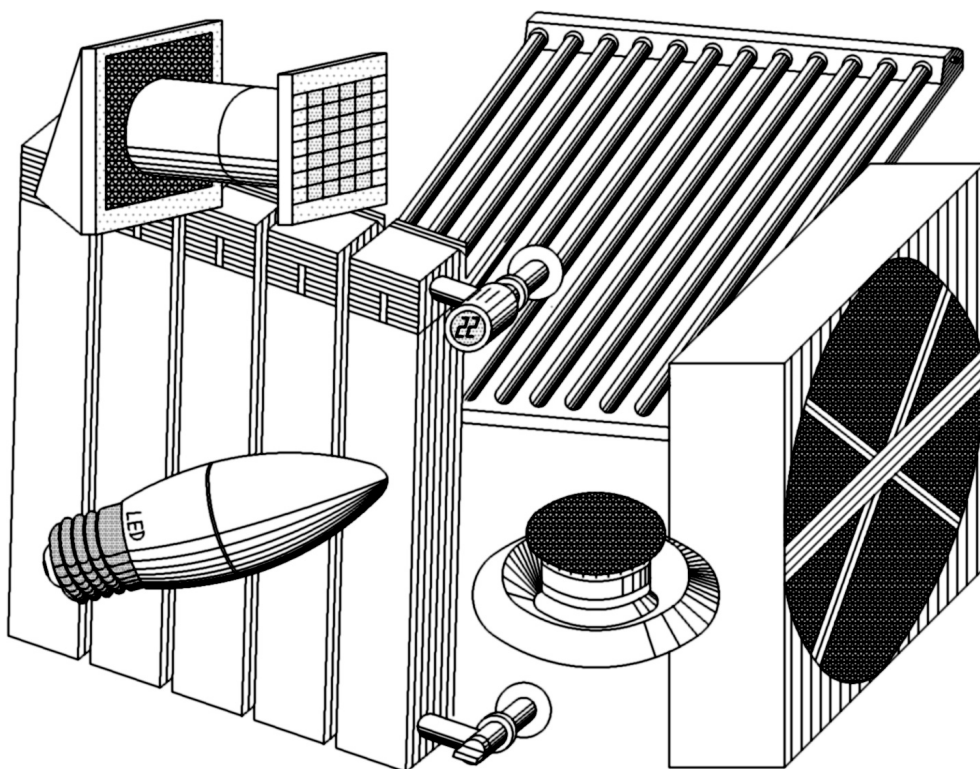


ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

2017

Випуск 22



КИЇВ 2017

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 22

Kyiv 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

заснований у 2001 році

ВИПУСК 22

Київ 2017

УДК 697

ISSN 2409-2606

В29

Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 22 / відповідальний редактор Е. С. Малкін. – Київ: КНУБА, 2017. – 58 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 жовтня 2017 року, протокол № 7.

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

Д. О. Чернишев <i>Сучасні технології «ALARA» як інструмент керування впливом на формування біосферосумісного середовища об'єктів будівництва.....</i>	5
V. Mileikovskiy <i>Methods of Jet Control in Ventilation.....</i>	11
А. П. Любарец, К. И. Борисенко, Т. Д. Домошей, О. Н. Зайцев <i>Гидродинамические особенности работы вихревого предтопка для двухконтурных водогрейных котлов.....</i>	16
А. П. Любарец, К. И. Борисенко, Т. Д. Домошей, О. Н. Зайцев <i>Особенности систем периодического отопления туристических комплексов.....</i>	21
М. О. Зайцев <i>Газодинаміка в жаротрубних водогрійних твердопаливних котлах.....</i>	25
О. Ф. Редько, Ю. І. Чайка, Ю. О. Бурда <i>Уловлювання частинок бензолу в коксовому газі скруберами насадкового типу.....</i>	31
І. О. Редько, А. О. Редько, О. В. Приймак, В. Є. Костюк, О. І. Кирилаш, В. М. Норчак <i>Числове моделювання процесів спалювання твердого палива в топці із зустрічними закрученими потоками.....</i>	37
О. Ф. Редько, Ю. О. Півненко <i>Дослідження псевдозрідження полідисперсних бінарних систем у топках киплячого шару</i>	43
І. Г. Шитікова <i>Аналіз ефективності теплообмінників змійовикового типу.....</i>	49
М. І. Кордюков <i>Нова лабораторія кафедри теплогазопостачання і вентиляції.....</i>	56
<i>До відома авторів.....</i>	57

CONTENTS

D. Chernyshev <i>Modern Technologies "ALARA" as an Institution to the Management of the Influence of the Formation of a Biospherocomposite Environment of the Construction Companies (in Ukrainian)</i>	5
V. Mileikovskiy <i>Methods of Jet Control in Ventilation</i>	11
O. Liubarets, K. Borisenko, T. Domoshchey, O. Zaitsev <i>Hydrodynamic Features of the Vortex Furnace for Two-Circuit Hot-Water Boilers (in Russian)</i>	16
O. Liubarets, K. Borisenko, T. Domoshchey, O. Zaitsev <i>Particular Systems for Periodic Heating of Tourist Complexes (in Russian)</i>	21
M. O. Zaitsev <i>Gas Dynamics in Fire-Tube Hot-Water Solid-Fuel Boilers (in Ukrainian)</i>	25
O. Redko, Y. Chayka, Y. Burda <i>Capture of Particles of Benzene in the Coke Oven Gas by Packed-Type Scrubbers (in Ukrainian)</i>	31
I. Redko, A. Redko, A. Priymak, V. Kostyuk, E. Kirilash, V. Norchak <i>Numerical Simulation of Combustion Processes of Solid Fuel in a Furnace with Counter-Current Twisted Streams (in Ukrainian)</i>	37
O. Redko, Y. Pivnenko <i>Features of Fluidization of Binary Systems in the Furnaces of a Fluidized Bed (in Ukrainian)</i>	43
I. Shitikova <i>Comparison of the Efficiency of the Coiled-Type Heat Exchangers (in Ukrainian)</i>	49
M. Kordiukov <i>New Laboratory of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation (in Ukrainian)</i>	56
<i>Information for the authors</i>	57

УДК 69.05:699.8

Сучасні технології «ALARA» як інструмент керування впливом на формування біосферосумісного середовища об'єктів будівництва

Д. О. Чернишев¹

¹к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, tagm@ukr.net, ORCID:0000-0002-1946-9242

Анотація. Основою стратегічного планування діяльності у вирішенні комплексних науково-технічних завдань зі створення та експлуатації складних інженерних об'єктів лежать не тільки технічні, але й управлінські аспекти такої діяльності за принципом ALARA. Однією з найбільш важливих управлінських задач є оптимізація населених пунктів задля мінімальних витрат невідновлюваних ресурсів на опалення і охолодження. Серед впливових факторів є розповсюдження сонячної радіації. У цій статті розглянемо розроблені автором програми для комп'ютерного моделювання розповсюдження сонячної радіації в населених пунктах з урахуванням забудови в рамках пакету «Atmospheric Radiation». Порівняння результатів розрахунку та понад 13 тисяч вимірювань показало відмінний збіг окрім низького стояння сонця або високої мутності атмосфери. Останні випадки не мають практичного значення через незначне надходження сонячної радіації. Таким чином, програмний комплекс «Atmospheric Radiation» є апробованим інструментом екологічного менеджменту об'єктів біосферосумісного будівництва з реалізацією принципу ALARA.

Ключові слова: екосистема, будівельний проект, біосферосумісність, екологічна безпека, радіаційна безпека, ALARA.

Вступ. Одним з ключових факторів біосферної сумісності міст є максимальне зменшення витрат невідновлювальних видів енергії будівлями. Для цього необхідна оптимізація їхньої форми, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень за критерієм мінімізації теплообміну між ними та навколишнім середовищем. Одним з напрямів досліджень у даній області є моделювання процесів надходження сонячної радіації крізь атмосферу і подальшого розповсюдження світлового потоку в умовах міського середовища. Ускладнення розрахункових моделей приводить до алгоритмізації і комп'ютеризації систем, внаслідок чого створюються нові прикладні програмні комплекси. Але частина з них є професійним метеорологічним програмним забезпеченням для симуляції та прогнозування погодних процесів і не може бути використана проектувальниками для розрахунків. Ті ж, що використовуються в проектній практиці спрощені і недостатньо точні. Одним з компромісних є пакет прикладних програм (ППП) «Atmospheric Radiation», який надає можливість розрахувати енергетичну освітленість і надходження теплової радіації до розрахункової точки на довільно розміщеній площині. Але для реального використання в проектній практиці даний пакет потребує додаткових модулів, серед яких такий, що враховує навколишню забудову в конкретній містобудівній ситуації.

Актуальність дослідження. Оптимізація геометричних характеристик забудови міст з

точки зору розповсюдження сонячної радіації дозволить зменшити витрати енергії на опалення та охолодження приміщень, що зменшить витрати невідновлюваних джерел енергії.

Останні дослідження та публікації. ППП «Atmospheric Radiation» був запропонований О. В. Сергейчуком у колективній роботі [1]. Алгоритм урахування навколишньої забудови наведено у [2]. Геометричні основи розрахунку координат Сонця та тривалості інсоляції довільних площин закладені в роботах В. О. Плоского [3]. Професійні метеорологічні комплекси, що дозволяють серед іншого розрахувати радіаційні характеристики та спектральний склад сонячного випромінювання, представлені програмами LIBRADTRAN [4] та SMARTS [5]. Але для їхнього використання необхідна велика кількість метеорологічних і фізико-хімічних даних, у зв'язку з чим вони не прийнятні в архітектурній практиці.

Формулювання цілей статті. Метою є опис методу завдання положення в сцені навколишньої забудови, алгоритму визначення полів розрахункових точок поверхонь, які впливають на освітленість розрахункової точки (РТ) в приміщенні, моделювання розповсюдження енергетичного і/або світлового потоку в сцені і теоретичне визначення рівня освітленості в РТ на поверхні землі, фасадах будівель і споруд, а також внутрішніх поверхонь розрахункового приміщення з використанням ППП «Atmospheric Radiation» у програмному середовищі MatLab.

Основна частина. В основі представленого програмного комплексу лежить три модуля для моделювання енергетичної освітленості від прямої сонячної радіації, моделювання розподілу енергетичної дифузної яскравості.

З урахуванням зміни значення інтенсивності сонячної радіації на верхній межі атмосфери, залежно від відстані від Землі до Сонця, можна отримати енергетичну освітленість від прямої сонячної радіації довільно орієнтованої площини без урахування її поглинання і розсіяння атмосферою у вигляді функції

$$I' = f(\varphi, N, n, T, \alpha, \beta), \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

де φ – географічна широта, градус. (зі знаком плюс для північної півкулі, мінус – для південної); N – місяць року; n – день місяця; T – час доби, год.; α і β – кут нахилу та азимут вектора нормалі площини Θ , що інсолюється.

Розглянемо визначення I' , Вт/м^2 . Координати сонця визначаються аналітично [6] за допомогою формул:

$$\sin h_o = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t; \quad (2)$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h_o}{\cos \varphi \cos h_o}; \quad (3)$$

$$\sin \delta = \sin 23,5^\circ \cos \left(\frac{360^\circ}{365} N_\delta \right), \quad (4)$$

де φ – географічна широта місця спостереження, градус. (для північної широти – додатна, для південної – від'ємна); δ – нахилення Сонця, градус.; N_δ – різниця між датою, для якої визначаються координати Сонця, та 21 червня, днів; t – годинний кут, що відлічується від полудня, градус.; t – середній сонячний час, год.

Енергетична освітленість площини Θ буде дорівнювати

$$I' = I_0 (\sin \beta \cos \alpha \sin A_o \cos h_o + \cos \beta \cos \alpha \cos A_o \cos h_o + \sin h_o), \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

причому, якщо за (5) виходить від'ємне число, тоді $I' = 0$.

Розглянута методика реалізована у вигляді пакету m-файлів “Direct Solar Radiation”. Структура пакета показана на рис. 1. Напрямок стрілки вказує програму, до якої звертається інша програма. Вхідними параметрами пакету

є:

- $fi, N, n, T, \alpha, \beta$ – теж саме, що у формулі (1);
- h – висота РТ над поверхнею землі, м;
- t, p – температура, $^\circ\text{C}$, і тиск, Па, повітря на рівні поверхні землі;
- T_{m1} – фактор мутності атмосфери;
- $m1$ – маса атмосфери, при якій визначено фактор мутності;
- n_{obl} – хмарність неба, балів.

Програми, що входять до пакету, розраховують:

- $ro1(h, t, p)$ – густину повітря ro_h , кг/м^3 , на висоті h , м, при значеннях на рівні поверхні землі температури повітря t , $^\circ\text{C}$, і тиску p , гПа;
- $yroven_h(h, t, p)$ – значення температури th , $^\circ\text{C}$, і тиску ph , гПа, повітря на рівні h , м;
- $massa(h, ho, t0, p0)$ – оптичну масу атмосфери m при кутовій висоті променя ho , град.;
- $pr(T_{m1}, m1, m)$ – коефіцієнт прозорості атмосфери pr_m , при оптичній масі m ;
- $n_alfa(n_{obl}, ho)$ – кількість хмар n_{ho} у долях одиниці за напрямом ho , град.;
- $Io_norm(N, n)$ – інтенсивність прямої сонячної радіації Io_n , Вт/м^2 , на нормальну до променя площину за відсутності атмосфери;
- $int_n(Io_n, h, ho, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$ – інтенсивність прямої сонячної радіації Io , Вт/м^2 , що надходить на перпендикулярну сонячному променю площину в розрахунковій точці за вказаними вхідними параметрами;
- $koord(fi, N, n, T)$ – значення A_o – азимута Сонця – і h_o – висоти сонцестояння, градус.;
- $int_rn(fi, N, n, T, h, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$ – інтенсивність прямої сонячної радіації Io , Вт/м^2 , що надходить на перпендикулярну сонячному променю площину в розрахунковій точці за вказаними вхідними параметрами; ця програма координує роботу програм

$$int_n(Io_n, h, ho, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl}), \\ Io_norm(N, n), koord(fi, N, n, T);$$

- $Delta(N, n)$ – схилення Сонця D , рад.;
- $int(A_o, ho, \alpha, \beta, Io)$ – енергетична освітленість прямою сонячною радіацією I , Вт/м^2 , площини, яка задана вектором нормалі. Верхній рівень займає програма $int_pr(fi, N, n, T, \alpha, \beta, h, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$, яка координує роботу всіх інших програм.

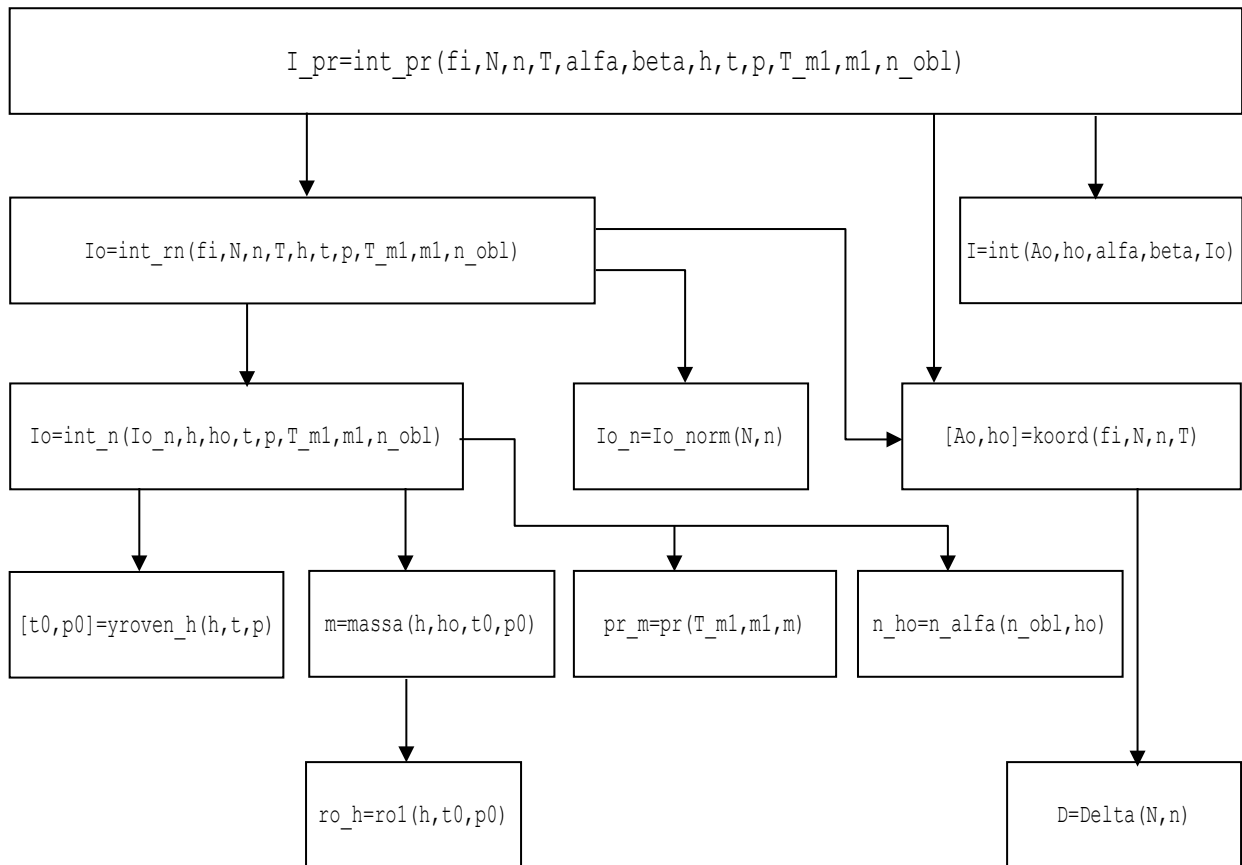


Рис. 1. Структура пакету m-файлів “Direct Solar Radiation”

Вона розраховує шукане значення енергетичної освітленості площини прямою сонячною радіацією за вхідними параметрами.

У табл. 1 наведено зіставлення результатів розрахунку інтенсивності прямої сонячної радіації, отриманих за ППП “Direct Solar Radiation” для різних умов атмосфери, з результатами обробки експериментальних досліджень, (загальна кількість вимірювань перевищує 13000) [7].

Аналіз табл. 1. свідчить, що розрахунки за ППП “Direct Solar Radiation” дають задовільні результати, які, в основному, збігаються з результатами експериментальних досліджень. Найбільш суттєві розбіжності (до 40 %) мають місце при дуже низькій прозорості атмосфери та низьких променях Сонця. Однак, абсолютні значення інтенсивності сонячної радіації при цих променях невеликі, тому ця розбіжність не матиме суттєвого значення при визначенні оптимальної форми будинків. При зростанні прозорості атмосфери та висоти Сонця розбіжності зменшуються. Так, при висоті Сонця $41,8^\circ$, розбіжність за будь-якої прозорості становить близько 5%. Для ідеальної атмосфери має місце практичний збіг результатів

розрахунку за методом ALARA і за ППП “Direct Solar Radiation”

ALARA (англійська аббревіатура від “As Low As Reasonably Achievable”) – один з основних критеріїв, сформульований у 1954 році Міжнародною Комісією з Радіологічного Захисту з метою мінімізації шкідливого впливу іонізуючої радіації. Передбачає підтримку на можливо низькому й досяжному рівні як індивідуальних (нижче меж, встановлених чинними нормами), так і колективних доз опромінення, з урахуванням соціальних та економічних факторів. В Україні також відомий як принцип оптимізації, дотримання якого поряд із принципами обґрунтування та нормування, є одним з основних факторів забезпечення радіаційної безпеки.

Принцип ALARA широко використовується на АЕС та інших радіаційно-небезпечних об’єктах усього світу як один з найважливіших принципів забезпечення радіаційної безпеки при проведенні, при плануванні, підготовці й виконанні радіаційно-небезпечних робіт [8]. За сформованою в більшості країн практикою, принцип оптимізації повинен використатися щоразу, коли планується проведення захисних заходів.

Зіставлення результатів розрахунку інтенсивності прямої сонячної радіації I (кВт/м²) за ППП “Direct Solar Radiation” (знаменник) з експериментальними даними (чисельник)

Прозорість атмосфери Фактор мутності	$\frac{c}{T}$	Висота сонцестояння h_0 , град					
		6,8	11,3	14,3	19,3	30,3	41,8
<u>Дуже низька</u>	<u>0,91</u>	<u>0,110</u>	<u>0,208</u>	<u>0,272</u>	<u>0,366</u>	<u>0,487</u>	<u>0,595</u>
Дуже високий	5,31	0,156	0,247	0,308	0,394	0,533	0,628
<u>Низька</u>	<u>0,67</u>	<u>0,170</u>	<u>0,292</u>	<u>0,364</u>	<u>0,456</u>	<u>0,588</u>	<u>0,699</u>
Високий	4,34	0,236	0,336	0,402	0,492	0,628	0,717
<u>Знижена</u>	<u>0,54</u>	<u>0,237</u>	<u>0,372</u>	<u>0,452</u>	<u>0,541</u>	<u>0,670</u>	<u>0,768</u>
Підвищений	3,69	0,305	0,411	0,478	0,569	0,701	0,783
<u>Нормальна</u>	<u>0,43</u>	<u>0,476</u>	<u>0,552</u>	<u>0,636</u>	<u>0,644</u>	<u>0,769</u>	<u>0,852</u>
Нормальний	2,97	0,417	0,539	0,611	0,702	0,832	0,911
<u>Підвищена</u>	<u>0,34</u>	<u>0,419</u>	<u>0,568</u>	<u>0,644</u>	<u>0,735</u>	<u>0,852</u>	<u>0,926</u>
Знижений	2,42	0,473	0,617	0,682	0,778	0,903	0,972
<u>Висока</u>	<u>0,27</u>	<u>0,522</u>	<u>0,667</u>	<u>0,745</u>	<u>0,828</u>	<u>0,942</u>	<u>1,000</u>
Низький	1,93	0,589	0,728	0,796	0,879	0,989	1,052
Ідеальна атмосфера	<u>0,13</u> 1	<u>0,837</u> 0,839	<u>0,949</u> 0,970	<u>0,998</u> 1,022	<u>1,053</u> 1,081	<u>1,131</u> 1,155	<u>1,173</u> 1,195

Примітки:

1. Розрахунок за ППП “Direct Solar Radiation” проведени при таких вхідних кліматичних умовах: температура повітря $t = 15$ °С, тиск $p = 1013$ гПа, $I_0^* = 1,37$ кВт/м², висота РТ над рівнем земної поверхні $h = 0$, оптична маса атмосфери, при якій визначений фактор мутності $m_1 = 1,5$, кількість хмар $n_{обл} = 0$.
2. c – параметр прозорості атмосфери, T – фактор мутності.

Оскільки на сьогодні інші екологічні загрози, серед яких викиди парникових газів при спалюванні невідновлюваних ресурсів, становлять серйозну небезпеку людству, то аналогічні принципи впроваджуються в різних галузях, пов’язаних з безпекою.

Запропонований програмний продукт є одним з апробованих інструментів оптимізації впливу на навколишнє середовище та засоби вирішення завдань щодо модернізації систем екологічного менеджменту об’єктів біосферосумісного будівництва. Для будь-якого об’єкта будівництва “контекст” діяльності передбачає внутрішні й зовнішні умови, які впливають на систему екологічного менеджменту (СЕМ). Контекст організації необхідно враховувати для керування ризиками та реалізації можливостей СЕМ. Перехід з функціонального на процесове управління дозволяє здійснювати безперервне й тотальне керування впливом на навколишнє середовище. Впровадження вимог міжнародного стандарту

версії ISO 14001:2015 [9] сприяє постійному зниженню впливу на навколишнє середовище на основі структурованих і саморегульованих процесів системи екологічного менеджменту. Для біосферосумісного середовища об’єктів будівництва реалізація вимог стандарту ISO 14001:2015 забезпечує реалізацію принципу ALARA в повному обсязі.

Висновки. Запропонований програмний комплекс для розрахунку надходження сонячної радіації на поверхню дозволяє з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначити потік енергії Сонця на задану площу з урахуванням навколишньої забудови та інших об’єктів. Це дозволяє оптимізувати потоки сонячної радіації в проектному населеному пункті задля мінімізації витрат енергії та викиду парникових газів на опалення та охолодження. Це є одним з апробованих інструментів екологічного менеджменту об’єктів біосферосумісного будівництва з реалізацією принципу ALARA.

Література

1. Bazhenov V. Applied Software «Atmos-pheric Radiation» for an Energy Efficient Building / V. Bazhenov, P. Lizunov, O. Pidgorny ets. // 14th Inter-national Conference on Computing in Civil and Building Engineering (27–29 June 2012, Moscow). – [Electronic resource]. Access mode: http://www.icccbe.ru/paper_long/0327paper_long.pdf. – Title from the screen. – Access date 18.01.2013.
2. Поздняков А. Л. Основы экологической безопасности производственных объектов в условиях городской среды с позиции биосферосовместимости: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.19 / А. Л. Поздняков; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс» кафедра «Городское строительство и хозяйство» Архитектурно-строительного института. – Орел, 2011. – 21 с.
3. Плоский В. О. Досвід організаційної та наукової роботи за напрямком “Енергоефективність” кісний аналіз троходальної моделі / В. О. Плоский // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : зб. наук. праць. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 28. – част. 2. – с. 38-44.
4. Mayer B. The LibRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use / B. Mayer, A. Kylling // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2005. – Vol. 5. – p. 1855 – 1877. – Bibliog.: 1876-1877.
5. Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database. – [Electronic resource]. Access mode: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. – Title from the screen. – Access date 30.10.2017.
6. Сергейчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук.: 05.01.01 / О. В. Сергейчук; Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2008. – 425 с.
7. Ларионов А. Н. Методические подходы к развитию программ экологического жилищного строительства / А. Н. Ларионов, И. В. Малышев // Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2009. – № 2(9). – С. 68-80.
8. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3). – 1991. – [Electronic resource]. Access mode: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. – Title from the screen. – Access date 30.10.2017.
9. ISO 14001:2015. Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use. – Valid from 09.2015. – ISO/TC 207/SC 1, 2015. – 35 p.

References

1. Bazhenov V., Lizunov P., Pidgorny O. ets. “Applied Software «Atmos-pheric Radiation» for an Energy Efficient Building” 14th Inter-national Conference on Computing in Civil and Building Engineering (27–29 June 2012, Moscow), http://www.icccbe.ru/paper_long/0327paper_long.pdf. Accessed 18.01.2013.
2. Pozdniakov A. L. *Osnovy ekologicheskoi bezopasnosti proizvodstvennykh obektov v usloviakh gorodskoi sredy s pozitsii biosferosovmestimosti*. Diss. Abstract. Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "State University - Educational, Research and Production Complex" Department "Urban Construction and Economy" of the Architecture and Construction Institute, 2011.
3. Ploskii V. O. “Dosvid organizatsiinoi ta naukovoi roboty za napriamkom “Energoefektyvnist” kisnyi analiz trokhoidalnoi modeli.” *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn: zb. nauk. prats*. Iss. 28, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2015, pp. 38-44.
4. Mayer B., Kylling A. “The LibRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 5, 2005, pp. 1855 – 1877.
5. “Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database”, <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. Accessed 30.10.2017.
6. Sergeichuk O. V. *Geovetrychne modeliuвання fizychnykh protseciv pry optymizatsii formy energoefektyvnykh budynkiv*. Diss. Abstract. Kyiv National University of Construction and Architecture, 2008.
7. Larionov A. N., Malyshev I. V. “Metodicheskie podkhody k razvitiiu programm ekologicheskogo zhilishchnogo stroitelstva.” *Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa*, no. 2(9), 2009, pp. 68-80.
8. “Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”. *ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3)*, 1991. <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. Accessed 30.10.2017.
9. *Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. ISO 14001:2015, ISO/TC 207/SC 1, 2015.

УДК 69.05:699.8

Современные технологии «ALARA» как инструмент управления влиянием на формирование биосферосовместимой среды объектов строительства

Д. О. Чернышев¹

¹к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, tagm@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1946-9242

Аннотация. Основой стратегического планирования деятельности в решении комплексных научно-технических задач по созданию и эксплуатации сложных инженерных объектов лежат не только технические, но и управленческие аспекты такой деятельности по принципу ALARA. Одной из наиболее важных управленческих задач является оптимизация населённых пунктов для минимизации затрат невозобновляемых ресурсов на отопление и охлаждение. Среди влияющих факторов следует выделить распространение солнечной радиации. В этой статье рассмотрим разработанные автором программы для компьютерного моделирования распространения солнечной радиации в населённых пунктах с учётом застройки в рамках пакета «Atmospheric Radiation». Сравнение результатов расчёта и более 13000 измерений показало отличное совпадение кроме низкого стояния Солнца или высокой мутности атмосферы. Последние случаи не имеют практического значения из-за незначительного поступления солнечной радиации. Таким образом, программный комплекс «Atmospheric Radiation» является апробированным инструментом экологического менеджмента объектов биосферосовместимого строительства с реализацией принципа ALARA.

Ключевые слова: экосистема, строительный проект, биосферосовместимость, экологическая безопасность, радиационная безопасность, ALARA.

UDC 69.05:699.8

Modern Technologies "ALARA" as an Instrument to the Management of the Influence of the Formation of a Biospherocomposite Environment of the Construction Companies

D. Chernyshev¹

¹PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, tagm@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1946-9242

Abstract. The basis of strategic planning of activities in solving complex scientific and technical problems in the creation and operation of complex engineering facilities is not only technical, but also management aspects of such activities on the principle of ALARA. One of the most important management tasks is the optimization of settlements to minimize consumption of non-renewable resources for heating and cooling. One of the influencing factors is the distribution of solar radiation. In this article, we will consider the programs developed by the author for computer simulation of the propagation of solar radiation in populated areas, taking into account the construction in the "Atmospheric Radiation" software package. Comparison of the calculation results and more than 13000 measurements showed an excellent coincidence, apart from low standing of the Sun or high turbidity of the atmosphere. The last cases have no practical significance due to insignificant intake of solar radiation. Thus, the "Atmospheric Radiation" software package is a proven tool for environmental management of biosphere-compatible construction projects with the implementation of the ALARA principle.

Keywords: ecosystem, construction project, biosphere compatibility, environmental safety, radiation safety, ALARA.

Надійшла до редакції / Received 28.10.2017

UDC 697.92

Methods of Jet Control in Ventilation

V. Mileikovskiy¹

¹PhD., Associate Professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, mileikovskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Abstract. Inlet jet parameters are one of the influencing factors on microclimate parameters in rooms. There are many solutions of air distributing technique. Some of them are widespread; others are special purposes solutions and applied on sporadic objects. Nevertheless, there is not enough detailed classification of jet control methods, used in the air distributing solutions. In this work, such classification is proposed, based on thousands of inventors certificates and patents. For easier classification, the methods are systematized by four main groups: with flow turbulization, without significant turbulization, with flow stabilization and combined. Possibilities of jet range change is also shown. This classification is upgradable during the development of air distribution technique.

Keywords: air distribution, jet, ventilation, air exchange.

Introduction. One of the important influencing factors of efficiency of air exchange organization is jet parameters. The modern air distribution technique can provide wide range of geometry and decay intensity of jets. However, the jet classification in textbooks is meagre to satisfy the modern ventilation development. We propose extended jet control classification.

Relevance of research. Jet control classification may help developers to position new idea in the air distribution technique and make the best resolve. It may help in ventilation education for effective learning of air distribution principles. Therefore, the jet control classification is a relevant task.

Recent studies and publications. The modern textbooks such as [1-3] give only the jet classification. Nevertheless, the same jet geometry can provide wide range of jet decay intensity using different air distributing devices. Authors analyse tens thousands of author certificates and thousands of patents. Most of them are special-purpose air distributors. Only some kinds of them are produced and available on the market. The most popular are air gratings with fixed or adjustable jalousie, multiple dilative pipes (diffusers) one-inside-other, screened air outlet, axial twister, possibly beside grating or diffusers. The twisters may consist of vanes, slots with inclined screens etc. However, the good classification of air distributing devices was not found. Very often all air-distributing devices are called diffusers. Nevertheless, this term coincides with dilative pipes that is one of the popular air distribution solutions. Therefore, we will avoid using the term "Diffuser" in meaning other than dilative pipe.

Purposes of the article. The goal of the work is to propose classification of jet control methods

in air distribution technique.

Main principles. The proposed classification of the jet control (fig. 1) is open for expansion during the technique development. Jet control methods can be divided by four main groups: with flow turbulization, without significant turbulization, with flow stabilization and combined.

Jet control with flow turbulization. To increase the jet decay intensity it is possible to intensify initial turbulence using turbulizers i.e. chords (for Karman vortex street generation) near to the outlet or plate(s) for generation of separation flow. Also dead-ends [4] can be embedded for vortex generation (fig. 2,a). The effect is not very strong if an air distributor generates small-scale turbulence only. To add large-scale turbulence movable (pliable materials, swinging plates or motor driven vanes) turbulizers can be used. Interaction of opposite flows before inlet hole cause low-frequency pulsations (waves). This principle is used in modern air diffusers VGK (Russian Federation, not the same as SU air diffusers series 4.904-68).

Twisted jets with initial swirling have not only very high initial turbulence but also different structure, so the twisting is a different jet control method (fig. 2,b,c). Concave wall jets have additional vorticity due to Goertler effect. During the laying their decay intensity decreases but after separation the decay intensifies because of initial turbulence.

Jets interaction is the way for jet decay intensification. Interaction of opposite jets in some sources is called impingement. The most common and traditional interaction diffuser is a grid. It forms many jets that interact on the interaction part. This principle is improved in air distributors (fig. 3,a) with impingement of non-coaxial jets [7].

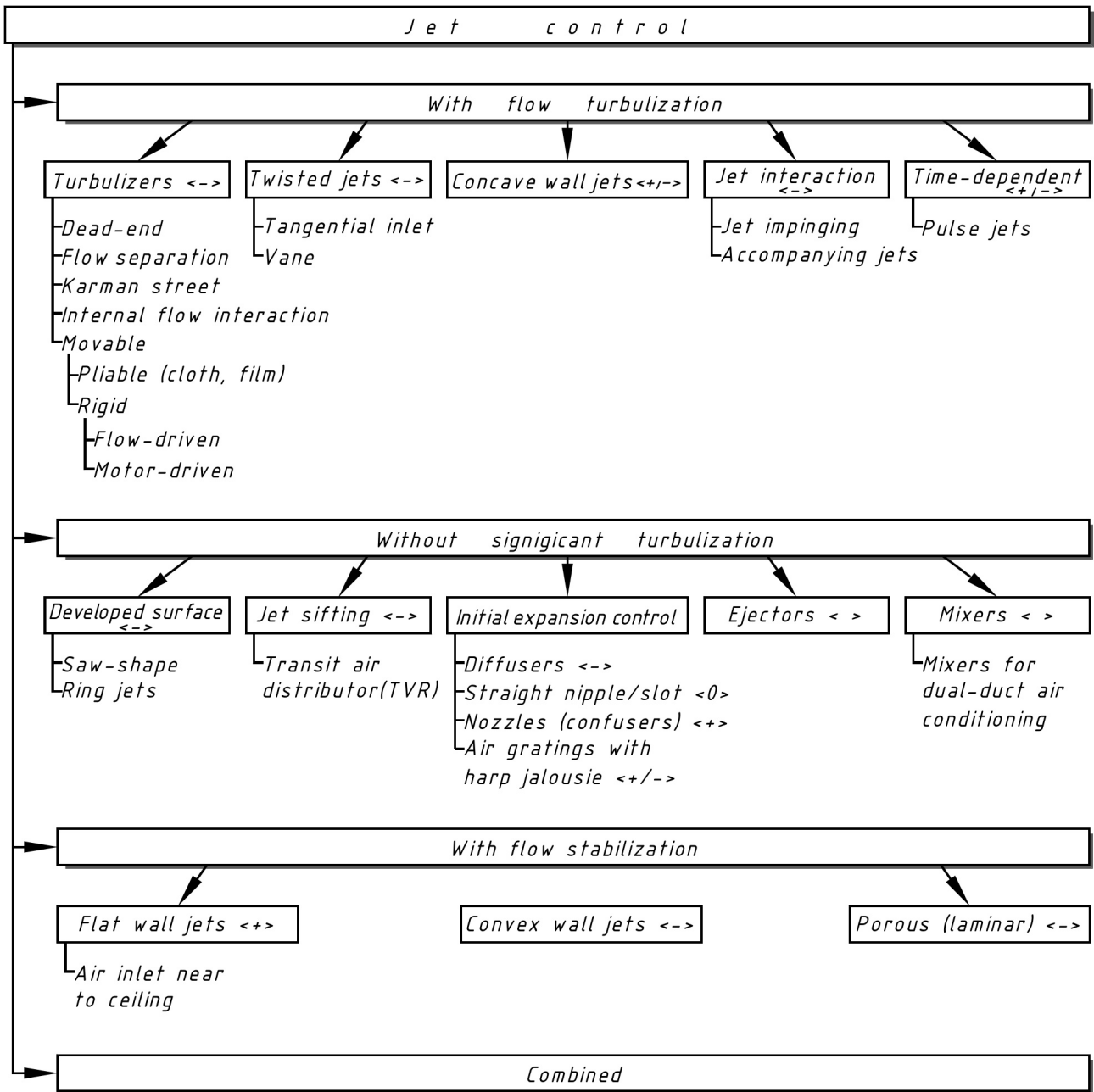


Fig. 1. Jet control classification:
 <+> – increasing the jet range; <-> – intensifying the jet decay; <+/-> – can change the jet range anyway;
 <0> – the basic jet range; <> – no direct influence on the jet range)

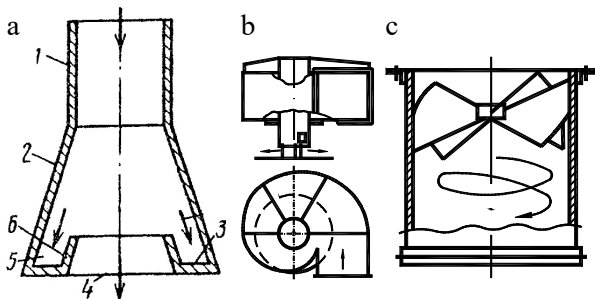


Fig. 2. Air distributors: a – with dead-end turbulizer [4];
 b – tangential inlet air distributor for twisted jet [5]; c – vane
 air distributor for twisted jet [6]:
 1 – body; 2 – diffuser nipple; 3 – dead-end; 4 – outlet hole;
 5 – dead-end turbulizer; 6 – flowing diffuser

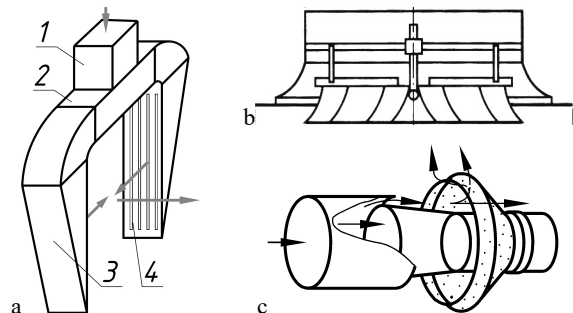


Fig. 3. Air distributors: a – non-coaxial jet impingement [7];
 b – air distributor with multiple diffusers [9]; c – transit air
 distributor (with sieve) TVR [10]:
 1 – air inlet; 2 – duct; 3 – uniform air distributor; 4 – outlet
 slot

Jet control without significant turbulization.

This type of jet control is the simplest. Jet turbulence is not a goal of the control. The turbulence change is side effect and it is not as significant as in the previous group. As flow turbulization cause normative requirement [8] of air velocity decrease, this group is very important. The simplest way is to control the initial jet expansion. Confusers (nozzles) are used to provide long-range jets, comparably with straight pipe, and diffusers - for quicker jet decay. Usually multiple diffusers are used to avoid the flow detach [9]. It is not possible to obtain very intensive jet decay. The jet core have initial expansion impulse but the jet boundary layer is formed the same way as in a free jet from a straight pipe.

A jet can be sifted through sieve, located on the jet way (fig. 3,c). This principle is used in transit air distributors (TVR) developed by Kyiv National University of Construction and Architecture.

The next possibility of jet decay control is development of jet boundary surface. It is possible by releasing the jet from a hole of complex geometry. The simplest way is using the ring conical pipe forming ring jet. A saw-shaped slot can form near to flat jet with higher decay intensity [11]. There are two effects: greater air consuming area and additional vacuum near to the surface folds or inside the ring jet.

The next two methods are used for control of initial air parameters of a jet, not for the jet type control. Including ejector cause recirculation of the room air and mixing with the inlet air. If the ejector is very close to the jet outlet, it cause turbulization. In multi-duct air conditioning, mixing valves can be embedded in air distributors for temperature control.

Jet control with flow stabilization. This group stay very important because flow stabilization cause greater air velocity in working zone. Wall jets is a paradoxical case of jets. Flat wall jet has higher range and lower turbulence level. However, convex wall jet has lowest turbulence and high decay intensity. It is very perspective for air distribution to the working zone because lower turbulence intensity allows higher velocity keeping the same heat dissipation of human body.

In clean rooms special-purpose air distributors are used, which have porous media (filter) at air outlet [12]. It cause laminar flow output. The same principle can be used for displacement ventilation with very low turbulence, which allow greater velocities

Combined jet control. Combined jet control uses two or more principles in one air distributor. Interaction [9] of twisted jets (air distributors VEPSH and VPEP), interaction [13] of twisted and concave wall jets (fig. 4,b, developed by National University "Lviv Polytechnic"), interaction of convex wall jets (fig. 4,c, air distributors PET [14] developed by Kyiv National University of Construction and Architecture) are the examples. Most of the principles above can be combined. Therefore, it is not possible to show known combined jet control options in single figure (fig. 1).

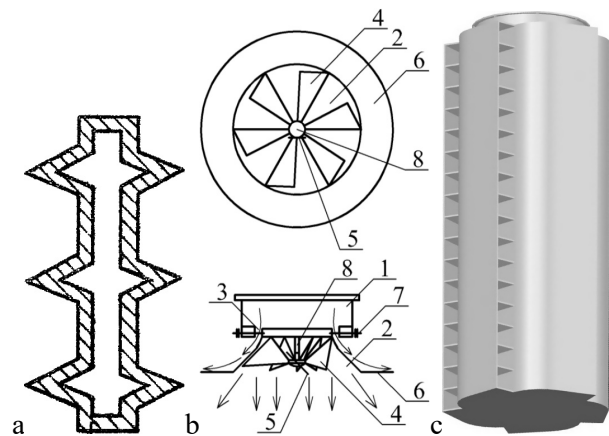


Fig. 4. Air distributors: a – saw-shape [11]; b – interaction of twisted and concave wall jets [13]; c – air distributor PET with interaction of convex wall jets [14]: 1 – nipple; 2 – diffuser; 3 – ring controlled slot; 4 – vanes; 5 – control handle; 6 – visor; 7 – screw for the slot 3 control; 8 – rod

This is not complete list of all possibilities of jet control. New principles will be developed for widening the jet properties, especially in highly demanding VAV systems.

Conclusions. Proposed classification of control of jet decay intensity broaden the known classification of jets. It can be expanded during development of air distributing technique.

Perspectives for further research. In this work, there is only one aspect of air distributors classification – jet control principle(s). Other aspects will be classified in the future works.

Acknowledgement. Author thanks professor of Heat Gas Supply and Ventilation department of Kyiv National University of Construction and Architecture A. Y. Tkachuk, founder of this research direction. Author thanks professor of Heat Gas Supply and Ventilation department of Kyiv National University of Construction and Architecture V. B. Dovhaliuk for support of these researches.

Literature

1. Довгалюк В. Б. Аеродинаміка вентиляції: навч. посіб. / В. Б. Довгалюк. – Київ: ІВНВКП “Укреліотех”, 2015. – 366 с.
2. Juodis E. *Vėdinimas: Vadovėlis* / E. Juodis. – Vilnius.: Technika, 2008. – 400 p.
3. Жуковський С. С. Аеродинаміка вентиляції / С. С. Жуковський, В. Й. Лабай. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2003. – 372 с.
4. Пат. 2011128 С1 Российская федерация МПК⁵ F24F 13/06. Устройство для раздачи приточного воздуха / Н. Я. Кириленко; собственник Н. Я. Кириленко. – № 5038128/29 ; заявл. 20.04.1992; опублик. 15.04.1994 бюл. №7. – 3 с.
5. Серия 4.904-52. Воздухораспределители центробежные тип ВЦ. – Действ. с 01.01.1970. – Москва: Центральный институт типовых проектов, 1970. – 22 с.
6. Серия 1.494-17. Воздухораспределители эжекционные для сосредоточенной подачи воздуха, тип ВЭС. Выпуск I. Рабочие чертежи. – Действ. с 01.04.1975. – Москва: Центральный институт типовых проектов, 1975. – 22 с.
7. Корбут В.П. Examining a Device for Air Distribution by the Interaction of Counter Non-Coaxial Jets Under Alternating Mode. / V.Korbut, O.Voznyak, K.Myroniuk, I.Sukholova, P.Kapalo. // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – Vol 2, № 8 (86) 2017. – pp.30 – 38.
8. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 с.
9. Каменев П.Н. Вентиляция: Учебное пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник - Изд. 2-е, исправл. и дополн. - М. : Изд-во АСВ, 2011. - 632 с.
10. А.С. А1 1702120 СССР МКИ⁵ F24F 13/06. Воздухораспределительное устройство / А.Я. Ткачук, В.П. Корбут, В.Б. Довгалюк, С.Е. Стаковиченко, Б.И. Дубровский; собственники Киевский инженерно-строительный ин-т; Киевское отделение Всесоюзного государственного научно-исследовательского и проектного института «Атомтеплоэлектропроект». – № 3788861/06 ; заявл. 06.08.1984 ; опублик. 1991 бюл. №48. – 3 с.
11. А.С. 1837139 А2 СССР МКИ⁵ F24F 13/06. Воздухораспределитель / Н.Я. Кириленко ; собственник Н.Я. Кириленко. – № 4876344/29 ; заявл. 23.10.1990 ; опублик. 30.08.1993 бюл. №32. – 3 с.
12. EudraLex – Volume 4 – Good Manufacturing Practice [Electronic resource] // European Commission. - Electron. Data. – Access mode: <https://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-4/>. – Last update 23/10/2017.
13. Возняк О.Т. Research of Device for Air Distribution with Swirl and Spread Air Jets at Variable Mode. / O. Voznyak, I. Sukholova, K. Myroniuk. // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 6/7 (78) 2015. – pp.15 – 23
14. Пат. А 44971 Україна МПК⁷ F24F 13/06. Повітророзподільник / Ткачук А.Я., Мілейковський В.О.; власники Ткачук А.Я., Мілейковський В.О. – № 2000031624 ; заявл. 22.03.2000; опублик. 15.03.2002 бюл. №3. – 3 с.

References

1. Dovichaliuk V. B. *Aerodynamika ventyliatsii*. IVNVKP “Ukrheliotech”, 2015.
2. Juodis E. *Vėdinimas*. Technika, 2008.
3. Zhukovskiy S. S. *Aerodynamika ventyliatsii*. Vydavnytstvo Natsionalnogo Universytetu "Lvivska Politekhnikha", 2003.
4. Kirilenko N. “Usroistvo dlia razdachi pritochnogo vozduha.” Patent of Russian Federation 2011128 C1. 15 April 1994.
5. *Vozdukhoraspredeliteli tsentrobezhnye tip VTS*. Seriiia 4.904-52, Tsentralnyi institut tipovykh proektov, 1970.
6. *Vozdukhoraspredeliteli ezheksionnye dlia sosredotochennoi podachi vozdukhha, tip VES*. Vypusk I. Rabochie chertezhi. Seriiia 1.494-17, Tsentralnyi institut tipovykh proektov, 1975.
7. Korbut V., Voznyak O., Myroniuk K., Sukholova I., Kapalo P. “Examining a Device for Air Distribution by the Interaction of Counter Non-Coaxial Jets Under Alternating Mode.” *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol 2, no.8, 2017, pp. 30-38.
8. *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013.
9. Kamenev P., Tertichnik E. *Ventyliatsiia: Uchebnoe posobie*. Izdatelstvo ASV, 2011.
10. Tkachuk A, Korbut V., Dovgaliuk V., Stakovichenko S., Dubrovskii B. “Vozdukhoraspredelitelnoe usroistvo.” Inventors Certificate of USSR A1 1702120. 1991.
11. Kirilenko N. “Vozdukhoraspredelitel.” Inventors Certificate of USSR 1837139 A2. 30 August, 1993.
12. *EudraLex – Volume 4 – Good Manufacturing Practice*, European Commission, 2017, <https://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-4/>. Accessed 23 October 2017.
13. Voznyak O., Sukholova I., Myroniuk K. “Research of Device for Air Distribution with Swirl and Spread Air Jets at Variable Mode.” *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, no.6/7, 2015, pp. 15-23.
14. Tkachuk A., Mileikovskiy V. “Povitrorozpodilnyk.” Patent of Ukraine A 44971. 15 March 2002.

УДК 697.92

Способи керування струминами у вентиляції

В. Мілейковський¹

¹к.т.н., доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, mileikovskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Анотація. Параметри припливних струмин є одним з впливових факторів, що визначають параметри мікроклімату в приміщенні. Існує багато різних рішень у техніці повітророзподілення. Окремі з них широко впроваджені, інші є спеціалізованими рішеннями та впроваджені на окремих об'єктах. Проте, недостатньо розробленою залишається класифікація методів керування струминами, які використовуються в повітророзподільних пристроях. У даній роботі запропонована така класифікація на базі тисяч авторських свідоцтв і патентів. Для більшої зручності, способи систематизовані за чотирма головними групами: з турбулізацією потоку, без суттєвої турбулізації, зі суттєвою стабілізацією, а також, комбіновані. Також показано можливості зміни далькості струмини. Ця класифікація може бути розширена з розвитком повітророзподільної техніки.

Ключові слова: повітророзподілення, струмина, вентиляція, повітрообмін.

УДК 697.92

Способы управления струями в вентиляции

В. Милейковский¹

¹к.т.н., доцент. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, mileikovskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8543-1800

Аннотация. Параметры приточных струй являются одним из влияющих факторов, которые определяют параметры микроклимата в помещении. Существует много различных решений в технике воздухораспределения. Отдельные из них широко внедрены, другие являются специализированными решениями и внедрены на отдельных объектах. Однако, недостаточно разработанной остаётся классификация методов управления струями, которые используются в воздухораспределительных устройствах. В данной работе предложена такая классификация на базе тысяч авторских свидетельств и патентов. Для большего удобства, способы систематизированы по четырём главным группам: с турбулизацией потока, без существенной турбулизации, с существенной стабилизацией, а также, комбинированные. Кроме того, показаны возможности изменения дальности струи. Предложенная классификация может быть расширена с развитием воздухораспределительной техники.

Ключевые слова: воздухораспределение, струя, вентиляция, воздухообмен.

Надійшла до редакції / Received 23.10.2017

УДК 662.612:428.4

Гидродинамические особенности работы вихревого предтопка для двухконтурных водогрейных котлов

А. П. Любарец¹, К. И. Борисенко², Т. Д. Домошней³, О. Н. Зайцев⁴

¹к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, apl_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-9283

²к.т.н., доц. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, nefertichevo@ukr.net

³асп. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, zero1965@ukr.net

⁴д.т.н., проф. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, zon@ukr.net, ORCID:0000-0001-9084-9355

Аннотация. В результате теоретических исследований полей скорости и температуры при сжигании газа в вихревой трубе выявлен диапазон возможного использования эффекта Ранке. Предложена конструкция вихревого предтопка, способ регулирования теплосъёма в двухконтурных котлах малой мощности в зависимости от требуемой загрузки потребителя на отопление и горячее водоснабжение. В результате исследований при различной скорости входа газозооушной смеси и температуры выявлено, что температурная зона с наибольшей температурой находится в нижней части вихревой камеры (в части коаксиального отвода) и занимает объём 20...35 % от общего объёма камеры, а более низкая температурная зона расположена в части осевого отвода продуктов сгорания. При этом данные зоны характеризуются практически равномерным распределением в данных частях топки, что позволяет регулировать теплосъём от топки путём перераспределения потоков на отопление и горячее водоснабжение. С повышением наружной температуры повышение КПД котла по сравнению с базовым вариантом увеличивается и достигает 22 % в пересчёте на среднюю отопительную температуру для г. Одессы.

Ключевые слова: вихревая труба, теплопотребление, аэродинамика топки, водогрейный котёл.

Введение. Теплоснабжение является важнейшей структурной составляющей хозяйственной деятельности любой страны. В то же время, для европейского континента характерно неравномерное распределения топливно-энергетического потенциала, генерирующих мощностей, а также наиболее энергоёмких производств и потребителей [7].

Актуальность исследований. В последнее десятилетие всё большее распространение в мире получают новые энергоэффективные технологии жизнеобеспечения зданий, базирующиеся на применении периодических систем отопления. Все широкомасштабные программы по экономии энергии, реализуемые за рубежом, предусматривают их широкое использование [4].

Основным препятствием, сдерживающим внедрение аккумуляционных систем отопления, является фактическое отсутствие математического, программного и нормативного обеспечения проектирования и строительства этих систем в почвенно-климатических условиях Украины и Белоруссии. Дело в том, что, в отличие от традиционных аналогов, для таких систем характерны повышенные единовременные капитальные вложения при сравнительно низких эксплуатационных издержках. Вместе с тем их применение позволяет не только обеспечить экономию энергоресурсов, но и получить зна-

чительный экологический эффект от сокращения сжигания традиционного органического топлива.

Последние исследования и публикации. Основными тенденциями развития теплогенерирующих технологий в странах западной Европы и северной Америки являются разработка и внедрение котлов малой мощности. Однако, такие котельные отличаются более низким КПД. В связи с тем, что выбор мощности такого оборудования осуществляется по расчётам теплопотерь в холодную пятидневку, то котельные работают в нерасчётном режиме, то есть с более низким КПД. При этом увеличиваются выбросы вредных веществ в атмосферу, что послужило причиной применения таких установок только сельскохозяйственными районами (в большинстве стран их применение в городах запрещено) [4, 5].

Формулирование цели статьи. Целью настоящей работы является повышение эффективности работы теплогенераторов с вихревыми предтопками для систем децентрализованного теплоснабжения.

Для достижения поставленной цели в работе теоретически исследовалось распределение температуры, скорости и давления в процессе сжигания газа в вихревых трубах и рассматривалась возможность сглаживания колебаний гидравлических режимов в системе децентра-

лизованного теплоснабження путём управления аэродинамикой в теплогенераторе.

Основная часть. Моделирование выполнено с использованием программного комплекса, позволяющего получить пространственное распределение линий тока при численном решении по k - ϵ модели турбулентных потоков с заданными граничными условиями для данной задачи [1, 2, 3, 6]. В данной модели использовалась «внутренняя» задача – то есть воздух и природный газ подавались с определённым расходом через тангенциальные патрубки (воздух и газ с расходом 0,1 кг/с, с массовыми долями 0,3 и 0,7 соответственно). Температура воздуха задавалась равной 20 °С, а температура горения в топке – 1100 °С. Отделение продуктов сгорания осуществлялось через два торцевых отверстия камеры: через осевое отверстие в нижней части камеры с задачей пониженного давления в патрубке – 80 кПа; в нижнем коаксиальном отверстии – 90 кПа. При этом для моделирования процесса отбора тепловой энергии через поверхность стенки были заданы коэффициент теплопроводности стенки, температура стенки (200 °С) и температура теплоносителя (вода, 20 °С). В результате исследований при различной скорости входа газозооной смеси и температуре выявлено, что температурная зона с

наибольшей температурой находится в нижней части вихревой камеры (в части коаксиального отвода) и занимает объём 20-35 % от общего объёма камеры, а более низкая температурная зона расположена в части осевого отвода продуктов сгорания. При этом данные зоны характеризуются практически равномерным распределением в данных частях топки (рис. 1, 2), что позволяет регулировать теплосъём от топки путём перераспределения потоков на отопление и горячее водоснабжение. При этом необходимо отметить, что такое перераспределение температурного поля свидетельствует о появлении эффекта Ранке хотя и в меньшем масштабе, чем в обычных вихревых трубах.

Распределение скорости, давления и температуры, приведённое на рис. 2, 3, показало, что распределение давления в объёме топки имеет более равномерный характер, чем скорость, а распределение температуры явно происходит по противоположным частям камеры.

В данной модели наиболее рациональным будет формирование отдельного водяного контура для покрытия загрузки на систему отопления со стороны внешней оболочки камеры в области коаксиального патрубка. А второй контур (более холодный) следует присоединить к системе горячего водоснабжения.

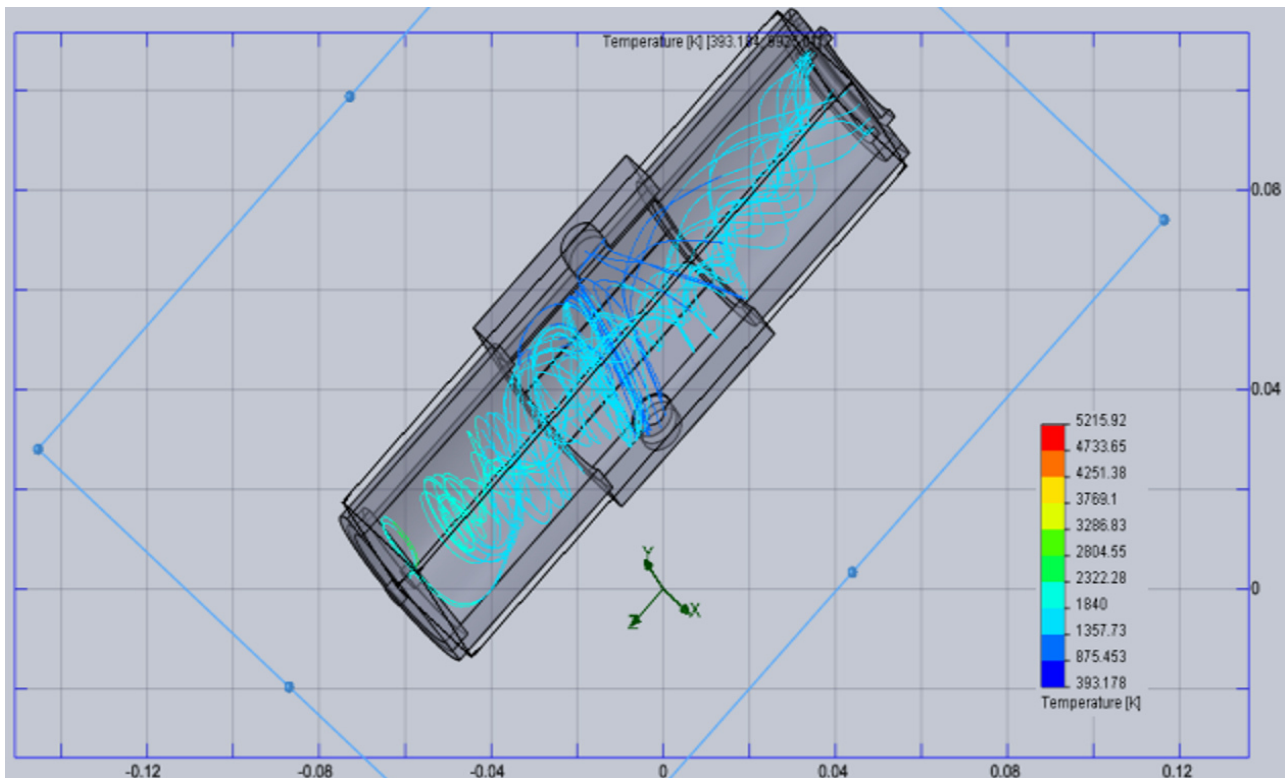


Рис.1. Распределение линий тока при сжигании газа в вихревой топке

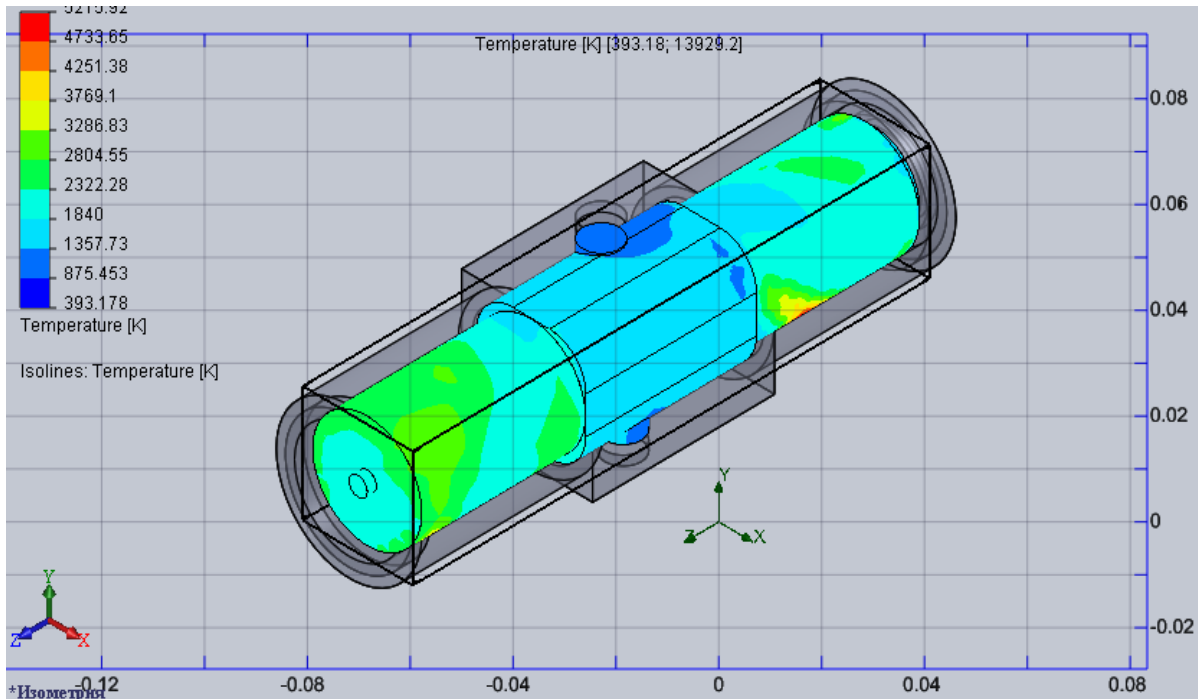


Рис.2. Распределение температуры по стенкам камеры

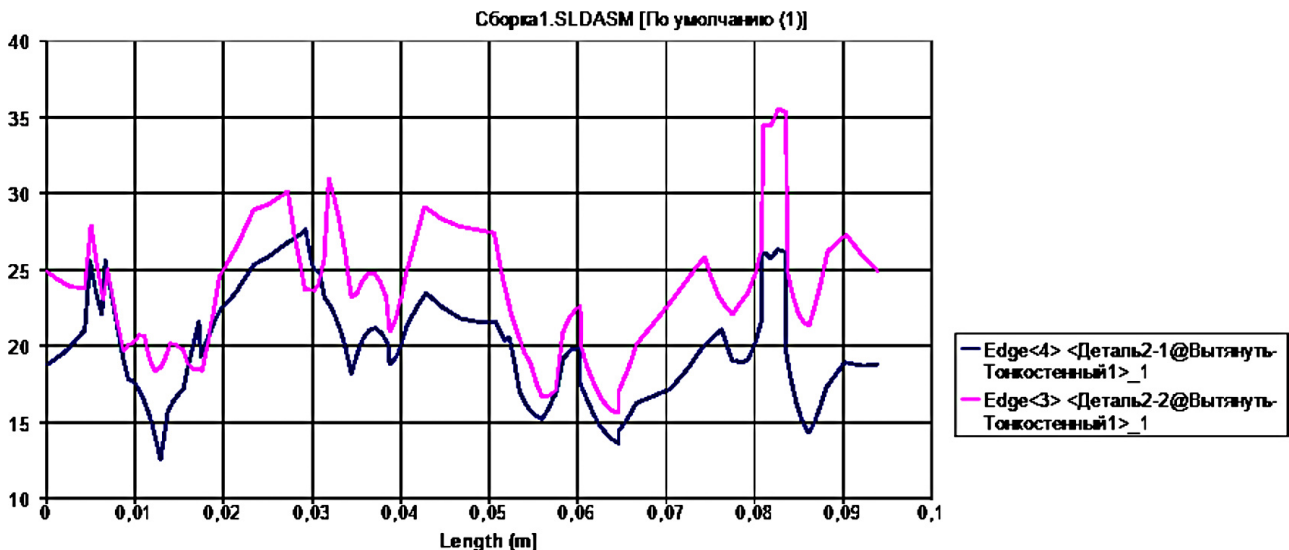


Рис.3. Распределение коэффициента теплопередачи в вихревой камере

Поскольку параметры теплоносителя зависят от режима теплоснабжения, то есть от внешних климатических условий, то варьированием величины потоков на выходе из камеры сгорания можно изменять теплосъём с соответствующей привязкой его к требуемой тепловой нагрузке.

С повышением наружной температуры повышение КПД котла по сравнению с базовым вариантом увеличивается и достигает 22 % в пересчёте на среднюю отопительную температуру для г. Одессы. То есть, с учётом стоимости 1 м³ газа окупаемость затрат на переоборудование котла составит 2,5 года.

Выводы. В результате выполненных теоретических исследований получены данные по

распределению скорости, температуры и давления в предложенной конструкции вихревой топки. Выявлен эффект Ранке при данном способе сжигания газа и предложен способ регулирования теплосъёма в двухконтурных котлах малой мощности, заключающийся в пропорциональном варьировании величины потоков на выходах из камеры сгорания в зависимости от требуемой тепловой загрузки на горячее водоснабжение и отопление в аккумуляционных системах.

Перспективы дальнейших исследований.

Представленные исследования могут быть использованы для создания инженерной методики расчёта вихревых предтопок для водогрейных котлов малой мощности

Литература

1. Тепловогой расчет котельных агрегатов: нормативный метод. – Москва: Энергия, 1973. – 296 с.
2. Пырков В. В. Особенности современных систем водяного отопления / В. В. Пырков. – Київ: «Такі справи», 2003. – 176 с.
3. Рагозин А. С. Бытовая аппаратура на газовом, жидком и твердом топливе / А. С. Рагозин. – Ленинград: Недра, 1982. – 254 с.
4. Гупта А. Закрученные потоки: Пер. с англ. / А. Гупта, Д.Лилли, Н.Сайред. – Москва: Мир, 1987. – 588с.
5. Штихлинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Штихлинг. – Москва: Наука, 1974. – 711 с.
6. Зайцев О. Н. Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок / О. Н. Зайцев // Вісник ОДАБА. – 2002. – Вип. 7. – с. 60-64.
7. Сабуров Э. Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсивным конвективным теплообменом / Э. Н. Сабуров. – Архангельск: Сев-зап. кн. из-во, 1995. – 341 с.

References

- 1, *Teplovoi raschet kotelnykh agregatov: normativnyi metod*, Energiia, 1973.
2. Pirkov V. V. *Osobennosti sovremennykh sistem vodianogo otopleniia*, «Taki spravy», 2003.
3. Ragozin A.S. *Bytovaia apparatura na gazovom, zhidkom i tverdom toplive*, Nedra, 1982.
4. Gupta A., Lilli D., Saired N. *Zakruchennnye potoki*, Mir, 1987.
5. Shlikhting G. *Teoriia pogranychogo sloia*, Nauka, 1974.
6. Zaytsev O. N. “Upravlenie aerodinamicheskoi obstanovkoi v rabochem obeme teplogeneriruiushchikh ustanovok”. *Visnik ODABA*, Iss. 7, 2002, pp. 60-64.
7. Saburov E.N. *Tsiklonnye nagrevatelnye ustroistva s intensivnym konvektivnym teploobmenom*, Sev-zap. kn. iz-vo, 1995.

УДК 662.612:428.4

Гідродинамічні особливості роботи вихрового передтопка для двоконтурних водогрійних котлів

О. П. Любарець¹, К. І. Борисенко², Т. Д. Домошей³, О. М. Зайцев⁴

¹к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, apl_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-9283

²к.т.н., доц. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, nefertichevo@ukr.net

³асп. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, zero1965@ukr.net

⁴д.т.н., проф. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, zon@ukr.net

Анотація. У результаті теоретичних досліджень полів швидкості і температури при спалюванні газу у вихровій трубі виявлено діапазон можливого використання ефекту Ранке. Запропоновано конструкцію вихрового передтопка, спосіб регулювання теплотімання у двоконтурних котлах малої потужності залежно від необхідного завантаження споживача на опалення і гаряче водопостачання. У результаті досліджень при різній швидкості входу газоповітряної суміші й температурі виявлено, що зона з найбільшою температурою перебуває в нижній частині вихрової камери (в частині коаксіального відведення) і займає об'єм 20-35 % від загального об'єму камери, а більша низька температурна зона розташована в частині осевого відведення продуктів згорання. При цьому дані зони характеризуються практично рівномірним розподілом у даних частинах топки, що дозволяє регулювати теплотімання від топки шляхом перерозподілу потоків на опалення та гаряче водопостачання. З підвищенням зовнішньої температури підвищення ККД котла порівняно з базовим варіантом збільшується і досягає 22 % в порівнянні з середньою опалювальною температурою для м. Одеси.

Ключові слова: вихрова труба, теплоспоживання, аеродинаміка топки, водогрійний котел.

UDC 662.612:428.4

Hydrodynamic Features of the Vortex Furnace for Two-Circuit Hot-Water Boilers

O. Liubarets¹, K. Borisenko², T. Domoshchey³, O. Zaitsev⁴

¹PhD, associate professor. Kiev National University of construction and architecture, Kiev, Ukraine, apl_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-9283

²PhD, associate professor. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, nefertichevo@ukr.net

³Post-graduate student. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, zero1965@ukr.net

⁴Sc.D, professor. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, zon@ukr.net

Abstract. As a result of theoretical studies of the velocity and temperature fields in the combustion of gas in a vortex tube, a range of possible use of the Rank effect was revealed. The construction of a vortex prefix, a method for controlling heating in two-circuit boilers of low power, depending on the required loading, is consumed for heating and hot water supply. As a result of researches at different rates of entry of the gas mixture and temperatures, it was discovered that the zone with the highest temperature is located in the lower part of the vortex chamber (in the part of the coaxial lead) and occupies a volume of 20...35 % of the total volume of the chamber, and the lower temperature zone is located in the part axial discharge of combustion products. At the same time, these zones are characterized by a virtually even distribution in these parts of the furnace, which allows you to regulate removals from the furnace with the way of flow redistribution between heating and hot water supply. As the outside temperature increases, the efficiency of the boiler increases compared to the base version and reaches 22 % in terms of the average heating temperature for Odessa.

Keywords: vortex tube, heat consumption, aerodynamics of the furnace, water-heating boiler.

Надійшла до редакції / Received 06.07.2017

УДК 662.612:428.4

Особенности систем периодического отопления туристических комплексов

А. П. Любарец¹, К. И. Борисенко², Т. Д. Домошней³, О. Н. Зайцев⁴

¹к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, apl_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-9283

²к.т.н., доц. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, nefertichevo@ukr.net

³асп. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, zero1965@ukr.net

⁴д.т.н., проф. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина, zon@ukr.net, ORCID:0000-0001-9084-9355

Аннотация. Туристические комплексы характеризуются периодическим режимом их эксплуатации. Выявлено, что для эффективного использования аккумулятора тепловой энергии и увеличения продолжительности поддержания допустимой температуры во временно не эксплуатируемых помещениях туристических комплексов необходимо выполнять расчёты требуемой площади нагрева (установленной мощности) отопительных приборов не при максимальном нормативном перепаде температуры на поверхности прибора, а при среднем фактическом - с учётом остывания отопительного прибора, подаваемого теплоносителя и минимально-допустимой расчётной температуры в помещении. Аналитическое моделирование процессов при периодическом отоплении общественных, жилых и офисных помещений туристических комплексов при минимальном расчётном температурном перепаде 25...33°C ((55-35)-(12...20)°C) свидетельствует о необходимости увеличения установленной тепловой мощности отопительных приборов не менее чем в 1,5...2,25 раза.

Ключевые слова: система водяного отопления, аккумулятор тепловой энергии, отопительный прибор.

Введение. Уменьшение запасов всех видов ископаемого топлива приводит к их постоянно-му удорожанию. В случае с туристическими комплексами наиболее острой является проблема обеспечения их энергоресурсами, особенно в холодный период года. Данная ситуация усугубляется с одной стороны значительной стоимостью инженерных коммуникаций и поставкой энергоресурсов, а с другой – непостоянной загрузкой и достаточно непредсказуемой периодичностью потребления тепловых ресурсов. Особенно ощутимо это для Украины, так как доля затрат энергии в жилищно-коммунальном хозяйстве таких комплексов составляет около 40 % суммарного энергопотребления, что значительно превышает аналогичный показатель в европейских странах [1].

Актуальность исследований. Таким образом, снижение энергозатрат на отопление помещений представляет собой важную задачу для круглогодичной работы туристических комплексов. Достигнуть этого можно следующими известными способами:

- повышением эффективности работы существующего энергетического оборудования;
- применением нового экономного оборудования, такого как конденсационные котлы, тепловые насосы, солнечные коллекторы;

- увеличением термического сопротивления ограждающих конструкций зданий;
- утилизацией теплоты отработанного вентиляционного воздуха;
- регулированием теплового потока отопительных приборов и, следовательно, производительности генератора теплоты.

Последние исследования и публикации.

Существует ещё один эффективный способ снижения энергопотребления отопительных систем. Он связан с применением низкотемпературного лучистого отопления, которое позволяет использовать энергию возобновляемых и вторичных источников с помощью специальных устройств (тепловых насосов, солнечных коллекторов, конденсационных котлов и т.д.) [2, 3, 4, 5]. Нагревательные приборы в таких системах имеют развитую площадь поверхности и температуру, ограниченную нормативными документами. Однако, применение таких систем требует обязательного устройства аккумуляторов тепловой энергии. При этом их подбор и расчёт времени обеспечения эффективной работы аккумулятора в условиях периодической работы теплогенератора не изучен в достаточной мере [6].

Наиболее простым и надёжным устройством аккумуляции теплоты является жидкостный теплоаккумулятор, что связано с совмещением функций теплоаккумулирующего ма-

териала и теплоносителя.

Формулирование целей статьи. Цель работы – повышение эффективности работы систем аккумуляционного децентрализованного теплоснабжения с изменяемым тепло-гидравлическим режимом.

Для достижения поставленной цели решалась следующая задача: выявить пределы регулирования тепловой мощности системы отопления с переменным гидравлическим режимом при работе от бака-аккумулятора в условиях снижения температурного напора и уточнить существующую методику расчёта аккумуляторной ёмкости для системы водяного отопления с учётом работы терморегуляторов [1,2,3].

Основная часть. В данном случае рассматривалась задача, когда источником тепловой энергии для системы отопления является аккумуляторная ёмкость. То есть, для определения фактического времени поддержания требуемой температуры в помещении за счёт тепловой энергии бака-аккумулятора необходимо сравнить изменение количества тепловой энергии, поступающей в помещение от нагревательных приборов при охлаждении теплоносителя с учётом увеличения расхода теплоносителя с располагаемым на данный период количеством теплоты в аккумуляторе.

Для определённости в задаче принят температурный перепад 80-60 °С, тепловая мощность системы отопления – 2500 Вт, в качестве нагревательного прибора принят стальной радиатор с коэффициентом теплоотдачи 4,9 Вт/(м² К), система отопления принята двухтрубной.

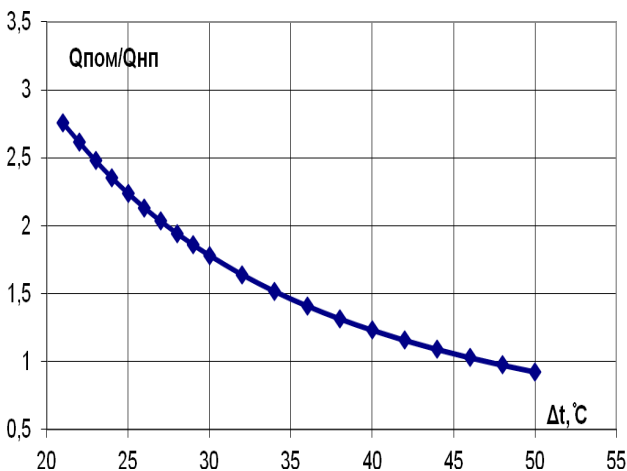


Рис. 1. Зависимость отношения требуемой тепловой мощности к мощности нагревательного прибора от располагаемого температурного напора.

Полученные данные показали, что зависимость температурного напора от соотношения требуемой тепловой мощности к фактической мощности нагревательного прибора (рис. 1) не является прямо пропорциональной и отражает характеристику влияния работы термостатического клапана на пропускную способность нагревательного прибора и, соответственно, на тепловую мощность последнего. При этом наблюдается падение мощности в нагревательном приборе по сравнению с требуемой более чем в 1,5 раза. То есть, тепловая мощность бака-аккумулятора остаётся постоянной до достижения перепада температуры теплоносителя 60-40 °С, а после происходит резкое возрастание расхода, вызванное уменьшением располагаемого перепада температуры теплоносителя (минимально-допустимая температура в баке-аккумуляторе, из условия подогрева воды на нужды горячего водоснабжения – 55 °С).

Выводы. Увеличение скорости движения теплоносителя в системе отопления не приводит к существенному увеличению теплоотдачи в нагревательных приборах, работающих от источника тепловой энергии – бака аккумулятора. При этом нехватка тепловой мощности от нагревательного прибора достигает 1,5...2,25 раз. Для более эффективного использования бака-аккумулятора и увеличения времени поддержания заданной температуры в помещении необходимо выполнять расчёт требуемой площади нагревательных приборов для таких систем отопления не на максимальный температурный перепад, а с учётом остывания – на средний, между максимальным и минимально-допустимым в помещении. В зависимости по определению требуемого объёма бака-аккумулятора необходимо наряду с учётом температурного перепада теплоносителя ввести корректирующее соотношение максимального и минимального температурного напора. Тогда увеличение объёма аккумулятора позволит использовать его тепловую мощность в течении расчётного периода использования бака в качестве теплового источника системы отопления.

Перспективы дальнейших исследований. Представленные исследования могут быть использованы для создания инженерной методики расчёта отопительных приборов в случаях периодического отопления твердотопливными котлами с теплоаккумуляторами.

Литература

1. Богословский В. Н. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави. – Москва: Стройиздат, 1990. – 344 с.
2. Круковский П. Г. Анализ путей уменьшения энергозатрат за счет периодического снижения температуры воздуха отапливаемых помещений / П. Г. Круковский, О. Ю. Тадля, М. А. Метель, Г. А. Рархоменко // Промышленная теплотехника. – 2008. – т. 30. – № 2. – с.79.
3. Зайцев О.Н. Проектирование систем водяного отопления: пособие для проектировщиков, инженеров и студентов технических ВУЗов / О. Н. Зайцев, А. П. Любарец. – Вена – Киев – Одесса, 2008. – 200 с.
4. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 5. – с. 62-68.
5. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 6. – с. 71-83.
6. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома / А.И. Накорчевский // Промышленная теплотехника. – 2009. – № 1. – с. 67-73.

References

1. Bogoslovskii V. N., Krupnov B. A., Skanavi A. N. *Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroistva*, Vol.1 Otoplenie, Stroizdat, 1990.
2. Krukovskii P. G., Tadia O. Yu., Vetel M. A., Rarkhomenko G. A. «Analiz putei umensheniia energozatrat za schet periodicheskogo snizheniia temperatury vozdukha otaplivaemykh pomeshchenii», *Prom. Teplotekhnika*, 2008, Vol.30, no 2, p.79.
3. Zaitsev O. N., Liubarets A. P. *Proektirovanie system vodianogo otopleniia*, Vena – Kiev – Odessa, 2008.
4. Dovmir N. M. «Nizkotemperaturnye rezhimy sistem otopleniia kak predposylka effektivnogo primeneniia kondensatsionnykh kotlov i teplovykh nasosov», *Prom. Teplotekhnika*, 2008, no 5, pp. 62-68.
5. Dolinskii A. A., Draganov B. Kh. «Teplovie nasosi v sisteme teplosnabzheniia zdanii», *Prom. Teplotekhnika*, 2008, no 6, pp. 71-83.
6. Nakorchevskii A.I. «Sistema teplosnabzheniia teploavtonomnogo doma», *Prom. teplotekhnika*. 2009, no 1, pp. 67-73.

УДК 662.612:428.4

Особливості систем періодичного опалення туристичних комплексів

О. П. Любарец¹, К. І. Борисенко², Т. Д. Домошей³, О. М. Зайцев⁴

¹к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, apl_knuba@ukr.net, ORCID:0000-0003-1905-9283

²к.т.н., доц. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, nefertichevo@ukr.net

³асп. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, zero1965@ukr.net

⁴д.т.н., проф. Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса, Україна, zon@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9084-9355

Анотація. Туристичні комплекси характеризуються періодичним режимом їхньої експлуатації. Було встановлено, що для ефективного використання акумулятора теплової енергії та збільшення тривалості підтримування допустимої температури в приміщенні, що тимчасово не експлуатується, необхідно виконувати розрахунки необхідної площі нагріву (встановленої потужності) опалювальних приладів не за максимальної різниці температури на поверхні приладу, а при середній фактичній різниці – з урахуванням охолодження опалювального приладу, теплоносія та мінімальної дозволеної температури в приміщенні. Аналітичне моделювання процесів при періодичному опаленні громадських, житлових та офісних приміщень туристичних комплексів при мінімальному розрахунковому перепаді температур 25...33°C ((55-35)-(12...20°C)) вказує на необхідність збільшення встановленої теплової потужності опалювальних пристроїв не менше ніж у 1,5...2,25 рази.

Ключові слова: система водяного опалення, акумулятор теплової енергії, опалювальний прилад.

UDC 662.612:428.4

Particular Systems for Periodic Heating of Tourist Complexes

O. Liubarets¹, K. Borisenko², T. Domoshchey³, O. Zaitsev⁴

¹PhD, associate professor. Kiev National University of construction and architecture, Kiev, Ukraine, apl_knuba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1905-9283

²PhD, associate professor. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, nefertichevo@ukr.net

³ Post-graduate student. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, zero1965@ukr.net

⁴ Sc.D, professor. Odessa State Academy of civil engineering and architecture, Odessa, Ukraine, zon@ukr.net , ORCID:0000-0001-9084-9355

Abstract. Tourist complexes is characterized by periodical operating regime. It was revealed that in order to effectively utilize the thermal receiver energy and increasing the duration of the maintenance of the minimum admissible indoor temperature, it is necessary to perform the calculations of required heating surface (installed capacity) of radiators not at a maximum difference of temperature on the surface of the radiator, but at an average actual one – in view of the cooling of the radiator, the heat carrier and the minimum admissible design temperature limits. Analytical simulation of periodic heating of public, residential and office premises of tourist complexes at the minimum design temperature differential 25...33 °C ((55-35) -12... 20 °C) shows the need to increase the installed thermal power of radiators not less than 1.5...2.25 times.

Keywords: the system of water heating, battery thermal energy, battery heat heater.

Надійшла до редакції / Received 06.07.2017

УДК 697.11

Газодинаміка в жаротрубних водогрійних твердопаливних котлах

М. О. Зайцев¹

¹студ. Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна, zaitsevnikita@ukr.net

Анотація. У виконаному дослідженні запропонована модель теплообміну в жаротрубних котлах на основі чисельного розв'язання за $k-\epsilon$ моделлю турбулентних потоків при обраних початкових і граничних умовах. Визначено режими та межі досліджуваної області роботи конвекційних поверхонь при зміні теплового навантаження, як для водотрубних, так і для жаротрубних котлів. Отримані результати моделювання дозволили зробити висновок, що процеси тепломасообміну, які протікають у досліджуваних моделях відрізняються за теплотехнічними і фізико-технічними параметрами. Отримані результати дозволяють визначити швидкість руху твердих частинок і час перебування їх у будь-якій точці контуру жаротрубного теплогенератора. Виконаний аналіз зміни теплового потоку, різниці тиску і об'ємної витрати дозволяє визначити найбільш раціональні методи зниження витрати палива шляхом зниження термічного опору теплосприймальної поверхні нагріву конвективної частини теплообмінника.

Ключові слова: інерційність, теплопровідність, конвекційний потік, теплогенераторна установка.

Вступ. На даний час в Україні зношеність тепломереж і котельень сягає 70 %. Устаткування котельень централізованих систем теплопостачання морально і фізично застаріло, а теплові мережі є найменш надійним елементом, на який припадає приблизно 85 % відмов у системі в цілому. В умовах постійного зростання цін на електричну енергію, воду, паливні та матеріальні ресурси, експлуатація таких систем є неприпустимою. Також недоліком існуючих централізованих джерел теплоти є те, що вони проектувалися без можливості зниження викидів до навколишнього середовища [1]. Одним з напрямків зниження енерговитрат і поліпшення екологічної складової роботи теплових підприємств є технічне вдосконалення теплогенераційних систем. Серед способів реалізації даної проблеми є зниження термічного опору теплосприймальної поверхні в процесі експлуатації котельних агрегатів. Це дозволить ефективно вирішувати завдання опалення та гарячого водопостачання з економією енергії.

Актуальність досліджень. На сьогодні найбільшого поширення набули теплогенератори зарубіжного виробництва, проте вітчизняні теплогенератори мають аналогічні характеристики і складають гідну конкуренцію закордонним аналогам. У теплогенераторах жаротрубного типу через досить високу температуру газів (160...200 °C) виникають нагар, накип, відкладення різного роду. Тому актуальним питанням є вдосконалення конвекційної частини жаротрубних теплогенераторів малої потужності вітчизняного виробництва, що дозволить поліпшити їхні енергетичні та екологічні характеристики [2].

Останні дослідження та публікації. Існуюча технічна документація, інструкції щодо експлуата-

ції та дій в аварійних ситуаціях, документація про ремонтні заходи котельних агрегатів сформовані на аварійних позаштатних ситуаціях при збиранні котлового агрегату й при експлуатації робочої моделі на виробництві. Тому методологія ремонту та очищення котлів не дає повну картину про процеси, які протікають всередині котлового агрегату в реальному часі, незалежно від стадії експлуатації [3, 4]. А вивчення і дослідження основних чинників, що впливають на роботу і експлуатацію, складні та вимагають значних фінансових витрат. Найбільш доцільним видається вивчення процесу очищення котлових відкладень за допомогою комп'ютерного моделювання [5]. Даний метод дозволяє отримати дані про досліджувані процеси, зокрема, як протікає і змінюється процес теплопередачі [6].

Формування мети дослідження. Метою роботи є підвищення енергоефективності та поліпшення екологічних характеристик жаротрубних водогрійних теплогенераторів шляхом зниження термічного опору теплосприймальної поверхні в процесі її експлуатації.

Основна частина. Моделювання процесів для збільшення теплової ефективності жаротрубних водогрійних теплогенераторів і зниження термічного опору поверхонь нагріву конвекційної частини запропоновано виконати за допомогою програмного комплексу [5]. Досліджувана модель №1 «НБВК» (рис.1) – це водотрубний вертикальний теплообмінник або нагрівальний бокс водогрійного котла на твердому паливі. Модель

№1 НВБК – це камера нагріву чотирьохходового водогрійного котла.

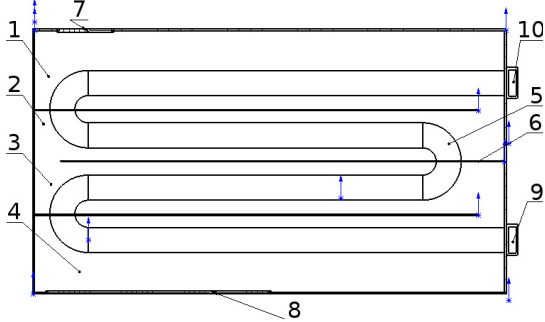


Рис 1. Досліджувана модель №1 водотрубного теплообмінника НВБК: 1 - блок нагріву №1; 2 - блок нагріву №2; 3 - блок нагріву №3; 4 - блок нагріву №4; 5 - змійовик; 6 - пластина; 7 - канал №1; 8 - канал №2; 9 - гребінка розподільна №2; 10 - гребінка розподільна №1.

Камера виконана з жароміцного металу, міді та нержавіючої сталі. Відпрацьовані гази досягають плоскої кришки камери нагріву та проходять до конвекційного газоходу блоку 1 і 2, де виникає первинний нагрів останньої петлі розташованих у ряд змійовиків. Далі димові гази розгортаються на 180° і надходять до газоходу блоків 3 та 4. При цьому вони нагрівають поверхні ВНБ і циліндричний змійовик з рідиною. Після газоходу 4 гази надходять до збірного димового коробу і звідти – до газоходу та димової труби.

Досліджувана модель № 2 «НБЖК» (рис. 2, 3) – це жаротрубний вертикальний теплообмінник або нагрівальний бокс жаротрубного котла на твердому паливі. Модель № 2 ЖВНБ – це камера нагріву п'ятиходового жаротрубного котла. Камера виконана з жароміцного металу, міді та нержавіючої сталі. Відпрацьовані гази з максимальною температурою проходять циліндричним горизонтальним ходом конвекційного тепломасообмінного блоку № 1.

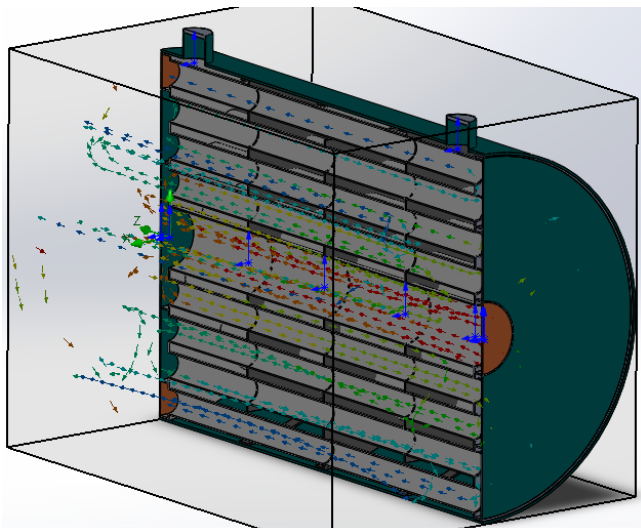


Рис. 2. Досліджувана модель №2 «НБЖК».

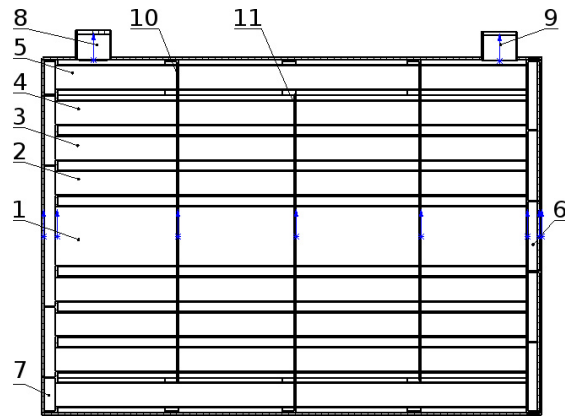


Рис 3. Досліджувана модель водотрубного теплообмінника - ЖВНБ. 1 - блок нагріву №1; 2 – блок нагріву №2; 3 - блок нагріву №3; 4 - блок нагріву №4; 5 - блок нагріву №5; 6 - канал №1 – теплоносій; 7 - відвідний канал №2 - димові гази; 8 - канал №3; 9 - відвідний канал №4; 10, 11 - розділова пластина №1.

Потім димові гази потрапляють до конвекційних газоходів блоків № 2, 3, 4 і 5, де змінюють свій напрямок руху не тільки за ходом і проти ходу теплосприймальної рідини, але і вздовж діаметра газоходу. Тим самим збільшується коефіцієнт теплопередачі. Після газоходу 4 гази надходять до збірної димового короба і звідти – до газоходу і димової труби. Конструктивна схема ЖВНБ така. 1 – ЖВНБ, що складається з чотирьох блоків нагріву. Блок № 1 – частина камери, де відбувається подача теплоносія після згоряння. У даному блоці температура теплоносія максимальна. Блок № 2 – частина камери з критичною точкою теплоносія. Критична точка – точка зниження температури теплоносія при взаємодії з поверхнями нагріву. Блоки № 3 і № 4 – частини камери, де конвекційний теплообмін протікає з температурою димових газів, що постійно знижується. Блок № 5 – частина камери з мінімальною температурою теплоносія після взаємодії з поверхнями нагріву. 2 – газохід, що складається з жаротрубних поверхонь нагріву. Газохід – пучок жаротрубних циліндричних поверхонь конвекційного теплообміну, розташованих вздовж периметру на заданій відстані. Прийнято 41 трубу в конвекційному пучку діаметром 40 мм і товщиною стінки 2 мм. Завдання газоходу – передати максимальну кількість те-

плогої енергії від теплоносія до теплосприймального середовища. Даний елемент теплообмінника повинен мати максимальну теплопровідність і мінімальний коефіцієнт термічного опору. 3 – розділові міжблокові пластини теплообмінника. Міжблокові пластини – це листи металу, що розділяють теплообмінник на блоки теплообміну. 4 – подавальний канал № 1 і відвідний канал № 2 продуктів згоряння. Подача і відведення продуктів згоряння після процесу тепломасообміну здійснюється природною або механічною аеродинамічною тягою з камери згоряння через блоки нагріву для передачі теплової енергії від конвекційних поверхонь нагріву. 5 – подавальний канал № 3 і відвідний канал № 4 для подачі та виведення теплосприймальної рідини. Подача цієї рідини здійснюється через розподільну гребінку № 1 під тиском після очищення з мережі або водних резервуарів. Після завершення процесу теплообміну теплоносії (рідина) виводиться зі змійовика через розподільну гребінку № 2 й подається теплопроводом до споживача. Конструктивна схема моделі ЖВНБ представлена на рис. 3. Параметри палива наведені в табл. 1.

Порівняльний аналіз отриманих теплових і фізико-технічних процесів тепломасообміну наведено на рис. 4-7. Отримані результати моделювання показали, що процеси тепломасообміну, які протікають у досліджуваних моделях, відрізняються за теплотехнічними і фізико-технічними параметрами. Постійна зміна температури в

моделях вказує на зміну коефіцієнта теплопровідності: чим вища температура теплового потоку, тим менший коефіцієнт теплопровідності. Коефіцієнт термічного опору стінки газоходу

$$R = \delta / \lambda = 0,002 / 15 = 0,00013 \text{ м}^2 \text{ К} / \text{Вт}.$$

Таблиця 1.

Параметри палива, використаного при моделюванні теплообмінних процесів.

Основні характеристики	Вид палива	
	Деревина	Вугілля – антрацит
Вихід летючих, Vл	≥70%	2...9 %
Вміст сірки, SHP	-	0...8 %
Вологість, Wp	30...50 %	5...10 %
Зольність, Ap	10...25 %	<5%
Теплота горіння, (МДж/кг) QHP	13,5...19	~26,0
Теплопродуктивна здатність, Ккал	3790	8350
Жаропродуктивна здатність, °С	865	1470

Даний коефіцієнт буде залежати від зміни коефіцієнта теплопровідності. Отже, ККД теплогенератора буде на пряму залежати від величини зміни термічного опору матеріалу теплосприймальної стінки. Отримані результати дозволяють визначити швидкість руху твердих частинок і час їхнього перебування в будь-якій точці контуру жаротрубного теплогенератора.

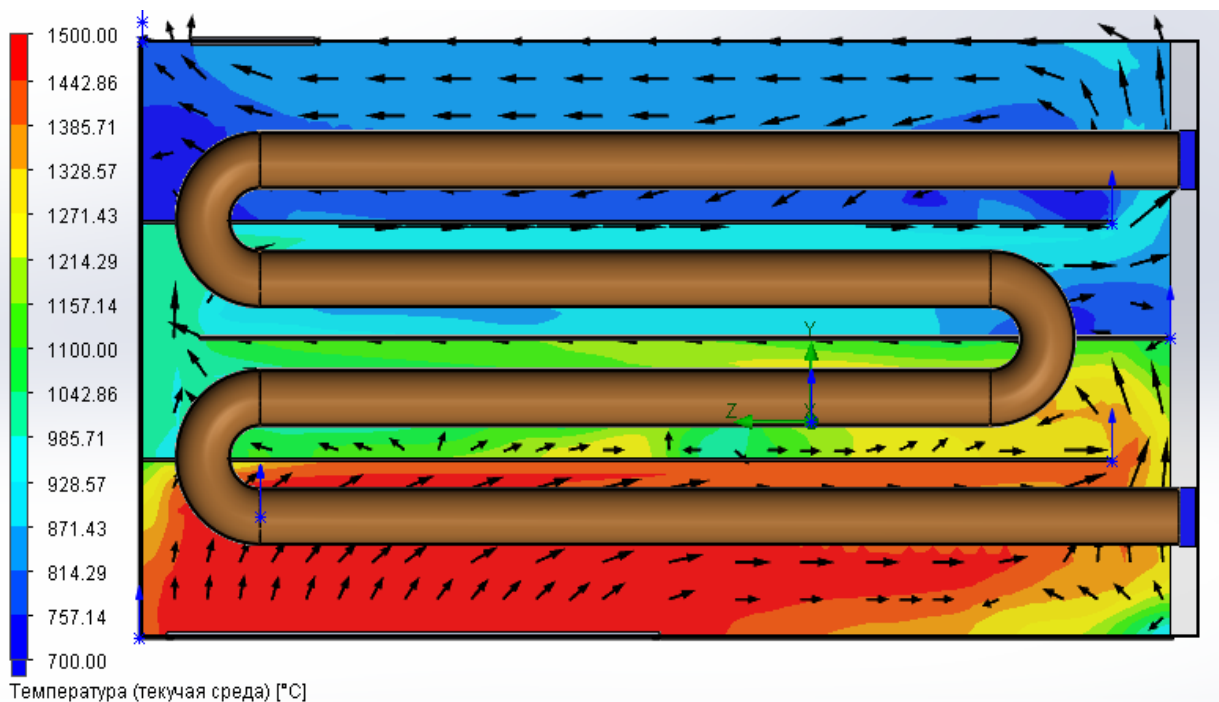
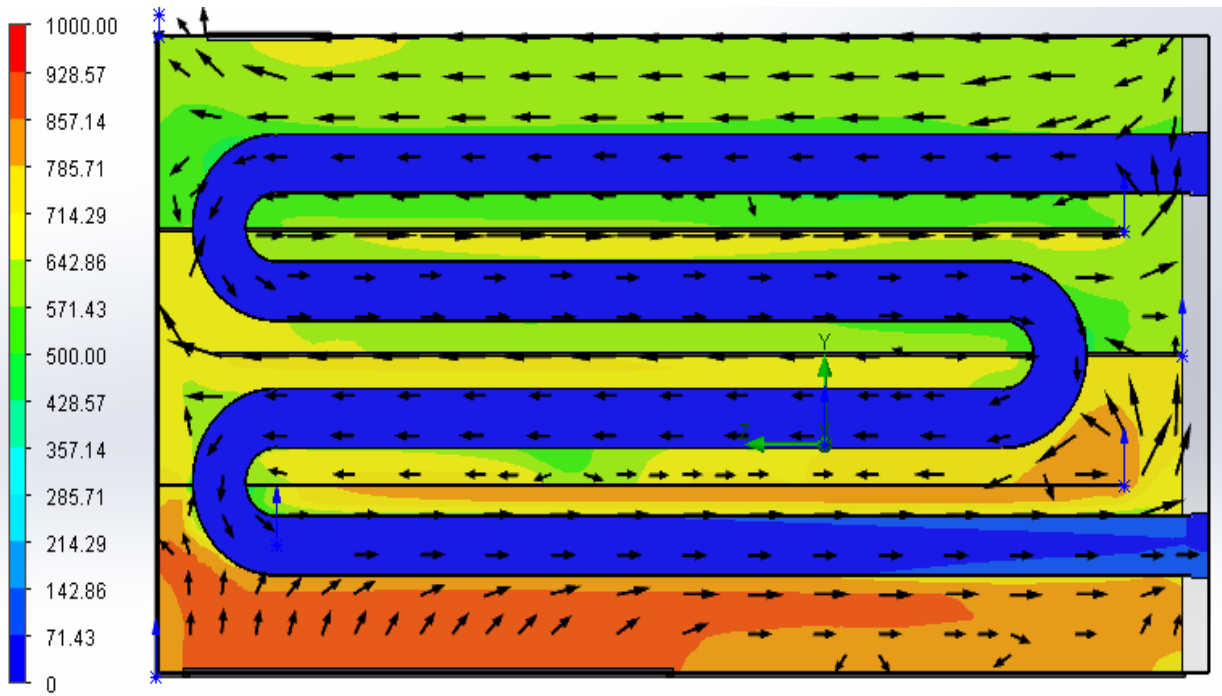
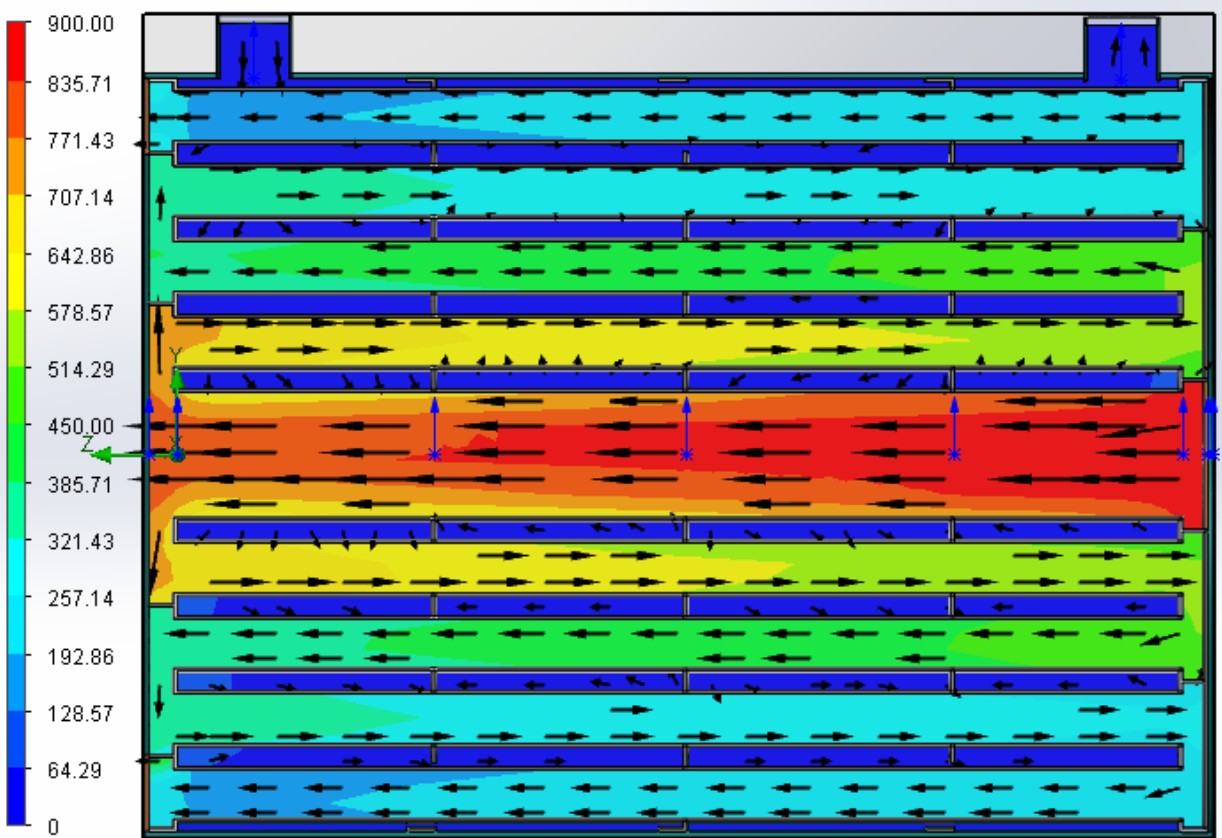


Рис.4. Температура теплового потоку газового середовища в моделі НБВК, паливо – вугілля.



Температура (текущая среда) [°C]

Рис.5. Температура теплового потока газового середовища в моделі НБВК, паливо – деревина.



Температура (текущая среда) [°C]

Рис.6. Температура теплового потока газового середовища в моделі ЖВНБ, паливо – деревина

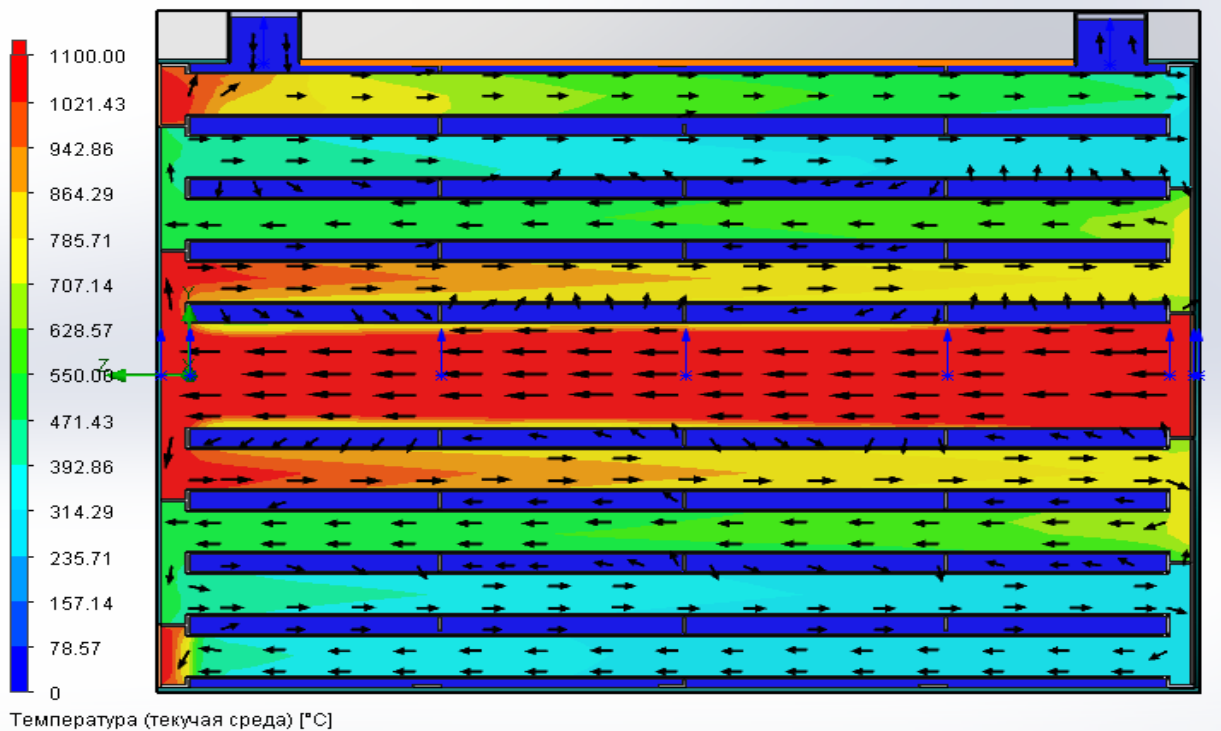


Рис.7. Температура теплового потока газового середовища в моделі ЖВНБ, паливо – вугілля.

Аналіз зміни температурного потоку, різниці тиску й об'ємної витрати дозволяє визначити найбільш раціональні методи зниження витрати палива шляхом зниження термічного опору теплосприймальної поверхні нагріву конвекційної частини теплообмінника.

Висновки. Обґрунтована чисельна модель тепломасообмінних процесів у жаротрубних котлах малої потужності на основі чисельного розв'язання за $k-\varepsilon$ моделлю турбулентних потоків при обраних початкових і граничних умовах. Визначено режими і межі дослідної області роботи конвекційних поверхонь при зміні теплових навантажень. Виявлено, що коефіцієнт термічного опору стінки газоходу становить $0,00013 \text{ м}^2 \text{ К} / \text{Вт}$. При цьому коефіцієнт термічного опору стінки газоходу залежить від коефіцієнта теплопровідності, що до-

зволяє зробити висновок про пряму залежність ККД теплогенератора від величини зміни термічного опору матеріалу теплосприймальної стінки.

Перспективи подальшого дослідження. Отримані результати можуть бути використані для створення інженерної методики визначення розмірів турбулізаторів потоку для досягнення оптимального ефекту й розрахунку швидкості руху твердих частинок та часу їхнього перебування в будь-якій точці контура жаротрубного теплогенератора.

Подяка. Велика подяка академіку Академії будівництва України Олександрові Петровичу Любарцю за цінні зауваження та підтримку цієї роботи.

Література

1. Хаванов П. А. Водогрійні котлоагрегати малої потужності: теплотехнічні особливості застосування / П.А. Хаванов // *Вентиляція. Опалення. Кондиціонування: АВОК*. – 2011. – № 5. – с. 66-71.
2. Накорчевський А.І. Система теплопостачання теплоавтономного дома // *Промышленная теплотехника*. – 2009. – № 1. – с. 67-73.
3. Быстров Ю.А. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю.А. Быстров, С.А. Исаев, Н.А. Кудрявцев, А.И. Леонтьев. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 392 с.
4. Юрченко О. Экспериментальные исследования колебаний скорости в сильнозакрученной газовой струе с прецессирующим вихревым ядром / О. Юрченко, А. Любарец, Т. Дихтярь, О. Зайцев // *Труды международной конференции «Энергия -2010»*, Lublin: Motrol. – 2010. – № 12. – с. 266-272.
5. Алямовский А. А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, и др. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.: ил.
6. Довмир Н.М. Низкотемпературные режимы систем отопления как предпосылка эффективного применения конденсационных котлов и тепловых насосов // *Промышленная теплотехника*. – 2008. – № 5. – с. 62-68.

References

1. Khavanov P. A. "Vodohriini kotloahrehaty maloi potuzhnosti: teplotekhnichni osoblyvosti zastosuvannia", Ventylyatsiia. Opalennia. Kondytsiuvannia: AVOK, no 5, 2011, pp. 66-71.
2. Nakorchevs'kyi A.I. "Systema teplopstachannia teploavtonomnoho doma", Prom. Teplotekhnika, no 1, 2011, pp. 67-73.
3. Bystrov YU.A., Isaev S.A., Kudriavtsev N.A., Leontev A.I. *Chyslennoe modelyrovannia vikhrevoi intensyfykatsii teploobmena v paketakh trub*, Sudostroenie, 2005.
4. Alyamovskii A. A., Sobachkin A. A., Odintsov E. V., Kharitonovich A. Y., Ponomarev N. B. *SolidWorks. Kompiuternoe modelirovanie v inzhenernoi praktike*, BKHV-Peterburh, 2005.
5. Dovmir N. M. «Nizkotemperaturnye rezhimy sistem otopleniia kak predposylka effektivnogo primeneniia kondensatsionnykh kotlov i teplovykh nasosov», *Prom. Teplotekhnika*, 2008, no 5, pp. 62-68.
6. Yurchenko O., Liubarets A., Dikhtiar T., Zaitsev O. "Ėksperimental'nye issledovaniia kolebanii skorosti v sylnozacruchennoi hazovoi strue s pretssiruiushchem vikhrevym yadrom", *Trudy mezhdunarodnoi konferentsii «Enerhiia -2010»*, Motrol, 2010, no 12, pp. 266-272.

УДК 697.11

Газодинамика в жаротрубных водогрейных твердотопливных котлах

М. О. Зайцев¹

¹студ. Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина, zaitsevnikita@ukr.net

Аннотация. В выполненном исследовании предложена модель теплообмена в жаротрубных котлах на основе численного решения по k-ε модели турбулентных потоков при выбранных начальных и граничных условиях. Определены режимы и границы исследуемой области работы конвекционных поверхностей при изменении тепловой нагрузки как для водотрубных, так и для жаротрубных котлов. Полученные результаты моделирования позволили сделать вывод, что процессы теплообмена, протекающие в исследуемых моделях, отличаются по теплотехническим и физико-техническим параметрам. Полученные результаты позволяют определить скорость движения твердых частиц и время пребывания их в любой точке контура жаротрубного теплогенератора. Выполненный анализ изменения температурного потока, разности давлений и объемного расхода позволяет определить наиболее рациональные методы снижения расхода топлива путём снижения термического сопротивления теплопринимающей поверхности нагрева конвективной части теплообменника.

Ключевые слова: инерционность, теплопроводность, конвективный поток, теплогенерирующая установка.

UDC 697.11

Gas Dynamics in Fire-Tube Hot-Water Solid-Fuel Boilers

M. O. Zaitsev¹

¹Student. Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine, zaitsevnikita@ukr.net

Abstract. In the carried out research the model of heat exchange in the fire-tube boilers based on numerical solution of by k-ε simulation of turbulent flows under the selected initial and boundary conditions is proposed. The modes and boundaries of the investigated area of work of convective surfaces at the change of the thermal load, both for water-tube and for fire-tube boilers are determined. The obtained simulation results allowed to conclude that the processes of heat and mass transfer, which occur in the models under study, differ from the thermotechnical and physical-technical parameters. The obtained results allow us to determine the velocity of the particles and the time of their stay at any point in the contour of the heat generator. The analysis of changes in the temperature flux, the difference in pressure and volume flow allows us to determine the most rational methods for reducing fuel consumption by reducing the thermal resistance of the heat-receiving surface of the heating of the convective part of the heat exchanger.

Key words: inertia, thermal conductivity, convective flow, heat generating installation.

Надійшла до редакції / Received 24.10.2017

УДК 697.942

Уловлювання частинок бензолу в коксовому газі скруберами насадкового типу

О. Ф. Редько¹, Ю. І. Чайка², Ю. О. Бурда³

¹д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, redko.af@gmail.com, ORCID 0000-0002-9375-1262

²к.т.н., доц. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, yuri.chayka@gmail.com, ORCID 0000-0001-7556-6306

³аспірант. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

Анотація. У даній роботі розглянуті особливості вловлювання часток бензолу в коксовому газі скруберами насадкового типу. Були проаналізовані й оброблені експериментальні та теоретичні данні щодо залежності кількості часток від температури та тиску. Отримано рівняння регресії, яке дозволяє розрахувати ефективність уловлення часток бензолу залежно від температури та тиску. На підставі статистичного аналізу рівняння регресії експериментальних даних виявлено фактор, що найбільше впливає на ефективність уловлювання частинок бензолу. Цим фактором є температура. Точковий коефіцієнт еластичності для цього фактора перевищує три, а для інших факторів цей коефіцієнт значно менший за одиницю. Показано, що для інтенсифікації вловлювання необхідно максимально знижувати температуру перебігу процесу. За рівнянням регресії побудовано графік.

Ключові слова: скрубер, коксовий газ, бензол, викиди в атмосферу, насадка, коксова промисловість.

Вступ. Скрубер насадкового типу – апарат для промивання рідинами газів з метою їхнього очищення та для добування одного або декількох компонентів, а також барабанна машина для промивання корисних копалин. Скрубер насадкового типу широко використовується при уловлюванні продуктів коксування та очищенні промислових газів від пилу, для зволоження і охолодження газів, в різних хіміко-технологічних процесах (рис. 1).

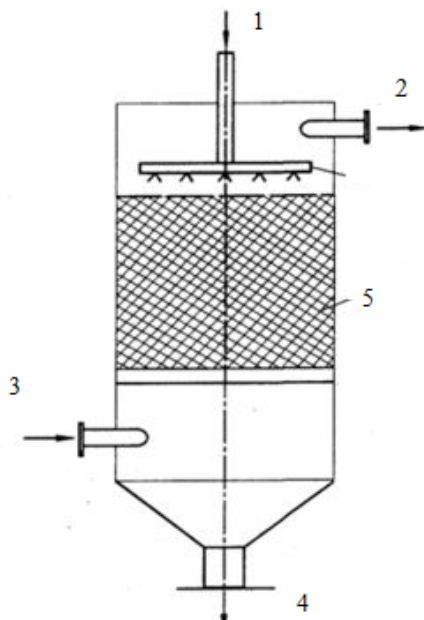


Рис. 1. Скрубер насадкового типу
1 - рідина; 2 - очищені гази; 3 - гази на очищення;
4 - шлам; 5 - насадка

Процес мокрого пиловловлення заснований на контакті запиленого газового потоку з рідиною, яка захоплює зважені частинки і забирає їх з апарату у формі шламу. Метод мокрого очищення газів від пилу вважається досить простим і в той же час досить ефективним способом знепилювання [1, 2, 3, 4].

Актуальність дослідження. Атмосферне повітря – невичерпний ресурс. Але в окремих регіонах земної кулі він потрапляє під такий сильний антропогенний вплив, що виникає проблема якісного складу атмосфери, особливо у великих промислових центрах.

Атмосферне повітря забруднюється шляхом привнесення в нього або утворення в ньому забруднювальних речовин у концентраціях, що перевищують нормативи якості або рівня природного вмісту [5, 6].

Забруднювальні речовини – домішки в атмосферному повітрі, які чинять при певній концентрації несприятливий вплив на здоров'я людини, рослинний і тваринний світ та інші компоненти навколишнього природного середовища або спричиняють пошкодження матеріальних цінностей.

Процеси виплавки чавуну й переробки його на сталь супроводжуються викидом до атмосфери різних газів. Викид пилу в розрахунку на 1 т додатного чавуну складає 4,5 кг, сірчистого газу – 2,7 кг, марганцю – 0,1...0,6 кг. Разом із доменним газом до атмосфери в невеликій кількості викидаються також сполу-

ки миш'яку, фосфору, сурми, свинцю, ртуті і рідких металів, ціанистий водень і смолисті речовини [7].

Більшість сучасних заводів чорної металургії мають цехи коксування вугілля та відділення переробки коксового газу. Коксохімічні виробництва забруднюють атмосферне повітря пилом і сумішшю летких сполучень. У деяких випадках, наприклад, коли порушується режим роботи, в атмосферу викидається значна кількість неочищеного коксового газу [8, 9, 10].

Зменшення викидів шкідливих речовин є пріоритетною задачею для всіх країн світу. Для зменшення шкідливих викидів від промисловості найбільш актуальним є скруббер, що вимагає незначних капіталовкладень і забезпечує ефективність роботи.

Вихідні дані. У даному дослідженні були взяті емпіричні дані першого ступеня охолодження коксового газу для порівняння ефективності вловлювання парів бензолу в скруббері насадкового типу (табл. 1).

Таблиця 1

Емпіричні дані першого ступеня охолодження коксового газу для порівняння ефективності уловлювання парів бензолу в скруббері насадкового типу

Компоненти	Кількість, г/м ³	Після першого рівня охолодження
	Прямий газ	
Водяні пари	250- 450	120-180
Пари смоли	80-150	20-50
Вуглеводи	30-40	10-16
Бензол	8-13	7-11
Сірководень	6- 40	5-20

При розвиненій поверхні крапель смоли, зважених у газі (до 300 м² в 1 м³ газового об'єму) пари фракцій смоли, сирого бензолу перебувають у стані, близькому до рівноваги з конденсованою смолою. Зміна температури, вмісту аерозолів смоли в газі, складу смоли справляють істотний вплив на вміст бензолу в газі.

Залежність тиску насичених парів бензолу від температури може бути розрахована за емпіричним рівнянням:

$$L_g P_t^B = 5,8099 - \frac{978,66}{118,31} + t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де L_g – розмірний коефіцієнт, мм. рт. ст. / $^\circ\text{C}$; P_t^B – тиск, мм. рт. ст., насичених парів бензолу при температурі t , $^\circ\text{C}$; 5,8099, 978,66 і 118,31 – розмірні константи.

Рівень насичених парів бензолу C_t у кок-

совому газі розраховується за формулою:

$$C_t = \frac{P_t^B M \cdot 10^5}{760 + \frac{P^F}{13,6} - P_t^B - 22,4 P_t^B}, \text{ г/нм}^3, \quad (2)$$

де P^F – надлишковий тиск коксового газу, мм. рт. ст.; M – молекулярна маса бензолу, г/моль; 760 – тиск при нормальних умовах, мм. рт. ст.; P_t^B – тиск води, мм. рт. ст., 10^5 – розмірний коефіцієнт.

У табл. 1 наведені розрахункові дані щодо вмісту парів бензолу в насиченому вологою коксовому газі, отримані нами для умов охолодження газу в первинних газових холодильниках до зниженої температури й обробки газу в абсорберах сірководню, аміаку й кінцевих газових холодильниках. При вмісті парів бензолу в газі вище зазначених величин спостерігатиметься його сублимаційна конденсація, якщо бензол не абсорбується (табл. 2).

Таблиця 2

Температура, $^\circ\text{C}$	Вміст парів бензолу (г/100 нм ³ газу) при заданому тиску, Па				
	-1000	-500	1000	1500	2000
10	0,004	0,004	0,03	0,03	0,004
15	0,017	0,016	0,04	0,03	0,013
20	0,058	0,055	0,08	0,06	0,044
25	0,180	0,170	0,147	0,141	0,135
30	0,500	0,473	0,408	0,390	0,374
35	1,277	1,208	1,039	0,993	0,951
40	3,029	2,863	2,457	2,346	2,245
45	6,752	6,371	5,448	5,197	4,968
50	14,274	13,442	11,441	10,900	10,408

Для більш детального аналізу розрахуємо рівняння регресії та побудуємо графік залежності.

Рівняння множинної регресії може бути представлено у вигляді:

$$Y = f(\beta, X) + \epsilon, \quad (3)$$

де $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ – вектор незалежних (пояснювальних) змінних; β – вектор параметрів $\beta_k, k = 0 \dots m$ (що підлягають визначенню); ϵ – випадкова похибка (відхилення); Y – залежна (пояснювана) змінна.

Теоретичне лінійне рівняння множинної регресії (3) має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_m \cdot X_m + \epsilon, \quad (4)$$

де β_0 – вільний член, який визначає значення Y у випадку, коли всі пояснювальні змінні X_j дорівнюють нулю.

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії (4): перевірці значимості рівняння та його коефіцієнтів, дослідження абсолютних і відносних похибок регресії.

Для незміщеної оцінки дисперсії необхідно виконати наступні обчислення. Незміщена похибка $\varepsilon = Y - Y(X) = Y - X \cdot s$ (абсолютна похибка апроксимації).

Рівняння регресії (оцінка рівняння регресії)

$$Y = -4,99 + 0,000499X_1 + 0,25X_2, \text{ г/100 нм}^3, \quad (5)$$

де X_1 – значення тиску, мм. рт. ст., X_2 – значення температури, °С, Y – значення вмісту парів бензолу г/100 нм³ газу.

Модель регресії в стандартному масштабі. Модель регресії в стандартному масштабі припускає, що всі значення досліджуваних ознак переводяться в стандарти (стандартизовані значення) за формулами:

$$t_j = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{S(x_j)} \quad (6)$$

де x_{ji} – значення змінної x_j в i -му спостереженні; риска над змінною означає середнє значення.

За формулою (6) початок відліку кожної стандартизованої змінної поєднується з її середнім значенням, а одиницею зміни є її середньоквадратичне відхилення S .

Якщо зв'язок між змінними в природному масштабі лінійний, то зміна початку відліку та одиниці вимірювання цієї властивості не порушуються, так що і стандартизовані змінні будуть пов'язані лінійним співвідношенням:

$$t_y = \sum \beta_j t_{xj}. \quad (7)$$

Для оцінки β -коефіцієнтів у рівнянні (7) можна застосувати метод найменших квадратів. При цьому система нормальних рівнянь буде мати вигляд:

$$\begin{cases} r_{x_1 y} = \beta_1 + r_{x_1 x_2} \beta_2 + \dots + r_{x_1 x_m} \beta_m; \\ r_{x_2 y} = r_{x_2 x_1} \beta_1 + \beta_2 + \dots + r_{x_2 x_m} \beta_m; \\ \dots \\ r_{x_m y} = r_{x_m x_1} \beta_1 + r_{x_m x_2} \beta_2 + \dots + \beta_m. \end{cases} \quad (8)$$

Для наших даних (беремо з матриці парних коефіцієнтів кореляції) система рівнянь (5):

$$\begin{cases} -0,0771 = \beta_1 + 0\beta_2; \\ 0,793 = 0\beta_1 + \beta_2. \end{cases} \quad (9)$$

Розв'язок системи рівнянь (9):

$$\beta_1 = 0,0771; \beta_2 = 0,793.$$

Стандартизована форма рівняння регресії має вигляд:

$$y^0 = 0,0771x_1 + 0,793x_2. \quad (10)$$

Знайдені з системи рівнянь (8) β -коефіцієнти дозволяють визначити коефіцієнти регресії в природному масштабі за формулами:

$$b_j = \beta S(y) / S(x_j); \quad (11)$$

$$a = \bar{y} - \sum b_j \bar{x}_j. \quad (12)$$

Аналіз параметрів рівняння регресії.

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії: перевірці значимості рівняння та його коефіцієнтів, дослідження абсолютних і відносних похибок апроксимації. Для незміщеної оцінки дисперсії виконуємо наступні обчислення:

Незміщена похибка $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - Xs$ (абсолютна помилка апроксимації).

Визначаємо середню похибку апроксимації. Оцінка дисперсії дорівнює:

$$A = \sum |\varepsilon| : Y \cdot n \cdot 100\% = 3423,83745 \cdot 100\% = 7608,53\%;$$

$$s_e^2 = (Y - X \cdot Y(X))^T (Y - X \cdot Y(X)) = 292,63 \text{ г}^2/\text{нм}^6.$$

Незміщена оцінка дисперсії дорівнює:

$$S^2 = s_e^2 / (n - m - 1) = 292,63 / (45 - 3 - 1) = 7,14 \text{ г}^2/\text{нм}^6.$$

Оцінка середньоквадратичного відхилення (стандартна помилка для оцінки Y):

$$S = (S^2)^{1/2} = 7,14^{1/2} = 2,67 \text{ г/нм}^3.$$

Знайдемо оцінку матриці вектора

$$k = S^2 \cdot (X^T \cdot X)^{-1}. \quad (13)$$

Дисперсії параметрів моделі визначаються співвідношенням $S_i^2 = K_{ii}$, тобто це елементи, що лежать на головній діагоналі

$$\begin{aligned} S_{b_0} &= 1,288^{1/2} = 1,135; \\ S_{b_1} &= (10^{-6})^{1/2} = 0,00087; \\ S_{b_2} &= (0,00121)^{1/2} = 0,0347; \end{aligned}$$

Проаналізуємо показники тісноти зв'язку факторів з результатом. Якщо факторні ознаки різні по своїй суті і (або) мають різні одиниці вимірювання, то коефіцієнти регресії b_j при різних факторах є непорівнянними. Тому рівняння регресії доповнюють порівняними показниками тісноти зв'язку фактора з результатом, що дозволяють ранжувати фактори за силою впливу на результат.

До таких показників тісноти зв'язку відносять: точкові коефіцієнти еластичності, β -коефіцієнти, точкові коефіцієнти кореляції.

З метою розширення можливостей змістовного аналізу моделі регресії використовуються точкові коефіцієнти еластичності,

які визначаються за формулою:

$$E_i = b_i \bar{x}_i / \bar{y}. \quad (14)$$

Точковий коефіцієнт еластичності (14) показує, на скільки відсотків у середньому змінюється ознака-результат у зі збільшенням ознаки-фактора x_j на 1 % від свого середнього рівня при фіксованому положенні інших факторів моделі. За формулою (14) з урахуванням рівняння (5)

$$E_1 = 0,000499 \cdot 600 / 2,46 = 0,12.$$

Точковий коефіцієнт еластичності $|E_1| < 1$. Отже, вплив X_1 на результативну ознаку Y незначний.

$$E_2 = 0,25 \cdot 30 / 2,46 = 3,09.$$

Точковий коефіцієнт еластичності $|E_2| > 1$. Отже, X_2 істотно впливає на результативну ознаку Y .

За вищевказаними даними побудовано графік регресії (рис. 2) за рівнянням (5).

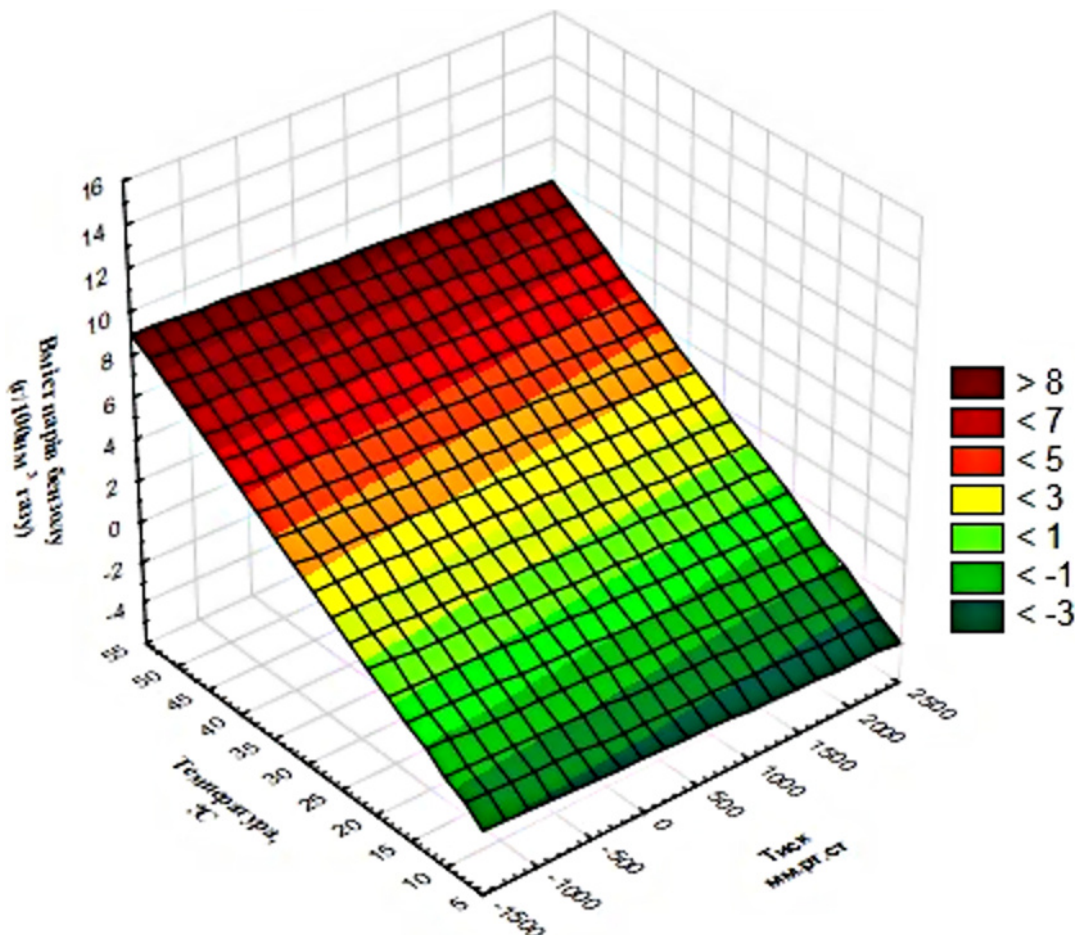


Рис. 2. Регресія залежності вмісту бензолу в коксовому газі від температури та тиску.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було встановлено, що охолодження газу перед його очищенням має важливу роль. При охолодженні від 55 до 5 °С ефективність уловлювання бензолу збільшується на 55 %.

Перспективи подальших досліджень. Дані дослідження проводилися з однією складовою коксового газу. Важливо вивчити вплив охолодження на інші складові.

Література.

1. Алексеев В. Аппараты вихревого типа, применяемые для мокрой очистки газов / В. Алексеев, В. Булкин, И. Поникаров, А. Галлеев. – Казань, 1987. – 22 с.
2. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г. М.-А. Алиев. – Москва: Металлургия, 1986. – 320 с.
3. Андоньев С. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии / С. Андоньев, О. Филиппев. – Москва: Металлургия, 1979. – 60 с.
4. Апостолук С. Промислова екологія / С. Апостолук. – Київ: Знання, 2012. – 300 с.
5. Ветошкин А. Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособ. / А. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с.
6. Алиев Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г. М.-А. Алиев. – Москва: Металлургия, 1990. – 240 с.
7. Диденко В. Интенсификация обеспыливания и очистки вентиляционных выбросов на основе вихревых эффектов / В. Диденко, Т. Малахова. – Волгоград: Волгогр. Гос. Архит.-строит. Акад., 1998. – 144 с.
8. Дытнерский Ю. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Ю. Дытнерский. – Москва: Химия, 1991. – 496 с.
9. Козлова С. Оборудование для очистки газов промышленных печей: Электронный конспект лекций / С. А. Козлова, И. М. Шалаев, О. В. Раева, А. В. Киселев. – Красноярск: СФУ, 2007. – 156 с.
10. Коробчанский И. Расчеты аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования / И. Коробчанский, М. Кузнецов. – Москва: Металлургия. 1972, 2-е изд. – 296 с.

References

1. Alekseev V., Bulkin V., Ponikarov I., Galleev A. *Apparaty vikhrevogo tipa, primenyaemye dlya mokroy ochistki gazov*, Kazan, 1987.
2. Aliev G.M.-A. *Tekhnika pyuleulavlivaniia i ochistki promyshlennykh gazov*, Metallurgii, 1986.
3. Andonev S., Filipev O. *Pyilegazovye vybrosy predpriyatii chernoii metallurgii*, Metallurgii, 1979.
4. Apostoliuk S. *Promyslova ekologiia*, Znannia, 2012.
5. Vetoshkin A. *Protsessy i apparaty pyleochistki*. Izd-vo Penz. gos. Un-ta, 2005.
6. Aliev G.M.-A. *Tekhnika pyuleulavlivaniia i ochistki promyshlennykh gazov*, Metallurgii, 1990.
7. Didenko V., Malakhova T. *Intensifikatsiia obespylivaniia i ochistki ventiliatsionnykh vybrosov na osnove vikhrevykh effektov*, Volgogr. Gos. Arkhit.-stroit. Akad., 1998.
8. Dytnerskii Yu. *Osnovnyie protsessyi i apparaty himicheskoy tehnologii*. Posobie po proektirovaniyu, Himiya, 1991.
9. Kozlova S. i dr. *Oborudovanie dlia ochistki gazov promyshlennykh pechei*, SFU, 2007.
10. Korobchanskii I., Kuznetsov M. *Raschety apparatury dlia ulavlivaniia khimicheskikh produktov koksovaniia*, Metallurgii. 1972.

УДК 697.942

Улавливание частиц бензола в коксовом газе скрубберами насадочного типа

А. Ф. Редько¹, Ю. И. Чайка², Ю. А. Бурда³

¹д.т.н., проф. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, redko.af@gmail, ORCID 0000-0002-9375-1262

²к.т.н., проф. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, yuri.chayka@gmail.com, ORCID 0000-0001-7556-6306

³аспірант Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности улавливания частиц бензола в коксовом газе скруббером насадочного типа. Были проанализированы и обработаны экспериментальные и теоретические данные зависимости количества частиц от температуры и давления. Получено уравнение регрессии, которое позволяет рассчитать эффективность улавливания частиц бензола в зависимости от температуры и давления. На основании статистического анализа уравнения регрессии экспериментальных данных выявлено фактор, который более всего влияет на эффективность улавливания частиц бензола. Этим фактором является температура. Точечный коэффициент эластичности для этого фактора превышает три, а для других факторов этот коэффициент значительно меньше единицы. Показано, что для интенсификации улавливания необходимо максимально снижать температуру протекания процесса. По уравнению регрессии построен график.

Ключевые слова: скруббер, коксовый газ, бензол, выбросы в атмосферу, насадка, коксовая промышленность

UDC 697.942

Capture of Particles of Benzene in the Coke Oven Gas by Packed-Type Scrubbers

O. Redko¹, Y. Chayka², Y. Burda³

¹Sc.D, professor, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.af@gmail.com, ORCID 0000-0002-9375-1262

²Sc.D, a.P, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, yuri.chayka@gmail.com ORCID 0000-0001-7556-6306

³PhD student Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

Abstract. In this paper, we consider the peculiarities of capture of the particles of benzene in coke oven gas by a packed-type scrubber. Experimental and theoretical data on the dependence of the number of particles on temperature and pressure were analysed and processed. The regression equation is obtained, which allows calculating the efficiency of capturing of benzene particles as a function of temperature and pressure. Based on the statistical analysis of the equation of regression of experimental data, the factor that most influences the efficiency of capturing of benzene particles is revealed. This factor is the temperature. The point elasticity coefficient for this factor exceeds three, and for other factors, this coefficient is much less than one. It is shown that in order to intensify the capturing it is necessary to minimize the process temperature as much as possible. The graph is built by the regression equation.

Keywords: scrubber, coke oven gas, benzene, emissions, cap, coke industry

Надійшла до редакції / Received 25.09.2017

УДК 620.9:662.92

Числове моделювання процесів спалювання твердого палива в топці із зустрічними закрученими потоками

І. О. Редько¹, А. О. Редько², О. В. Приймак³, В. Є. Костюк⁴, О. І. Кирилаш⁵, В. М. Норчак⁶

¹к.т.н., доц. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна, germes_s2006@ukr.net

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

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

⁴к.т.н., с.н.с., в.н.с. НАУ «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна, vlakos@ukr.net,
ORCID: 0000-0003-0142-8060

⁵к.т.н., ас. НАУ «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна, kirilashelena@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2949-3577

⁶асп. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, super.jeep2000@ukr.net

Анотація. Метою роботи є числове дослідження процесів спалювання пилоподібного торфу в циліндричній вихровій топці із зустрічними закрученими потоками. Наведено результати комп'ютерного моделювання процесів спалювання низькосортного твердого палива – пилоподібного торфу із вологістю 40 %, зольністю 6 % і вищою питомою теплотою згоряння $Q_{в.р.}=12,3$ МДж/кг. Визначено поля розподілу температури й швидкості газів і частинок в об'ємі та на виході з топки. Наведено траєкторії руху частинок діаметром 25 мкм і 250 мкм у об'ємі топки. У результаті отримано, що вздовж всієї висоти топки концентрація кисню близька до нуля, на виході з топки концентрація кисню дорівнює 5...6 %, оскільки кисень подають із надлишком ($\alpha_ = 1,2$). Механічний недопал становить 0,06 %. Показано, що топка забезпечує повноту спалювання пилоподібних частинок торфу 99,8 %, летких – 100 %.*

Ключові слова: числове моделювання, процеси спалювання, тверде паливо, топка котла.

Вступ. Підвищення енергоефективності в системах теплопостачання можливе шляхом застосування низькосортних твердих палив, деревинних і вугільних відходів. Проте шарові топки котельних установок потребують їхньої модернізації для спалювання низькокалорійних твердих палив із високими вологістю й зольністю, полідисперсним складом [1, 2, 3, 4, 5]. Топки з киплячим шаром потребують поліпшення сепарації частинок, що виносяться, та їхнього повернення до топок для допалювання [6]. Вихрові топки є ефективними [3, 7, 8]. Проте вони також характеризуються значним механічним недопалом, що вимагає їхньої модернізації.

Останні дослідження та публікації. Вихрова технологія є ефективною сучасною технологією використання твердого палива й пиловидалення. Її широко застосовують в енергетиці з 1970 року [1, 2, 3, 4, 5] і аспіраційних системах [9]. До основних переваг низькотемпературної вихрової (НТВ) технології спалювання належать поліпшені екологічні показники, стійкість запалювання й горіння твердого палива без підсвічування газом або мазутом, використання безмлинових схем підготовки палива. НТВ-технологія спалювання твердого палива може бути реалізованою в традиційній камерній топці шляхом її

модернізації. НТВ-технологія забезпечує спалювання таких твердих палив, як кам'яне й буре вугілля, горючі сланці, торф, відходи обробки деревини та інші види біопалива.

НТВ-технології, реалізовані в камерних топках, використовують принцип організації низькотемпературного спалювання твердого палива в умовах багатократної циркуляції частинок у камерній топці.

У камерних топках організовано дві зони горіння: вихрова й прямоочна. У топці зона активного горіння займає значний об'єм топкового простору, що дозволяє знизити максимальну температуру у вихровій топці на 100-300 °С. Проте, об'єм топки залишається великим, що визначає габарити й металоемність котельного агрегату. У камерній топці, що реалізує розімкнену вихрову схему топкового процесу, крупні вихори не забезпечують цілісність потоку.

Для котлів тепловою потужністю від 4 до 30 МВт є ефективним застосування технології високотемпературного киплячого шару, що циркулює. Проте висока швидкість руху газів і частинок вимагають значних габаритів топкового об'єму, а багатократна циркуляція твердих частинок потребує високоефективних сепараційних пристроїв.

Актуальність дослідження. Циклонно-

вихрова технологія спалювання твердого палива дозволяє зменшити топковий об'єм котельного агрегату, його габарити і масу. Інтенсивне перемішування частинок палива і повітря в закрученому потоку забезпечує інтенсивний тепломасообмін і спалювання палива. Для котлів тепловою потужністю менше 30 МВт організувати НТВ-технологію складно.

Використання циклонно-вихрової технології у передтопках котлів для спалювання рідких і газоподібних палив дозволяє розміщувати передтопки в топковому об'ємі котлів [7, 8]. Цю технологію для спалювання твердих палив досліджено недостатньо.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є числове дослідження процесів спалювання пилоподібного торфу в циліндричній вихровій топці із зустрічними закрученими потоками.

Методика дослідження. При математичному описі фізико-хімічних процесів у топці приймали такі основні припущення:

- течія несучого газового середовища є тривимірною, квазістаціонарною, турбулентною, нестисливою, багатоконпонентною, в якій перебігають хімічні реакції;
- швидкість газозфазних хімічних реакцій є нескінченно великою;
- газова суміш знаходиться в стані термодинамічної рівноваги;
- плавучістю, об'ємною в'язкістю, в'язким нагрівом нехтуємо;
- частинки торфу є сферичними, полідисперсними;
- об'ємом, який займають частинки, нехтуємо;
- при горінні торфових частинок перебігають процеси виходу і займання летких і вигоряння коксового залишку;
- враховано теплообмін випромінюванням;
- турбулентність є ізотропною;
- частинки не впливають на параметри турбулентності;
- враховано турбулентне розсіювання частинок.

Пилоторфову аеросуміш моделювали як двофазну суміш із ейлеровим описом газової фази (суцільне середовище) й лагранжевим описом руху частинок торфу (траєкторна модель). Взаємодію фаз враховували на основі моделі «частинка – джерело в комірці», згідно з якою наявність частинки в потоку виявляється через додаткові джерела в рівняннях збереження суцільної фази [10]. Вважали, що миттєвий термохімічний стан потоку однозначно

визначається консервативною скалярною величиною – безрозмірною функцією Шваба-Зельдовича f , яка має сенс масової долі відновленого палива. Взаємодію хімічних процесів і турбулентності описували статистично за допомогою функції густини розподілу імовірності [11, 12, 13, 14, 15].

При зроблених вище припущеннях поведінку газової фази можливо описати системою диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП), яку складено з усереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса, двох рівнянь диференціальної моделі турбулентності k - ε типу [11], рівнянь збереження для безрозмірних функцій Шваба-Зельдовича f_n і для пульсацій цих функцій $g_n = f_n^2$ [12] й інтегродиференціального рівняння переносу випромінювання [13].

Дискретизацію вихідних ДРЧП здійснювали методом контрольних об'ємів. Розв'язок отриманих у результаті систем лінійних алгебраїчних рівнянь виконували методом Гауса-Зейделя із застосуванням алгоритму SIMPLE [15]. Інтегро-диференціальне рівняння розв'язували методом сферичних гармонік [16]. Інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь здійснювали методом Рунге-Куты. Для розрахунку умов хімічної рівноваги застосовували алгоритм, оснований на мінімізації вільної енергії Гіббса.

Траєкторії частинок торфу моделювали шляхом інтегрування рівняння балансу сил, що діють на частинку, яке урівнює інерцію частинки із силою аеродинамічного опору.

Тепломасообмін частинок описували трьома моделями: моделлю теплообміну інертної частинки, моделлю виходу летких і моделлю вигоряння коксового залишку [14].

Рішення відшукували в розрахунковій області, що відповідала проточній частині топки. Розрахункову область було покрито нерівномірною комбінованою сіткою, яку складено з 64265 контрольних комірок (рис. 1).

На межах розрахункової області задавали такі граничні умови суцільної фази: на вхідних ділянках – значення незалежних змінних; на стінках – умови прилипання; на вихідній ділянці – «м'які» граничні умови. Для опису турбулентного примежового шару застосовували емпіричні пристінкові функції [13].

При моделюванні дискретної фази задавали початкові умови для кожної розрахункової частинки: положення частинки (координати x_j), її швидкість (компоненти u_{ps}), діаметр, температуру, а також масову витрату частинок, що прямують вздовж траєкторії.

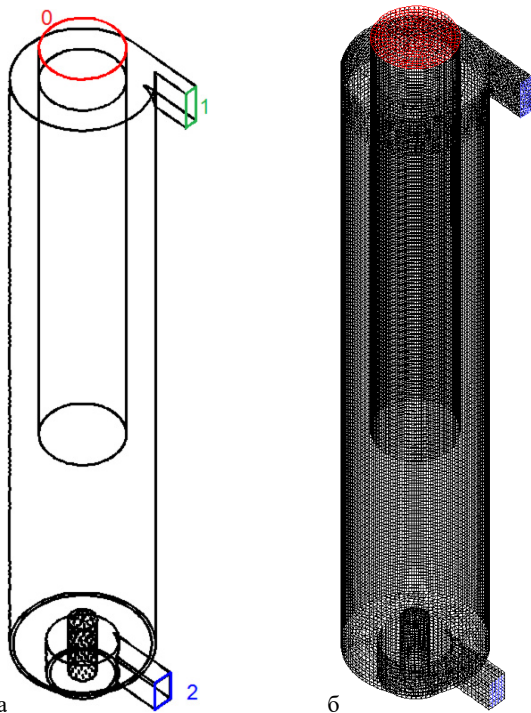


Рис. 1. Конструкція топки із зустрічними закрученими потоками:
а – розрахункова область, б – розрахункова сітка:
1 – вхід аеросуміші; 2 – вхід вторинного повітря;
0 – вихід топкових газів

Прийнято, що при зіткненні зі стінками частинки пружно відбиваються від них. В основу створення топки із зустрічними закрученими потоками (рис. 1) покладені дослідження [9]. Зовнішній діаметр топки дорівнює 200 мм, а висота топки становить 3465 мм. Теплова потужність топки становить 2,5 МВт. Сумарний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_e = 1,25$. Хімічний склад торфу (на горючу масу): С (вуглець) – 56 %; Н (водень) – 6 %; О (кисень) – 35 %; N (азот) – 2 %; S (сірка) – 1 %.

Технічний склад торфу (на робочу масу): леткі – 38 %; кокс – 16 %; зольність – 6 %; вологість – 40 %. Стехіометричний коефіцієнт торфу $L_0 = 7$. Температура початку виходу легких торфу 100 °С. Вища питома теплота згоряння торфу (на робочу масу) $Q_{e.p.} = 12,3$ МДж/кг.

Аналіз результатів. Результати чисельного дослідження показано на рисунках 2 і 3. Поля розподілу температури газів у топковому об'ємі показано на рис. 2 а. Як видно, температура газів збільшується вздовж висоти топки й сягає значення 1711 °С на виході з топки. Далі гази, очищені від твердих частинок, надходять в область топки, екрановану трубними пучками, й охолоджуються. Повноту спалювання частинок твердого палива підтверджують поля розподілу кисню по висоті топки (рис. 2б).

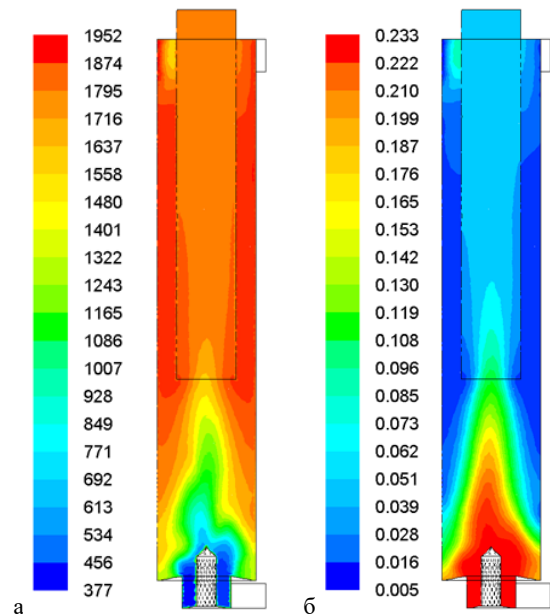


Рис. 2. Розподіл параметрів газової фази в позовдільному перерізі топки із зустрічними закрученими потоками:
а – температура газів, б – масова доля кисню

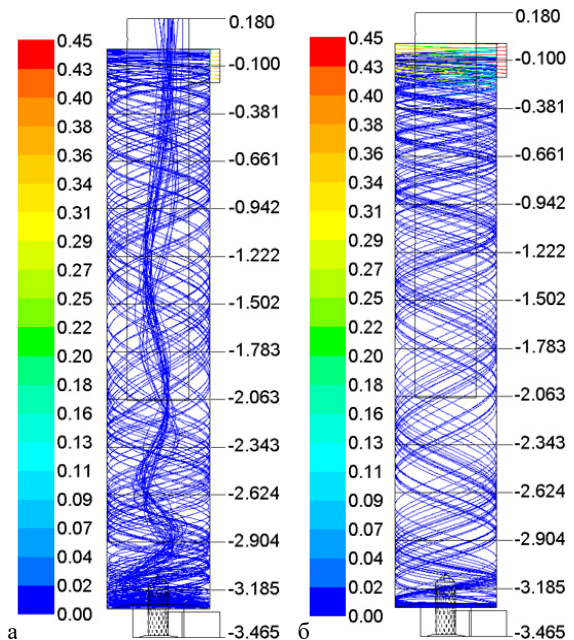


Рис. 3. Траєкторії частинок торфу з різним початковим діаметром $d_{i,0}$, мкм, пофарбовані відповідно до масової частки вологи в їхньому складі; праворуч – шкала висоти, м: а – $d_{i,0} = 25$ мкм, б – $d_{i,0} = 250$ мкм

Вздовж всієї висоти топки концентрація кисню близька до нуля. На виході з топки концентрація кисню дорівнює 5...6 %, оскільки кисень подають із надлишком ($\alpha_e = 1,2$). Механічний недопал становить 0,06 %.

Траєкторії руху твердих частинок показано на рис. 3. Видно вплив діаметра твердих частинок. Грубі частинки значний час перебувають у топці до повного згоряння. Частинки малого діаметра (близько 25 мкм) знаходяться у топці

недовго, але достатньо для їхнього згоряння. При спалюванні торфу при високій температурі в топковому об'ємі можливо утворення рідкого шлаку, який видаляють через отвір у нижній частині топки.

Висновки. Результати чисельного дослідження показали, що діаметр частинок торфу впливає на процес їхнього згоряння: кокс частинок із початковим діаметром від 25 мкм до

250 мкм вигоряє на 96 %. Зі збільшенням діаметра частинок до 1000 мкм ступінь вигорання коксу зменшується, але водночас знижується їхній винос. У цілому результати моделювання вказують на ефективність використання технології спалювання пилоподібних низькокалорійних твердих палив у циліндричних вихрових топках із зустрічними закрученими потоками.

Література

1. Серант Ф. А. Сжигание немолодых азейских бурых углей в низкотемпературной вихревой топке по схеме ЛПИ-ИТЭЦ-10 / Ф. А. Серант, С. М. Шестаков, В. В. Померанцев и др. // Теплоэнергетика. – 1983. – № 7. – с. 35-41.
2. Померанцев В. В. Опытно-промышленный котёл БКЗ-420-140-9 с низкотемпературной топкой ЛПИ / В. В. Померанцев // Энергомашиностроение. – 1985. – № 8. – с. 32-34.
3. Рундыгин Ю. А. Модернизация котлов на основе низкотемпературной вихревой технологии сжигания твердых топлив / Ю. А. Рундыгин, В. Е. Скудицкий, К. А. Григорьев и др. // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2000. – № 4. – с. 19-22.
4. Финклер Ф. З. Зажигание дробленых назаровских углей на котле ПК-38 по схеме «Политехэнерго» / Ф. З. Финклер, И. Б. Кубышкин, А. Г. Митрюхин и др. // Новое в Российской электроэнергетике. – 2005. – № 5. – с. 35-41.
5. Шестаков С. М. Технология сжигания местных видов твердого топлива / С. М. Шестаков, А. Л. Аронов. – ESCO, 2014.
6. Баскаков А. П. Котлы и топки с кипящим слоем / А. П. Баскаков, В. В. Мацнев, И. В. Раскопов. – Москва: Энергоатомиздат, 1996. – 352 с.
7. Штым А. Н. Котельные установки с циклонными предтопками / А. Н. Штым, К. А. Штым. – Владивосток : издат. дом Дальневосточный федеральный университет, 2012. – 421 с.
8. Штым К. А. Совершенствование циклонно-вихревой технологии сжигания топлива: автореф. дис. ... докт. техн. наук.: 05.14.04 / К. А. Штым; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет». – Красноярск, 2015. – 36 с.
9. Сажин Б. С. Вихревые пылеуловители / Б. С. Сажин, Л. И. Гудим. – Москва: Химия, 1995. – 194 с.
10. Кроу Д. Численные модели течений газа с небольшим содержанием частиц / Д. Кроу // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1982. – № 32. – с. 114 – 122.
11. Launder, B. E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence / B. E. Launder, D. B. Spalding // Academic Press, London, 1972.
12. Jones W. P. Calculation Methods for Reacting Turbulent Flows: A Review / W. P. Jones, J. H. Whitelaw // Combust and Flame. – 1982. – vol. 48. – pp. 1-26.
13. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский – Москва: Наука, 1978. – 736 с.
14. Badzioch S. Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles / S. Badzioch, P. G. W. Hawksley // Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development. – 1970. – vol. 9. – no 4. – pp. 521-530.
15. Vandoormaal J. P. Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows / J. P. Vandoormaal, G. D. Raithby // Numer. Heat Transfer. – 1984. – no 7. – pp. 147-163.
16. Суржигов С. Т. Тепловое излучение газов и плазмы / С. Т. Суржигов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 544 с.

References

1. Serant F. A., Shestakov S. M., Pomerancev V. V. i dr. “Szhiganie nemolodykh azeiskikh burykh uglei v nizkotemperaturnoi vikhrevoi topke po skheme LPI-ITEC-10”, *Teploenergetika*, no 7, 1983.
2. Pomerantsev V. V. “Opytno-promyshlennyi kotel BKZ-420-140-9 s nizkotemperaturnoi topkoi LPI”, *Energomashynostroenie*, no 8, 1985.
3. Rundygin V. V., Skuditskii V. E., Grigorev K. A. i dr. “Modernizaciia kotlov na osnove nizkotemperaturnoi vikhrevoi tekhnologii szhyganiia tverdykh topliv”, *Energetika: ekonomika, tekhnologii, ekologiia*, no 4, 2000.
4. Finkler F. Z., Kubyshkin I. B., Mitriukhin A. G. i dr. “Zazhiganie droblenykh nazarovskikh uglei na kotle PK-38 po scheme “Politekhenego”, *Novoe v Rossiiskoi elektroenergetike*, no 5, 2005.
5. Shestakov S. M., Aronov A. L. *Tekhnologiia szhyganiya mestnykh vidov tverdogo topliva*, ESCO, 2014.
6. Baskakov A. P., Matsnev V. V., Raskopov I. V. *Kotly i topki s kipyashchim sloem*. Energoatomizdat, 1996.
7. Shtym A. N., Shtym K. A. *Kotelnye ustanovki s tsyclonnyimi predtopkami*. Izdat. Dom Dalnevostochnyi federalnyi universitet, 2012.
8. Shtym K. A. *Sovershenstvovanie tsyklonno-vikhrevoi tekhnologii szhyganiia topliva*. Diss. abstract. Dalnevost-

tochnyi federalnyi universitet, 2015.

9. Sazhin B. S., Gudim L. I. *Vikhrevye pyleuloviteli*. Khimiia, 1995.

10. Krou D. "Chislennye modeli techenii gaza s nebolshim soderzhaniem chastits", *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov*, no 32, 1982.

11. Launder B. E. "Lectures in Mathematical Models of Turbulence", *Academic Press*, 1972.

12. Jones W. P., Whitelaw J. H. "Calculation Methods for Reacting Turbulent Flows: A Review", *Combust. Flame*. Whitelaw, vol. 48, 1982.

13. Loitsianskii L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza*, Nauka, 1978.

14. Badzioch S., Hawksley P. G. W. "Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles", *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, vol. 9, no 4, 1970.

15. Vandoormaal J. P., Raithby G. D. "Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows", *Numer. Heat Transfer*, no 7, 1984.

16. Surzhikov S. T. *Teplovoe izluchenie gazov i plazmy*, Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2004.

УДК 620.9:662.92

Численное моделирование процессов сжигания твёрдого топлива в топке со встречными закрученными потоками

И.А. Редько¹, А.А. Редько², А.В. Приймак³, В.Е. Костюк⁴, Е.И. Кирилаш⁵, В.М. Норчак⁶

¹к.т.н., доц. Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова, г. Харьков, Украина, germes_s2006@ukr.net

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

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

⁴к.т.н., с.н.с., в.н.с. НАУ «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, vlakos@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0142-8060

⁵к.т.н., ас. НАУ «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, kirilashelena@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2949-3577

⁶асп. Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, Украина, super.jeep2000@ukr.net

Аннотация. Целью работы является численное исследование процессов сжигания пылевидного торфа в цилиндрической вихревой топке со встречными закрученными потоками. Приведены результаты компьютерного моделирования процессов сжигания низкосортного твёрдого топлива – пылевидного торфа с влажностью 40 %, зольностью 6 % и высшей удельной теплотой сгорания $Q_{в.р.} = 12,3$ МДж/кг. Определены поля распределения температуры и скорости газов и частиц в объёме и на выходе из топки. Приведены траектории движения частиц диаметром 25 мкм и 250 мкм в объёме топки. В результате получено, что по всей высоте топки концентрация кислорода близка к нулю, а на выходе из топки концентрация кислорода составляет 5-6%, поскольку кислород подаётся с избытком ($\alpha_v=1,2$). Механический недожог составляет 0,06%. Показано, что топка обеспечивает полноту сжигания пылевидных частиц торфа 99,8%, летучих - 100%.

Ключевые слова: численное моделирование, процессы сжигания, твёрдое топливо, топка котла.

UDC 620.9:662.92

Numerical Simulation of Combustion Processes of Solid Fuel in a Furnace with Counter-Current Twisted Streams

I. Redko¹, A. Redko², A. Priymak³, V. Kostyuk⁴, E. Kirilash⁵, V. Norchak⁶

¹PhD, associate professor, O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine, germes_s2006@ukr.net ORCID: 000-0000-0000-0000

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

³Ph.D, prof. Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com

⁴Ph.D, NAU "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, vlakos@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0142-8060

⁵PhD, assistant professor, NAU "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, kirilashelena@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2949-3577

⁶Post-graduate student, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv, Ukraine, super.jeep2000@ukr.net

Abstract. The purpose of the work is numerical research of the powdered peat processes in a cylindrical vortex furnace with counter current twisted flows. The results of computer simulation has been presented for burning processes of low-grade solid fuel (powdered peat) with humidity of 40 %, ash content of 6 % and higher specific heat of combustion $Q_h = 12.3$ MJ/kg. The fields of temperature distribution and gases velocity and particles in volume and at the exit from the furnace are obtained. The particle motion trajectories with a diameter of 25 microns and 250 microns in volume of heating are obtained. It has been calculated that the concentration of oxygen is close to zero along the height of heating. At the outlet of the furnace the concentration of oxygen is equal to 5...6%, since oxygen is supplied from excess ($\alpha_v = 1,2$). Mechanical underburning is 0.06 %. It has been shown that the furnace provides the complete burning of 99.8 % for powdered particles of peat and 100% for volatile particles.

Keywords: numerical simulation, combustion processes, solid fuel, boiler heating

Надійшла до редакції / Received 09.10.2017

УДК 697.325

Дослідження псевдозрідження полідисперсних бінарних систем у топках киплячого шару

О. Ф. Редько¹, Ю. О. Півненко²

¹д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, redko.af@gmail.com, ORCID 0000-0002-9375-1262

²інженер, ООО «ПРОМОЛЮКС СЕРВІС», м. Вишневе, Україна, pivnenko.yura@gmail.com, ORCID 0000-0002-6675-2649

Анотація. У даній роботі проаналізовані особливості псевдозрідження бінарних систем – деревні відходи – інертний матеріал. Проведені експериментальні й теоретичні дослідження гідродинаміки полідисперсних матеріалів. Виявлений вплив вмісту деревних відходів у шарі. У результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії для швидкості початку псевдозрідження за різного вмісту деревних відходів у киплячому шарі. Дослідження виявили, що збільшення вмісту відходів деревини в киплячому шарі погіршує якість шару. Це призводить до значного збільшення швидкості початку псевдозрідження. При малій швидкості можливе поступове осідання великих часток. Для усунення проблеми слід збільшити швидкість зріджуваного агента. Визначено вміст деревного палива в киплячому шарі для стабілізації роботи топкового пристрою. Цей вміст має бути в межах 20...30 %.

Ключові слова: псевдозрідження, деревне паливо, топка, бінарна система, полідисперсність, швидкість початку псевдозрідження, інертний матеріал.

Вступ. Топки з киплячим шаром характеризуються своєю універсальністю щодо параметрів палива. Вони виявляються найбільш придатними для спалювання палива різної вологості та фракційного складу [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Зазвичай у топках киплячого шару псевдозрідження твердого палива відбувається в шарі інертного матеріалу, що утворює киплячий шар. При цьому більшу частину шару складає саме інертний матеріал. Збільшення витрати палива призводить до зміни гідравлічної структури киплячого шару, оскільки вміст часток палива в киплячому шарі також зростає.

Актуальність дослідження. Зменшення споживання природного газу шляхом його заміщення іншими видами палива є актуальною проблемою в Україні. Водночас, достовірні дані щодо гідравлічних режимів псевдозрідження деревного палива відсутні, що у свою чергу ускладнює впровадження високотехнологічного методу спалювання твердого палива в псевдозрідженому шарі.

Останні дослідження та публікації. Основні дослідження гідродинаміки псевдозріджених систем проводилися у 60-х – 80-х роках минулого століття [1, 2, 3, 4]. Сучасні публікації доповнюють дані дослідження. Так, наприклад, у [7] приведені результати зрідження вугільного палива. У [8] досліджувались гідравлічні режими зрідження паливних гранул. У [9] показано вплив розміру часток на ефективність теплообміну. Однак, в топках киплячого шару найчастіше зустрічається система інертний матеріал –

паливо. Досягнення стабільного зрідження подібних систем набагато складніше за однорідні системи сипучого матеріалу.

У [10] наведені результати впровадження енергоблоку електричною потужністю 210 МВт, що оснащений котлоагрегатом з киплячим шаром, що циркулює, продуктивністю 670 т пари/год. Як основне паливо використовувався антрацит. Дані, наведені в роботі, свідчать про ефективність застосування технології киплячого шару в енергетиці. Проте, гідродинамічні режими псевдозрідження антрацитів і деревного палива суттєво відрізняються. Деревина легкий матеріал, тому вибір оптимальних гідравлічних режимів суттєво впливає на ефективність спалювання палива.

Формування цілей статті. Експериментально і теоретично дослідити вплив вмісту деревного палива в шарі інертного матеріалу на гідродинамічні параметри киплячого шару.

Основна частина. Дослідження гідродинаміки киплячого шару деревних відходів проводилися на експериментальній установці (рис. 1), яка складається з камери розмірами 200×300 мм заввишки 1000 мм зі встановленою в її нижній частині повітророзподільною решіткою.

На фронтальній частині камери передбачене оглядове скло, призначене для спостереження процесу псевдозрідження. Перепад тиску в шарі вимірювався за допомогою рідинного U-подібного манометра. Перша точка заміру тиску знаходиться над повітророзподільною реші-

ткою, друга – над киплячим шаром.

Повітря до експериментальної установки подавалося за допомогою вентилятора ВВД-5. Регулювання витрати здійснювалося за допомогою шиберної засувки, яка встановлена на всмоктувальному патрубку вентилятора. Швидкість повітря на виході з установки вимірювала-ся крильчатим анемометром АСО-3.

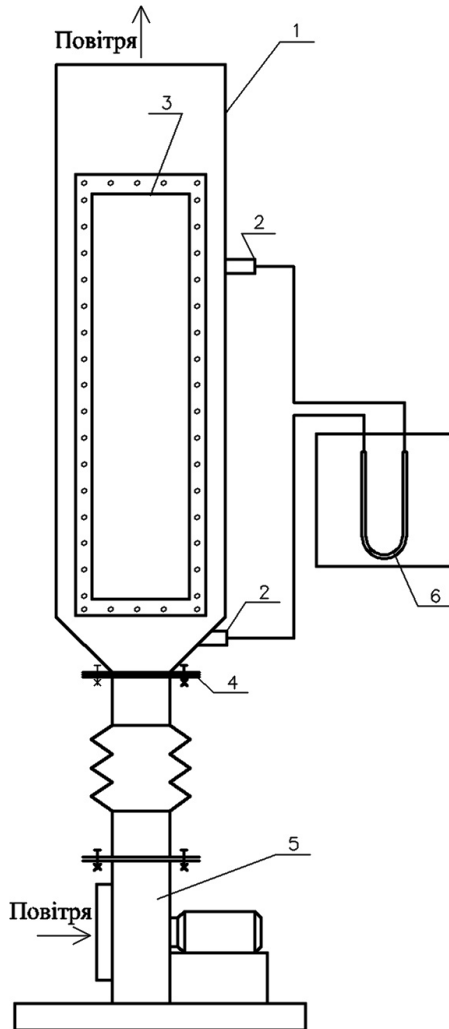


Рис. 1. Схема експериментальної установки з киплячим шаром

1 – корпус; 2 – штуцери; 3 – оглядове скло; 4 – повітроділяюча решітка; 5 – вентилятор; 6 – U-подібний манометр

Даний анемометр призначений для вимірювання швидкості повітря до 5 м/с. Для кожного положення шиберної засувки заміри проводилися не менше ніж п'ять разів.

Нижче приведені основні характеристики зріджуваних матеріалів (табл. 1). Кожен вид деревного палива досліджувався в експериментальній установці в шарі піску у наступних пропорціях (деревні відходи/пісок) – 50/50, 30/70, 20/80.

Нижче наведені результати експериментів з

псевдозрідження різних видів деревних відходів в шарі інертного матеріалу (рис. 2).

Псевдозрідження починається коли швидкість зріджуваного агенту досягає критичного значення, а вага шару врівноважується з перепадом тиску. У стані псевдозрідження перепад тиску не залежить швидкості повітря.

Таблиця 1

Характеристики матеріалів

Тип матеріалу	Насипна густина, кг/м ³	Еквівалентний діаметр часток, мм
Пісок	1500	0,3
Тирса	200	3
Щепа	320	4,7
Гранули	640	5,51

Експериментальні дані порівнювалися з розрахунками.

Розрахунок перепаду тиску проводиться за формулою:

$$\Delta P = \rho_n g H, \text{ Па} \quad (1)$$

де H – висота шару, м; ρ_n – насипна густина матеріалу, кг/м³.

Годес застосував рівняння, одержане Ерганом для турбулентного і ламінарного режимів:

$$\frac{\Delta P}{H} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2 \mu_e w}{\varepsilon_0^3 d^2} + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \frac{\rho_e w^2}{d}, \text{ Па/м}, \quad (2)$$

де ε_0 – порозність шару; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; w – швидкість повітря, м/с; d – діаметр часток, м; ρ_e – густина повітря, кг/м.

З цього рівняння можна отримати безрозмірне рівняння розрахунку швидкості початку псевдозрідження [4]:

$$Re = \frac{Ar}{150 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} + \left(\frac{1,75}{\varepsilon_0^3} Ar \right)^{0,5}}, \quad (3)$$

де Re – критерій Рейнольдса; Ar – критерій Архімеда.

Нижче наведені графіки порівняння експериментальних і розрахункових значень перепаду тиску і швидкості початку псевдозрідження (рис. 3, 4).

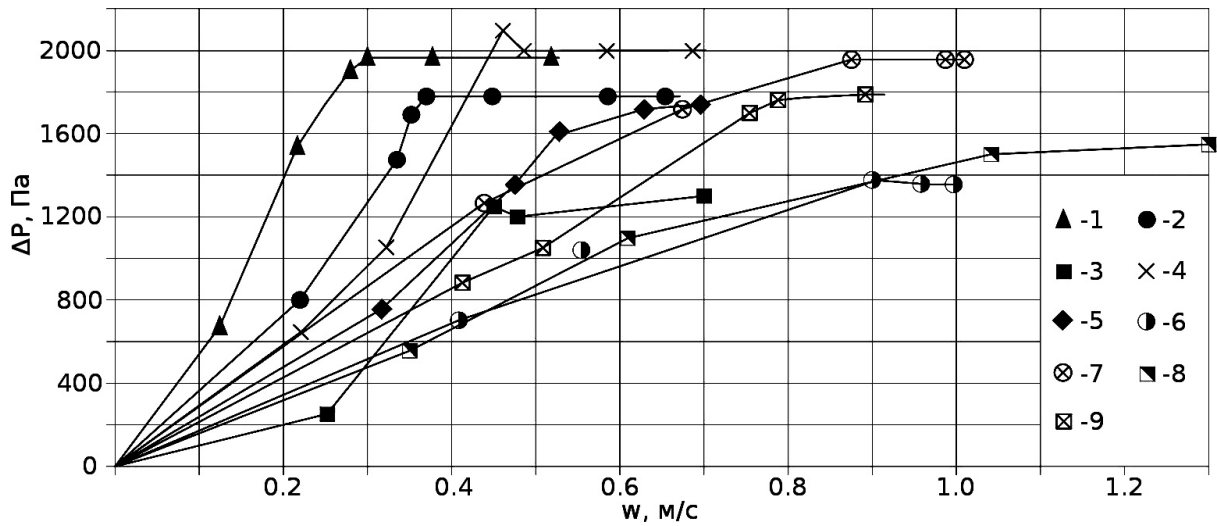


Рис. 2. Залежність перепаду тиску від швидкості повітря в системі деревні відходи/пісок.
1,2, 3 – вміст тирси в шарі піску 20, 30, 50 % відповідно; 4, 5, 6 – вміст щепи в шарі піску 20, 30, 50 % відповідно;
7, 8, 9 – вміст деревних гранул в шарі піску 20, 30, 50 % відповідно.

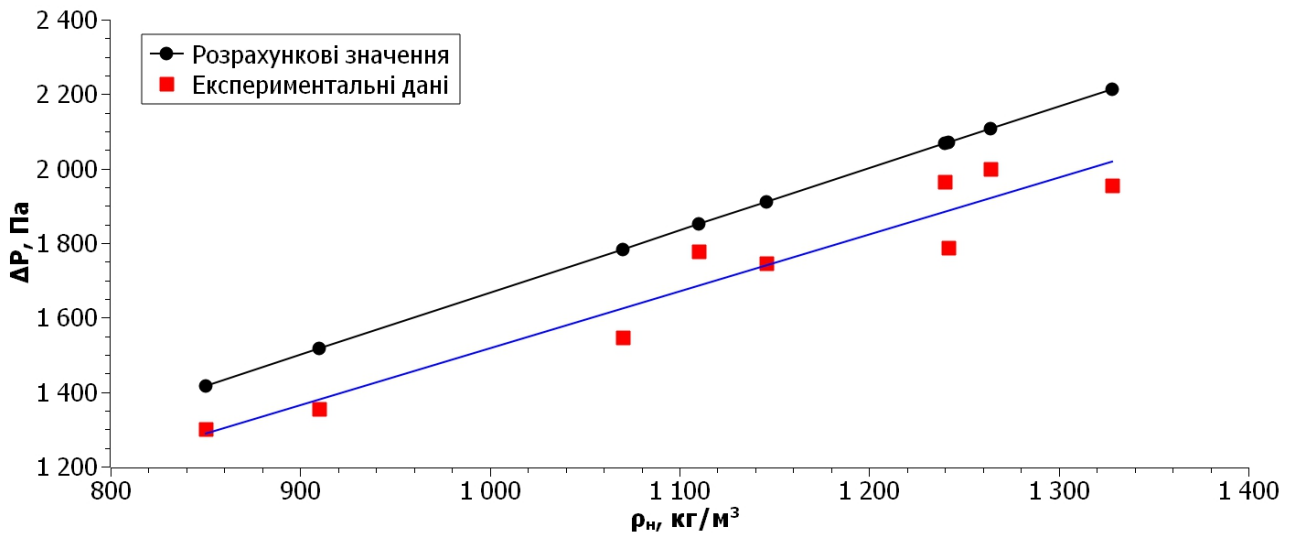


Рис. 3. Залежність перепаду тиску в киплячому шарі від насипної густини бінарної системи

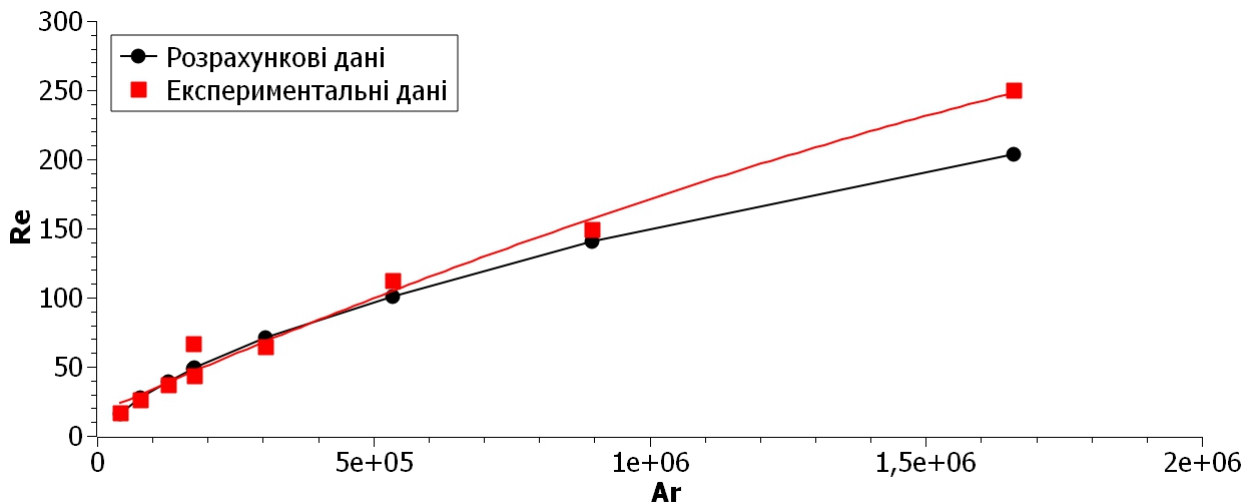


Рис. 4. Залежність швидкості початку псевдозрідження від числа Архімеда

Теоретичний перепад тиску дещо більший за експериментальний. Однак, на практиці, як правило перепад тиску на 10...15 % менший за розрахунковий [3], особливо якщо це – полідисперсні системи [5, 6]. У даному випадку розбіжність експериментальних і розрахункових значень не перевищує 15 %. Зі збільшенням числа Архімеда спостерігається відхилення експериментальних даних від теоретичних. Це пояснюється тим, що збільшення вмісту крупних часток у шарі негативно позначається на однорідності псевдозрідження. Для повного псевдозрідження крупних часток необхідно було збільшувати швидкість зріджуваного агенту. Для топок це має критичне значення, оскільки не можна допускати тих випадків, коли паливо не знаходиться в стані псевдозрідження, оскільки така ситуація може призвести до шлакування топки.

Проводилося математичне планування повного факторного експерименту [11]. Як

параметр оптимізації була обрана швидкість повітря, яка відповідає початку псевдозрідження бінарної системи.

Як фактори обрані вміст деревного палива в киплячому шарі піску (n , %) і безрозмірна величина відношення числа Архімеда деревного палива до числа Архімеда піску $Ar' = Ar_d / Ar_n$.

У результаті обробки експериментальних даних отримане рівняння регресії:

$$w = 0,153 + 0,0004 Ar' + 0,0032 n - 8,75340 \cdot 10^{-8} + 3,6287 \cdot 10^{-6} Ar' n + 3,8889 \cdot 10^{-5} n^2. \quad (4)$$

Побудовано тривимірний графік залежності (4) швидкості початку псевдозрідження від вмісту деревних відходів в шарі піску та відношення критеріїв Архімеда деревних відходів та інертного матеріалу (рис. 5).

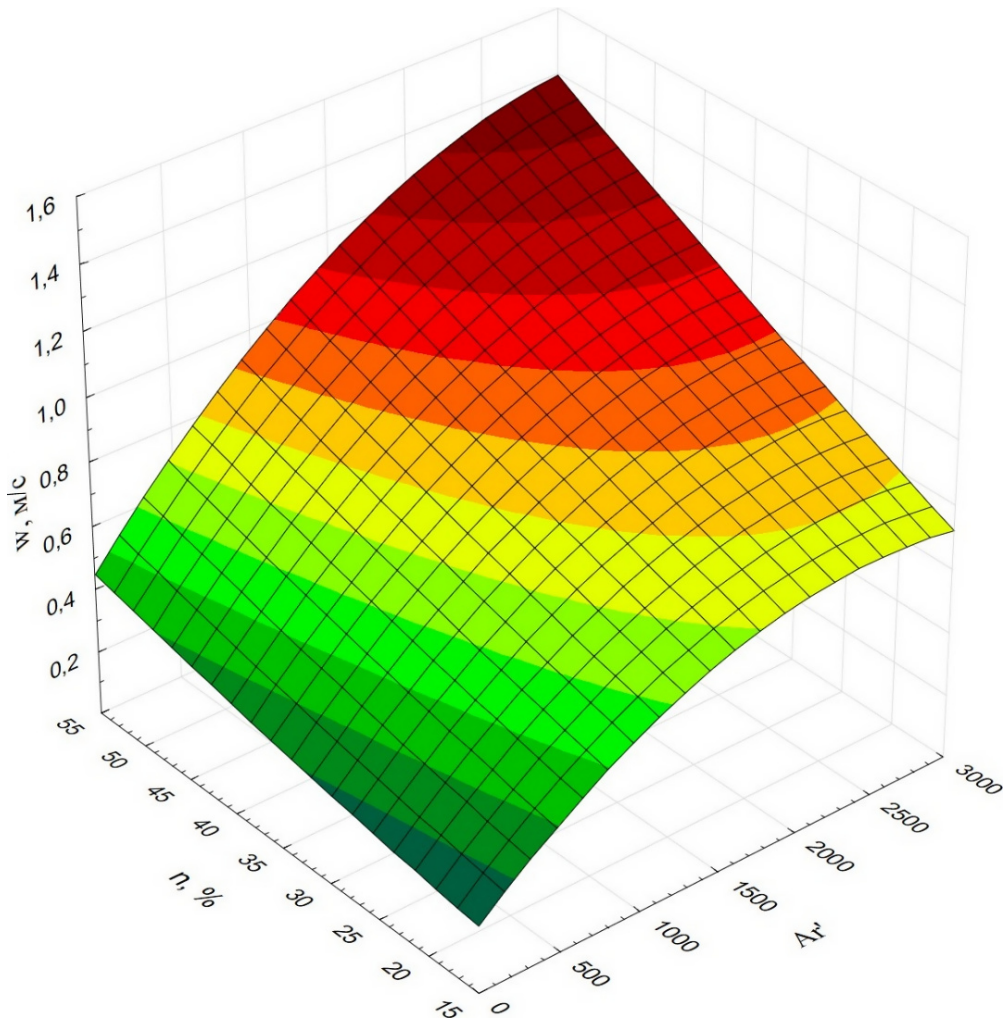


Рис. 5. Вплив вмісту деревних відходів в киплячому шарі піску на швидкість початку псевдозрідження

Висновки. У результаті проведених досліджень були проаналізовані гідравлічні режими псевдозрідження бінарних систем. Збільшення вмісту деревних відходів у киплячому шарі призводить до погіршення якості киплячого шару, значно збільшується швидкість початку псевдозрідження. При малій швидкості може спостерігатися поступове переміщення вниз крупних часток, однак збільшення швидкості зріджуваного агенту дозволяє усунути дану

проблему. Підтримання вмісту деревного палива в киплячому шарі в межах від 20 до 30 % дозволяє забезпечити стабільний стан роботи топкового пристрою.

Перспективи подальших досліджень. Дані дослідження проводилися на «холодній» моделі, експериментальні дослідження в режимі спалювання дозволять отримати результати, максимально наближені до реальних умов.

Література.

1. Баскаков А. П. Котлы и топки с кипящим слоем / А. П. Баскаков, В. В. Манцев, И. В. Располов. – Москва: Энергоатомиздат, 1996. – 352 с.
2. Баскаков А. П. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник / А. П. Баскаков. – Ленинград: Химия, 1986. – 352с.
3. Гельперин Н. И. Основы техники псевдоожигения / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – Москва: Химия, 1967 – 664 с.
4. Бородуля В. А. Сжигание твердого топлива в псевдоожигенном слое / В. А. Бородуля, Л. М. Виноградов. – Минск: Наука и техника, 1980. – 192 с.
5. Редько А. Экспериментальные и теоретические исследования гидродинамики кипящего слоя древесного топлива / А. Редько, Ю. Пивненко // MOTROL, 2014. – Lublin: Polish Academy of sciences – vol. 17, no 6. – pp. 27-34.
6. Дэвидсон Дж. Псевдоожигение: Пер. с англ. / Дж. Дэвидсон, Д. Харрисон. – Москва: Химия, 1974. – 725 с.
7. Семенов С. А. Модельные исследования гидродинамики аппаратов с кипящим слоем / С. А. Семенов // Системы. Методы. Технологии / Братский государственный университет. – 2009. – № 2. – с. 82-86.
8. Михалев А. В. Гидродинамика псевдоожигенного слоя и ее влияние на эффективность и экологичность процесса совместного сжигания антрацитового штыба и биогранул: дис. ... канд. техн. наук.: 05.17.08, 05.14.04: зашит. 27.04.2007 / Михалев Александр Валерьевич; Тамбовский государственный технический университет - Тамбов, 2007. – 110 с.
9. Редько А. Ф. Теплообмен в топках с кипящим слоем: Учеб. Пособие / А. Ф. Редько. – Киев: УМК ВО, 1990. – 72 с.
10. Майстренко А. Ю. Опыт внедрения технологии сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое в энергетику Украины / А. Ю. Майстренко, А. И. Топал, А. В. Лаварько // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. - Днепропетровск: НПКВ "Триакон". – 2012. – Вып. 3(11). – с. 84-90.
11. Возняк О. Т. Планування експерименту та оптимізація вирішень у системах теплогазопостачання та вентиляції / О. Т. Возняк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012 – 164 с.

References

1. Baskakov A. P., Mancev V. V., Raspolov I. V. *Kotly i topki s kipiashchim sloem*. Energoatomizdat, 1996.
2. Baskakov A. P. *Raschety apparatov kipiashchego sloia*. Himiia, 1986.
3. Gelperin N. I., Ainshtein V. G., Kvasha V. B. *Osnovy tekhniki psevdoozhizheniia*. Himiia, 1967.
4. Borodulia V. A., Vinogradov L. M. *Szhiganie tverdogo topliva v psevdoozhizhennom sloe*. Nauka i tekhnika, 1980.
5. Redko A., Pivnenko Y. “Eksperimentalnye i teoreticheskie issledovaniia gidrodinamiki kipiashchego sloya drevesnogo topliva”. *MOTROL*, vol. 17, no 6, 2014, pp. 27-34.
6. Davidson J., Harrison D. *Psevdoozhizhenie*. Himiia, 1974.
7. Semenov S. A. “Modelnye issledovaniia gidrodinamiki apparatov s kipyashchim sloem”, *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, no. 2, 2009, pp. 82-86.
8. Mihalev A. V. *Gidrodinamika psevdoozhizhennogo sloia i ee vliianie na effektivnost i ekologichnost protsesssa sovmestnogo szhiganiia antratsitovogo shtyba i biogranul*. Diss. Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007.
9. Redko A. F. *Teploobmen v topkakh s kipiashchim sloem*, Kiev, UMK VO, 1990.
10. Maistrenko A. Y., Topal A. I., Lavarko A. V. “Opyt vnedreniia tekhnologii szhiganiia tverdogo topliva v tsirkuliruiushchem kipiashchem sloe v energetiku Ukrainy”, *Sovremennaiia nauka: issledovaniia, idei, rezultaty, tekhnologii*, no. 3(11), 2012, pp. 84-90.
11. Vozniak O. T. *Planuvannia eksperymentu ta optymizaciia virishen u sistemakh teplogazopostachannia ta ventyliatsii*. Vidavnistvo Lvivskoi politekhniki, 2012.

УДК 697.325

Исследование псевдооживления полидисперсных бинарных систем в топках кипящего слоя

А. Ф. Редько¹, Ю. А. Пивненко²

¹д.т.н., проф. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, redko.af@gmail.com

²інженер, ООО «ПРОМОЛЮКС СЕРВИС», г. Вишневе, Україна, pivnenko.yura@gmail.com

Аннотация. В данной работе проанализированы особенности псевдооживления бинарных систем – древесные отходы – инертный материал. Проведены экспериментальные и теоретические исследования гидродинамики полидисперсных материалов. В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии для скорости начала псевдооживления при различном содержании древесных отходов в кипящем слое. Исследования выявили, что увеличение содержания отходов древесины в кипящем слое ухудшает качество слоя. Это приводит к существенному увеличению скорости начала псевдооживления. При малой скорости возможно постепенное оседание крупных частиц. Во избежание проблем следует увеличить скорость сжижаемого агента. Определено содержание древесного топлива в кипящем слое для стабилизации работы топочного устройства. Это содержание должно быть в пределах 20...30 %.

Ключевые слова: псевдооживление, древесное топливо, топка, бинарная система, полидисперсность, скорость начала псевдооживления, инертный материал.

UDC 697.325

Features of Fluidization of Binary Systems in the Furnaces of a Fluidized Bed

O. Redko¹, Y. Pivnenko²

¹Sc.D, professor, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.af@gmail.com,

²engineer, LTD «PROMOLUKS SERVIS», Vyshneve, Ukraine, pivnenko.yura@gmail.com

Abstract. In this paper, we analyzed the characteristics of fluidization of binary systems – wood waste-inert material. Experimental and theoretical study of the hydrodynamics of polydisperse materials. As a result of processing of experimental data, the regression equation is obtained for the speed of the beginning of fluidization with different contents of wood waste in a fluidized bed. Studies have shown that increasing the content of wood waste in the fluidized bed degrades the quality of the layer. This leads to significant increase of the velocity of fluidization start. At slow velocity, a gradual settling of large particles is possible. To avoid problems, it is necessary to increase the velocity of the liquefied agent. The content of wood fuel in the fluidized bed is determined to stabilize the operation of the combustion device. This content should be within 20... 30%.

Keywords. Fluidization, wood fuel, furnace, binary system, the polydispersity, the speed of onset of fluidization, inert material.

Надійшла до редакції / Received 26.09.2017

УДК 697.33

Аналіз ефективності теплообмінників змієвикового типу

І. Г. Шитікова¹

¹к.т.н., м.н.с. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна, irinashitikova54@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто саморегульовальна система теплопостачання від індивідуальних теплових пунктів з акумуляторною установкою і теплообмінниками змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання. Виконано порівняння двох конструктивних моделей теплообмінних апаратів для систем індивідуального теплопостачання: з паралельним та послідовним розташуванням змієвиків. Для цього використано розрахунково-моделювальний комплекс на базі CFD-моделювання. Наведені умови моделювання. У результаті визначена оптимальна конструкція для досягнення максимальної теплопередачі. Показано, що при однакових параметрах швидкість нагріву теплоносія гарячої води при послідовному розташуванні змієвиків вище завдяки безпосередньому контакту з первинним теплоносієм. У теплообміннику з послідовним розташуванням змієвиків бака-акумулятора може бути прийнятим більшого об'єму ніж для паралельного розташування, що стабілізує температурний режим гарячої води.

Ключові слова: теплообмінник змієвикового типу, конструкції з паралельним та послідовним розташуванням змієвиків, моделювальний комплекс.

Вступ. Розвиток і вдосконалення енергоефективних технологій у сучасних теплообмінних системах, що складаються з великої кількості підсистем і зв'язків між ними, багато в чому стримується відсутністю методів розрахунку і сучасних комп'ютерних комплексів, що дозволяють адекватно прогнозувати стан таких систем у всьому діапазоні навантажень обладнання.

Актуальність дослідження. Перелік невирішених питань щодо вдосконалення систем теплопостачання вимагає проведення наукових досліджень і розробки рекомендацій для їхнього практичного застосування. Тому підвищення ефективності роботи й експлуатації теплопостачальних систем за рахунок розробки нових моделей установок і впровадження енергоефективних технологій є досить актуальною науково-технічною проблемою.

Останні дослідження та публікації. Сучасні рішення теплообмінних апаратів [1, 2] не дозволяють досягти максимальної енергоефективності. Автором статті за-

пропоновані принципово нові конструкції теплообмінників змієвикового типу. На деякі з яких отримані патенти [3, 4]. Ці багатоконтурні теплообмінники мають суттєві переваги над існуючими [5]. Але при їхній практичній реалізації виникає питання, яка саме із запропонованих конструкцій теплообмінників змієвикового типу є більш ефективною. Згідно з роботами автора найбільш прийнятними для практичної експлуатації в житлово-комунальному господарстві є багатоконтурні теплообмінники з послідовним та паралельним розташуванням змієвиків (рис. 1). Метою даної статті є проведення порівняльного аналізу між ними з точки зору ефективності їхнього застосування.

Відомо, що найбільш повна оцінка ефективності створюваного теплообмінного апарату повинна враховувати конвекційні, масові, об'ємні та вартісні характеристики, показники технологічності та ступеня уніфікації вузлів і деталей, а також експлуатаційні показники.

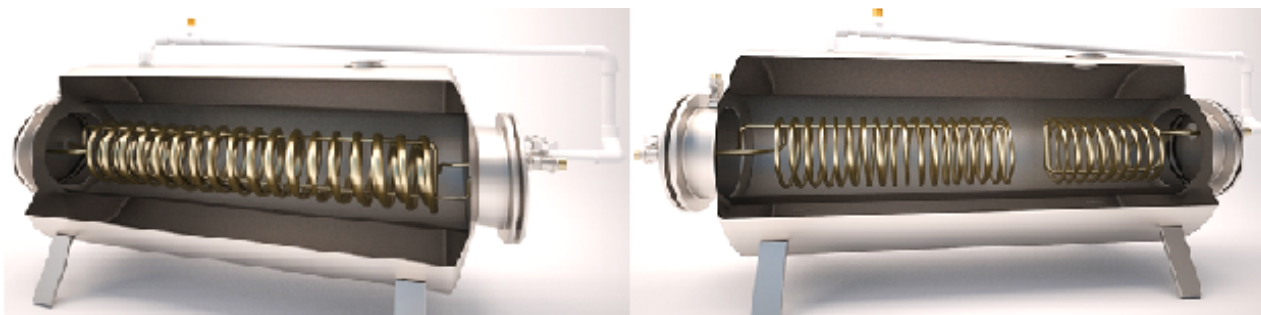


Рис. 1. Теплообмінники з паралельним та послідовним розташуванням змієвиків

При аналізі теплообмінників слід враховувати багато параметрів. Ефективним інструментом для проведення аналітичного порівняльного аналізу теплообмінних апаратів у такому випадку є математичні моделі та проведені на їхній основі імітаційне моделювання [6].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є отримання на основі імітаційного моделювання найбільш важливих характеристик для порівняльного аналізу ефективності багатоконтурних теплообмінників з послідовним та паралельним розташуванням змійовиків.

Основна частина. Для наведених на рис. 1 конструкцій багатоконтурних теплообмінників з послідовним та паралельним розташуванням змійовиків автором в роботі [5] отримані статичні та динамічні моделі.

Для проведення імітаційного моделювання на базі отриманих моделей був обраний програмний модуль SolidWorks Flow Simulation системи SolidWorks [6]. Обраний модуль містить повноцінні інтегровані інструменти вирішення завдань аналізу динаміки процесів теплообміну, у яких забезпечується врахування спільної дії багатьох чинників: руху середовищ, теплопровідності тощо. Основними перевагами SolidWorks Flow Simulation при моделюванні і дослідженні теплообмінних апаратів є:

- можливість моделювання стаціонарного внутрішнього потоку рідини, вимушеної конвекції в ламінарному, перехідному та турбулентному режимах, а також можливість розрахунку траєкторій часток у потоку;
- вибір граничних умов: об'ємної витрати або швидкості на вході і на виході, температури на вході, нерухомі стінки з різних матеріалів;
- автоматичне створення розрахункової області і генерація сітки в ній, автоматичне налаштування параметрів розрахункової сітки для підвищення точності розрахунку зони теплопередачі, автоматична адаптація сітки до геометрії моделі і поля розв'язку;
- виведення результатів і візуалізація у формі різнокольорових епюр на площині або поверхні, тривимірних траєкторій течії, розподілів будь-якої характеристики вздовж кривої; анімації результатів тощо.

Також слід зазначити, що модуль SolidWorks Flow Simulation не розрізняє геометричну суть об'єктів, створених в SolidWorks або імпортованих в його базовий модуль, що дало

можливість повноцінного використання розроблених автором конструкцій у системі AutoCAD. В основі розрахункових алгоритмів SolidWorks Flow Simulation лежить метод кінцевих елементів (МКЕ), що дозволяє з максимальною ефективністю створювати моделі об'єктів із складною геометрією за допомогою розрахункових алгоритмів, вбудованих у систему проектування.

Для паралельної конструкції теплообмінника був змодельований температурний режим кожного контура. Виявлено падіння температури на великій площі посередині конструкції теплообмінника (рис. 2), що є також недоліком цієї конструкції. Встановлено також, що контур системи опалення розташований у найбільш гарячій температурній ділянці первинного контура. Цей фактор сприяє нагріву теплоносія до 77 °С у змійовику системи опалення (рис. 3). Ця температура виявляється вищою ніж нормативна температура подачі до споживача. Крім того, встановлено, що оскільки в паралельній конструкції змійовик системи гарячого водопостачання розташований ближче до низькотемпературної ділянки первинного контуру (рис. 4), тому температура теплоносія не прогривається до нормативних 55 °С. Для ефективною роботи цієї конструкції треба збільшувати площу змійовика системи гарячого водопостачання на 8 витків або діаметр.

Для первинного контура системи з послідовним розташуванням отримано графічне зображення руху та зміни температури в первинному контурі (рис. 5). Встановлено, що радіальний рух теплоносія сприяє обтіканню змійовиків та максимальній передачі теплоти в контурі гарячого водопостачання (рис. 6). Візуалізація контуру системи гарячого водопостачання (рис. 7) демонструє прогрів та рух теплоносія до бака-акумулятора, у якому температура є відносно стабілізованою.

Для конструкції з послідовним розташуванням змійовиків змодельовано температурний режим усіх контурів теплообмінного апарата. Розрахунок первинного контура (рис. 5, 8) показав падіння температури в середині на 10 °С. У контурі системи опалення (рис. 7) спостерігається поступовий нагрів теплоносія до нормативної температури. Отже, конструкція теплообмінного апарату з послідовним розташуванням змійовиків показала кращу здатність для теплообміну, оскільки обидва контури догріваються до нормативної температури згідно з теоретичними розрахунками [5].

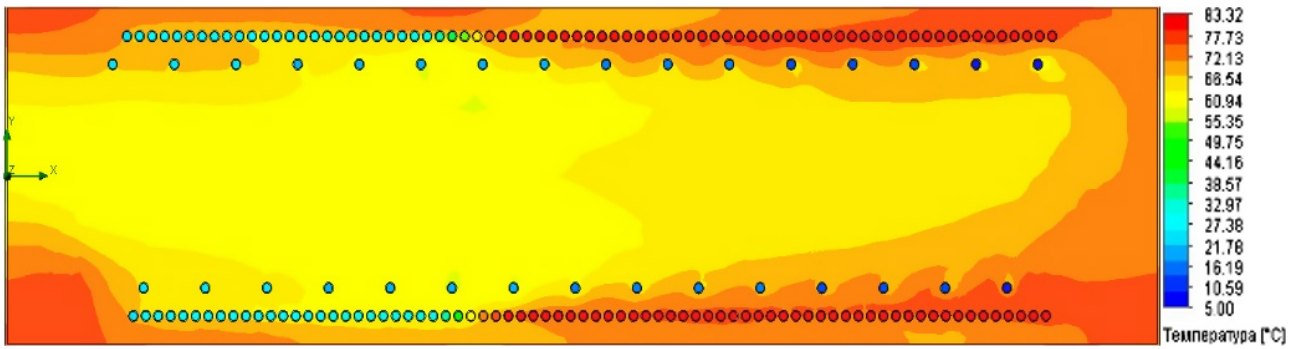


Рис.2. Модель поширення теплоти в контурі, що гріє, паралельного теплообмінника

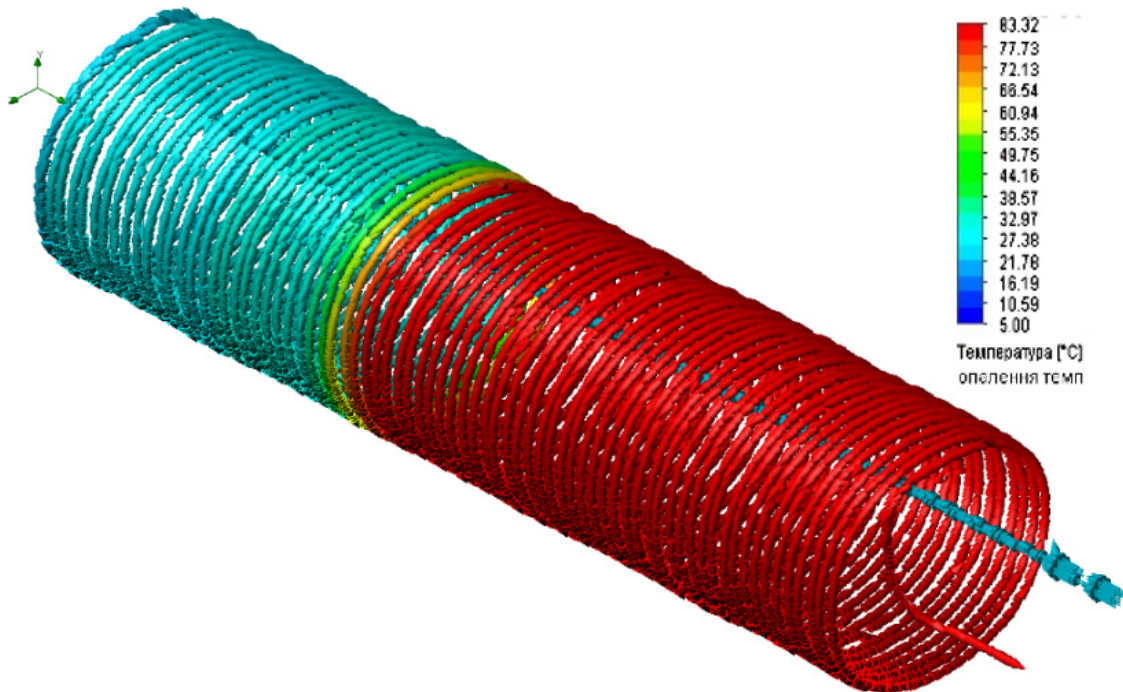


Рис. 3. Моделювання поширення теплоти в контурі опалення паралельного теплообмінника

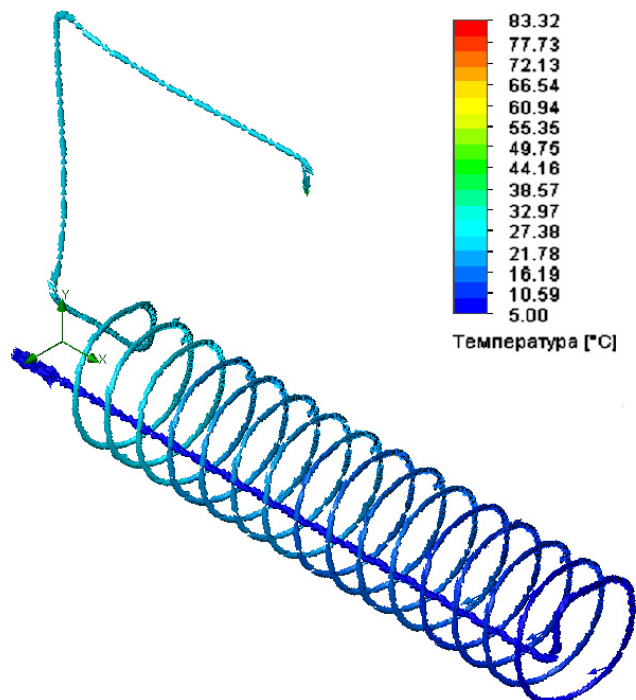


Рис.4. Модель руху в контурі системи гарячого водопостачання

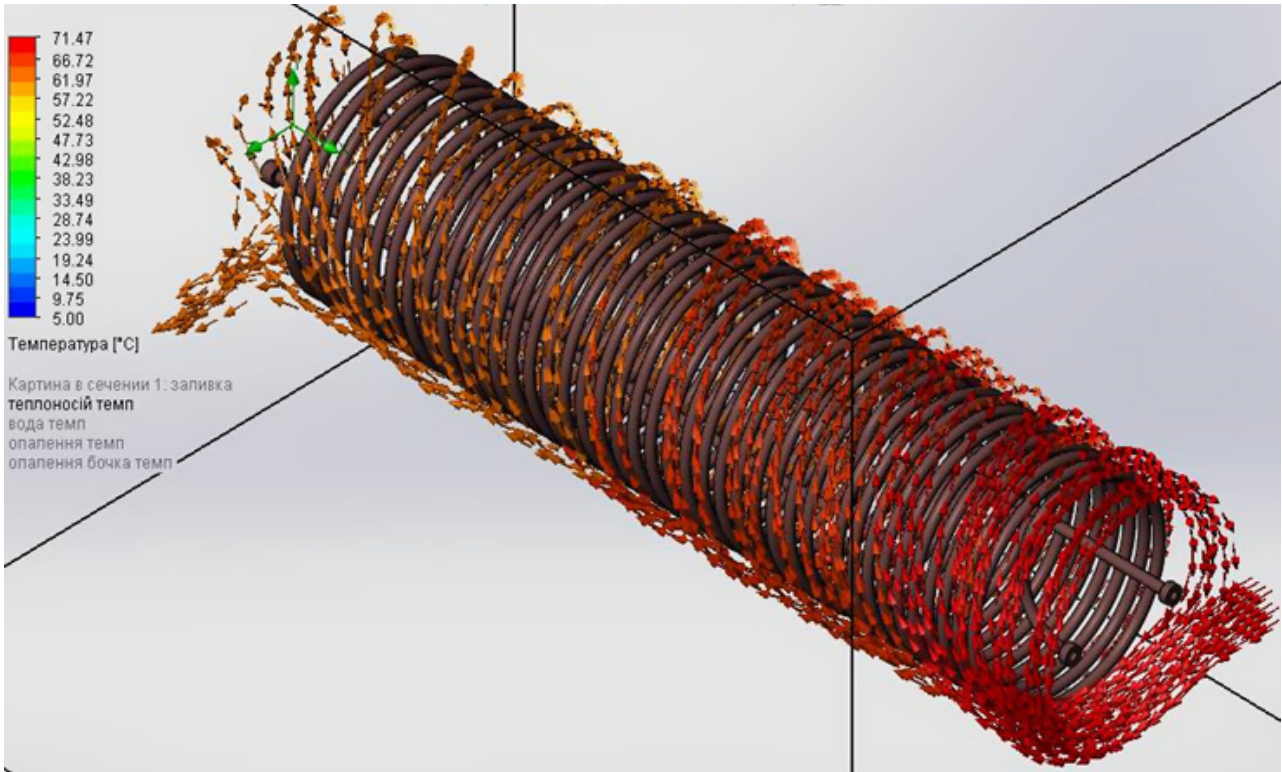


Рис 5. Графічне зображення руху та температурної зміни у первинному контурі

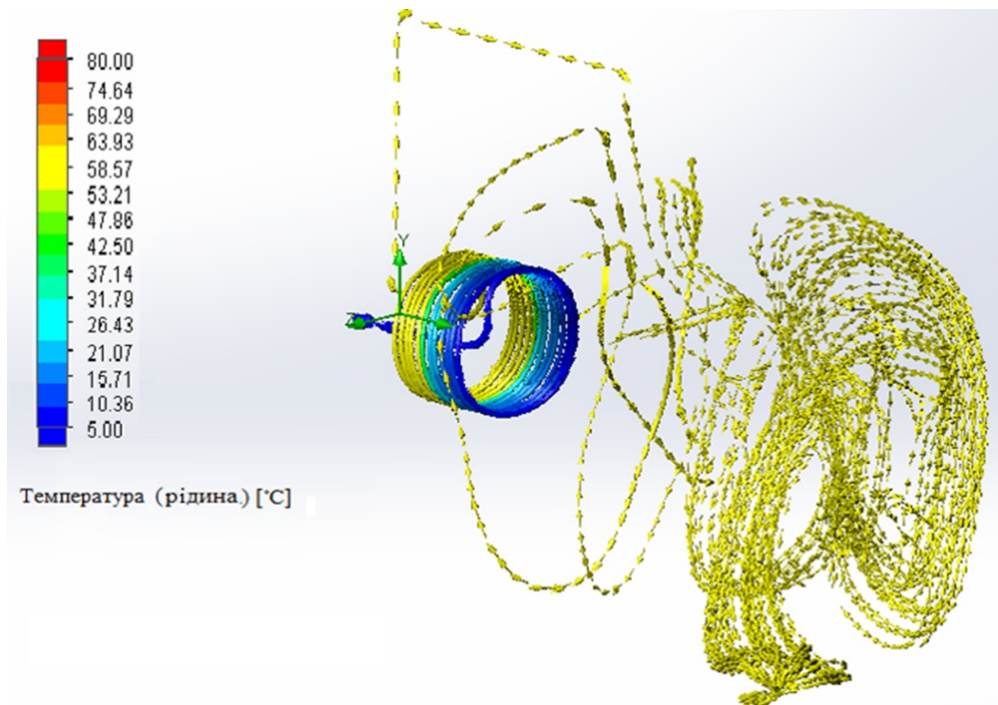


Рис 6. Моделювання поширення теплоти в контурі гарячого водопостачання

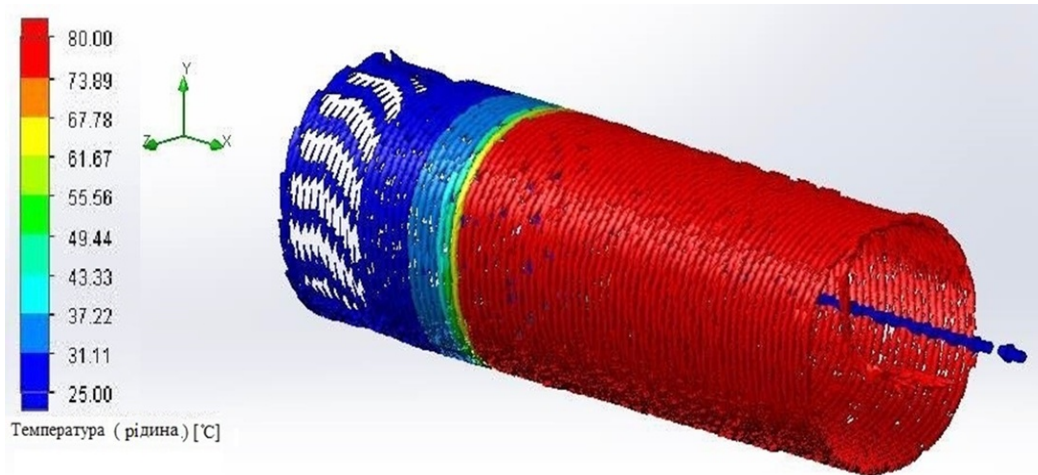


Рис 7. Моделювання поширення теплоти в контурі опалення теплообмінника з послідовним розташуванням змійовиків

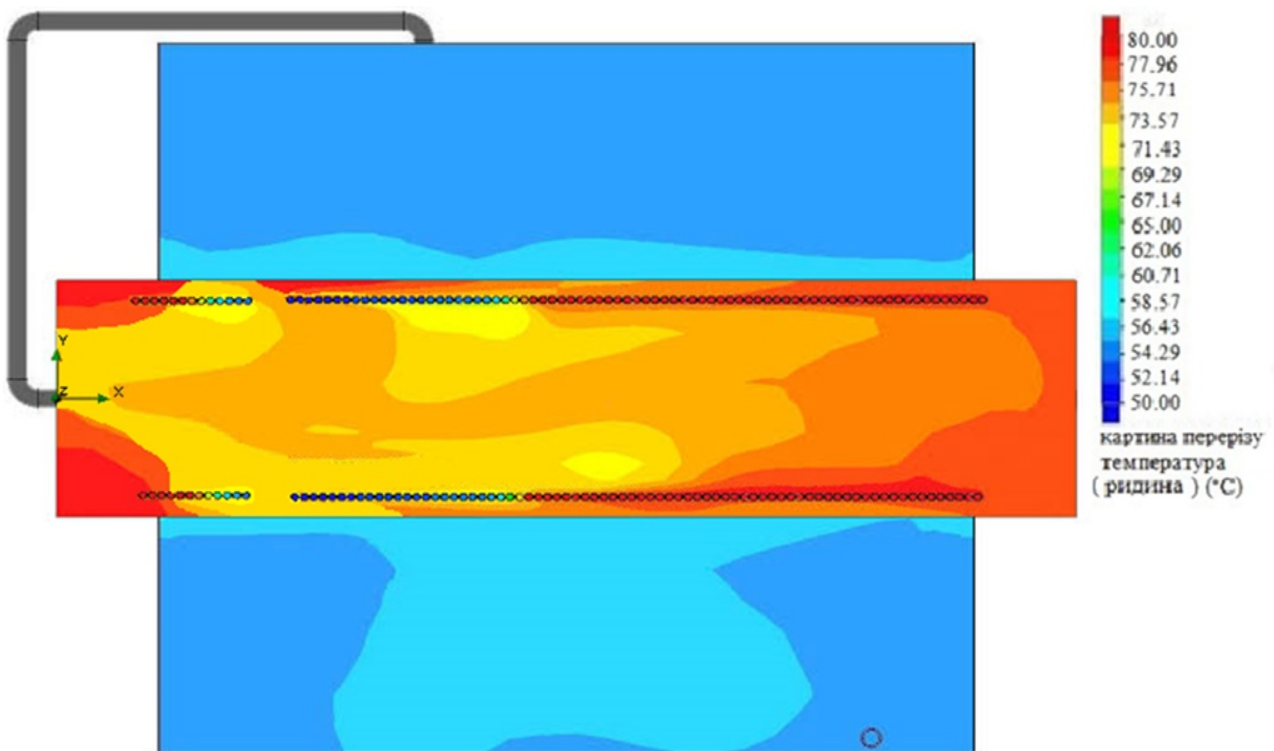


Рис.8. Графічне зображення теплообміну в теплообмінному апараті з акумулювальною ємністю

Висновки. Моделювання створених автором моделей багатоконтурних теплообмінників з послідовним та паралельним розташуванням змійовиків у SolidWorks Flow Simulation з урахуванням умов, зазначених у роботах [7, 8], показало, що при тих же параметрах змійовиків обох конструкцій швидкість нагріву теплоносія гарячої води в теплообміннику з послідовним розташуванням змійовиків вище, що можна пояснити безпосереднім контактом з первинним теплоносієм. Крім того, встановле-

но, що в теплообміннику з послідовним розташуванням змійовиків габарити бака-акумулятора можуть бути більше ніж для паралельного розташування, що значно підвищує стабільність температурного режиму подачі гарячої води.

Перспективи подальших досліджень. У подальшій перспективі робота обраного теплообмінного апарату буде вдосконалена за рахунок приладів автоматизації.

Література

1. Василенко С. М. Теплообмінні апарати. Основи розрахунку та вибору : Навч. посіб. для студ. техн. спец. / С. М. Василенко, В. В. Шутюк. – 2000. – 36 с.
2. Тепло- и массообменные аппараты и установки промышленных предприятий : Учеб. пособие по курсовому проектированию и самостоятельной работе студентов : В 2-х ч / под ред. Б.А. Левченко. – В 2-х ч. – Харьков: ХГПУ, 1999. – Ч.1. – 420 с.
3. Пат. 72193 Україна МПК^{2006.01} F24D 11/00. Симетричний розбірний теплообмінник змієвикового типу для систем опалення та гарячого водопостачання / Шитікова І. Г., Горделюк А. А., Олексюк А. О. ; власник І. Г. Шитікова. – № U201200987 ; заявл. 31.01.2012 ; опублік. 10.08.2012 бюл. №15. – 4 с.
4. Пат. 81831 Україна МПК^{2006.01} F24D 11/00. Багатоконтурний теплообмінний апарат змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання / Шитікова І. Г., Олексюк А. О. ; власник І. Г. Шитікова. – № 201301303 ; заявл. 04.02.2013 ; опублік. 10.07.2013 бюл. №13. – 4 с.
5. Шитікова І. Г. Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.05.02 / Шитікова І. Г.; Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору – Київ, 2016. – 22 с.
6. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одицов и др. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
7. Сеймов В. М. Колебания и волны в слоистых средах / В. М. Сеймов, А. Н. Трофимчук, О. А. Савитский. – Киев: Наукова думка, 1990. – 224 с.
8. Олексюк А. А. Динамические характеристики подогревательно-аккумуляторных установок / А. А. Олексюк А. М. Трофимчук, И. Г. Шитикова // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2016. – №1(121). – с. 78-88.

References

1. Vasylenko S. M., Shutiuk V. V. *Teploobminni aparaty. Osnovy rozrakhunku ta vyboru.* 2000.
2. Levchenko B. A. *Teplo- i massoobmennye apparaty i ustanovki promyshlennykh predpriatii : Ucheb. posobiie po kursovomu proektirovaniuu i samostoiatelnoi rabote studentov.* Ch. 2. KHGPU, 1999.
3. Shitikova I. G., Gordeliuk A. A., Oleksyuk A. O. «Symetrychnyi rozbirnyi teploobminnyk zmievkovogo typu dlia system opalennia ta gariachogo vodopostachannia.» Patent of Ukraine 72193. 10 October 2012.
4. Shitikova I. G., Oleksyuk A. O. «Bagatokonturnyi teploobminnyi aparat zmievkovogo typu dlia nezaleznykh system opalennia ta gariachogo vodopostachannia.» Patent of Ukraine 81831. 10 July 2013.
5. Shitikova I. G. *Matematychni modeliuvannia ta optymizatsiia konstruksii teploobminnyka zmievkovogo typu.* Diss. abstract. Kyiv Institute of telecommunications and global information space, 2016.
6. Alyamovsky A. A., Sobachkin A. A., Oditsov E. V., Kharitonov A. I., Ponomarev N. B. *Computernoe modelirovanie v inzhenernoi praktike.* BHV-Peterburg, 2008.
7. Seimov V. M., Trofimchuk A. N., Savitsky O. A. *Kolebaniia i volny v sloistykh sredakh.* Naukova Dumka, 1990.
8. Oleksiuk A. A., Trofimchuk A. M., Shytikova I. G. “Dynamicheskie kharakteristiki podogrevatelno-akkumulirovaniykh ustanovok.” *Zhurnal obchyliuvalnoi ta prykladnoi matematyky*, vol. 1, no. 121, 2016, pp. 78-141.

УДК 697.33

Сравнение эффективности теплообменников змеевикового типа

И. Г. Шитикова¹

¹к.т.н., м.н.с. Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, г. Киев, Украина., irinashitikova54@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена саморегулирующаяся система теплоснабжения от индивидуальных тепловых пунктов с аккумуляторной установкой и теплообменниками змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения. Выполнено сравнение двух конструктивных моделей теплообменных аппаратов для систем индивидуального теплоснабжения: с параллельным и последовательным расположением змеевиков. Для этого использован расчётно-моделирующий комплекс на базе CFD-моделирования. Приведены условия моделирования. В результате определена оптимальная конструкция для достижения максимальной теплопередачи. Показано, что при одинаковых параметрах скорость нагрева теплоносителя горячей воды при последовательном расположении змеевиков выше благодаря непосредственному контакту с первичным теплоносителем. В теплообменнике с последовательным расположением змеевиков бак-аккумулятор может быть принят большего объёма чем для параллельного расположения, что стабилизирует температурный режим горячей воды.

Ключевые слова: теплообменник змеевикового типа, конструкции с параллельным и последовательным расположением змеевиков, моделирующий комплекс.

UDC 697.33

Comparison of the Efficiency of the Coiled-Type Heat Exchangers

I. Shitikova¹,

¹PhD of Engineering, Junior Researcher. Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, irinashitikova54@gmail.com

Abstract. In the article, the self-regulating heat supply system from individual heat points with heat storage devices and coil-type heat exchangers for independent heating and hot water supply systems is considered. A comparison of two constructive models of heat exchangers for the individual heat supply systems is performed: with parallel and serial arrangement of coils. For this purpose, a computational simulation complex, based on CFD-simulation, has been used. The simulation conditions are presented. As a result, an optimal design has been determined to achieve maximum heat transfer. It is shown that under the same parameters, the heating rate of the hot water heating medium with serial arrangement of the coils is higher due to direct contact with the primary heat carrier. In the heat exchanger with the serial arrangement of coils, the heat storage device of larger volume than for a parallel arrangement can be used, which stabilizes the temperature conditions of hot water.

Keywords: heat exchanger of coiled type, structures with parallel and sequential arrangement of coils, simulation complex.

Надійшла до редакції / Received 30.08.2017

Нова лабораторія кафедри теплогазопостачання і вентиляції

М. І. Кордюков¹

¹асист., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, melco@ukr.net

До нового навчального 2017/18 року кафедра теплогазопостачання і вентиляції підготувала нову навчальну лабораторію «енергоефективної вентиляції». У лабораторії встановлено два стенди:

1. Енергоефективної вентиляції;
2. кондиціонування повітря.

Перший стенд призначений для дослідження утилізації теплоти у вентиляційних установках. Другий стенд дозволяє досліджувати технології тепловологісної обробки повітря в установках кондиціонування повітря і параметри систем повітророзподілення. Лабораторія укомплектована сучасним обладнанням забезпечення мікроклімату в приміщеннях та сучасною системою вимірювання й обробки даних з використанням інформаційних технологій.



Лабораторія призначена для навчання студентів практично всіх спеціальностей, які готуються в університеті:

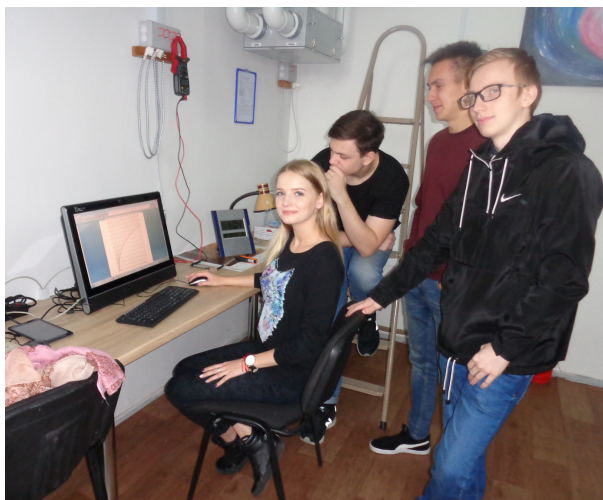
- інженерів теплогазопостачання і вентиляції: вивчення конструкції систем вентиляції та кондиціонування повітря та дослідження енергетичних характеристик і методів розрахунку цих систем;
- архітекторів: вивчення інтеграції інженерних систем будівель до фасадів й інтер'єрів та впливу інженерних систем забезпечення мікроклімату на енергоефективність будівель;
- інженерів промислового і цивільного будівництва: вивчення особливостей конструкції будівель, які дають можливість установки сучасних енергоефекти-

вних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;

- екологів: вивчення впливу інженерних систем будівель на кількість викидів парникових газів.



Перша лабораторна робота була проведена 13 жовтня 2017 р. групою студентів-екологів третього курсу. Були виміряні параметри повітряного потоку припливно-витяжної вентиляційної установки ВЕНТС (виробництво Україна) з рекуператором типу ERV. На підставі отриманих даних була обчислена ефективність рекуперації та зниження викидів парникових газів вентиляційною системою будівлі внаслідок використання технології рекуперації теплоти.



До відома авторів

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

Ви тримаєте перший випуск Збірника у новому форматі, що відповідає міжнародній практиці наукових видань. Це – перший крок до просування Збірника на світовому науковому просторі.

Звертаємо увагу на неухильне дотримання Вимог до рукописів, розміщених на сайті <http://science.knuba.edu.ua/index.php?id=43>.

Кількість слів анотації має бути суворо 100...250. Рисунки мають чітко читатися після внесення до тексту. Розмір шрифту на рисунках після внесення до тексту має бути 9...12 пт.

Згідно з Указом Президента України №133/2017 в Україні закрито доступ до Mail.ru, Inbox.ru, Yandex та Rambler. Автори мають зазначати електронну адресу на інших серверах.

Наступним кроком є розширення рецензійного комітету та перехід до анонімного подвійного рецензування. Запрошуємо авторів статей, які мають науковий ступінь доктора або кандидата наук, долучитися до рецензійного комітету. Якщо Ви згодні, прохання заповнити наступну анкету та надіслати її (можна разом з наступним рукописом) на адресу votgp@ukr.net.

ЗГОДА НА ВСТУП ДО РЕЦЕНЗІЙНОГО КОМІТЕТУ

Прізвище: _____

Ім'я: _____

По-батькові: _____

Науковий ступінь: _____

Учене звання: _____

Контактний телефон: _____

Електронна пошта: _____

Володіння мовами:

українська

англійська

російська

інші _____

Цим даю згоду бути рецензентом рукописів до науково-технічного збірника “Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання” з тематики:

Підпис

П.І.Б.

Information for the Authors

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

You hold the first issue of the Collection in a new format that corresponds to international practice of scientific publication. This is the first step for promotion on the world scientific space.

Pay attention to the strict adherence to the Requirements for manuscripts, placed on the site <http://science.knuba.edu.ua/index.php?id=43>.

The number of words in abstract should be strictly 100...250. Figures should be clearly readable after insertion into the text. Font size on the figures in the text must be 9...12 pt.

According to the Decree of the President of Ukraine No133/2017, access to Mail.ru, Inbox.ru, Yandex, and Rambler is denied in Ukraine. Authors may use an E-Mail on other servers.

The next step is increase of the review committee and change to dual anonymous review. We are glad to invite the authors of articles with scientific degree of Science Doctor or Philosophy Doctor to the review committee. If you agree, please fill in the following form and send it (possibly with the next manuscript) to E-Mail: votgp@ukr.net.

CONSENT TO JOIN THE REVIEW COMMITTEE

Surname: _____

Name: _____

Scientific degree: _____

Academic status: _____

Phone: _____

E-Mail: _____

Language skills:

Ukrainian

English

Russian

other _____

I hereby agree to be a reviewer of the manuscripts for the scientific and technical collection "Ventyliatsiia, Osvitlennia ta Teplohozopostachannia" on subjects:

Signature

Surname and initials

Наукове видання

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 22

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/index.php?id=43>).

Підписано до друку 16.11.2017. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 6,75. Обл. вид. арк. 7,25.
Тираж 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
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції серія дк № 497 від 09.09.2015 р.