериментальні дослідження вітрового навантаження від електрокабелю на опори ліній електропередач при різній швидкості обтікання вітром. Керував дослідженнями асистент кафедри теплогазопостачання і вентиляції В. Р. Вахула.

Учні ознайомилися з технікою безпеки в аеродинамічній лабораторії, будовою аеродинамічної труби, принципами дослідження обтікання

вітровим потоком об'єктів та принципами обробки результатів досліджень.

Експериментальна модель складалася з двох динамометрів, закріплених на штативах, між якими було натягнуто дріт. Швидкість повітря визначалася за показами мікроманометра (спеціального приладу для вимірювання малих перепадів тиску), приєднаного до колектора аеродинамічної труби. Після ввімкнення вентилятора аеродинамічної труби і встановлення швидкості, за показами динамометра визначалися навантаження на опори. Учні отримали важливий для свого розвитку перший досвід лабораторних аеродинамічних досліджень.

Для участі в гуртку звертайтеся на кафедру теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури за телефонами:

(044)245-48-33;

(044)241-54-11.

Наукове видання

# ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 24

Визнаний ВАК України як наукове фахове видання України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 515 від 16.05.2016 р.)

Збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» представлений на сайті <http://www.nbuv.gov.ua> національної бібліотеки НАН України ім. В.І. Вернадського та на сайті КНУБА [science.knuba.edu.ua](http://science.knuba.edu.ua) (<http://science.knuba.edu.ua/index.php?id=43>).

Підписано до друку 30.04.2018. Формат 60×84 1/8  
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 6,75. обл. вид. арк. 7,25.  
Наклад 1000 прим. Замовлення № 161117

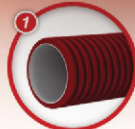
Надруковано в ТОВ «Видавництво «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36-а т: (044) 360-22-66, [www.yuston.com.ua](http://www.yuston.com.ua)  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції серія дк № 797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

# FlexiVent

**НАПІВЖОРСТКІ ПЛАСТИКОВІ ПОВІТРОПРОВОДИ  
ФЛЕКСІВЕНТ — ГНУЧКЕ РІШЕННЯ  
ДЛЯ ВАШОГО БУДИНКУ**

Система ФлексіВент застосовується у поєднанні з припливно-витяжними установками. Припливно-витяжна установка відповідає за переміщення та очищення вентиляційного повітря, а також за передачу тепла від витяжного повітря припливному. Система Вентс ФлексіВент призначена для правильного розподілу вентиляційного повітря між кімнатами.

 **VENTS**



Повітропровід ФлексіВент



Колектор



Пленум підлоговий з решіткою



Пленум сталевий з анемостатом



Припливно-витяжна установка



Повітропровід ізольований Ізовент



Вентиляційний ковпак



Вентиляційна установка з рекуператором встановлена на стіні у підвальному приміщенні. Колектори, канали та пленими змонтовані у дерев'яному перекритті. Припливне повітря подається крізь підлогові решітки у спальній та вітальні. Витяжне повітря видаляється крізь анемостати на стелі на кухні, у ванній та підвалі. Кухонна витяжка також підключена до вентиляційної установки. Повітря переміщується між кімнатами крізь дверні решітки.



# VENTS



## СВІТОВИЙ ЛІДЕР СЕРЕД ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ РІШЕНЬ

[WWW.VENTS.UA](http://WWW.VENTS.UA)