

## Чисельне дослідження процесу спалювання низькокалорійного газу в змішувальному повітрянагрівачі

Андрій Редько<sup>1</sup>, Ігор Редько<sup>2</sup>, Олександр Приймак<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва і архітектури,  
вул. Сумська, 40, м. Харків, Україна, 61000

<sup>2</sup>Харківський національний університет міського господарства ім. А.М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002

<sup>3</sup>Київський національний університет будівництва та архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, Україна, 03680

<sup>1</sup>andrey.ua-mail@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1709-2621

<sup>2</sup>germes\_s2006@ukr.net, orcid.org/0000-0002-98634487

<sup>3</sup>02opriymak@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3081-6057

DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.87-94

**Анотація.** Повітрянагрівачі газові змішувальні знаходять широке застосування для підігріву атмосферного повітря в системах припливної вентиляції автономного повітряного опалення та теплових завісах виробничих приміщень, сушильних установках, для опалення тепличних господарств. Змішування повітря з продуктами згоряння газоподібного палива забезпечує ефективний підігрів повітря. Повітрянагрівачі виготовляються з номінальною тепловою потужністю від 0,15 до 6,3 МВт. Коefіцієнт робочого регулювання по тепловій потужності, не менше 2,5. Нагрівання повітря в діапазоні 30-80 °С. Виконано математичне моделювання радіаційно - конвективного теплообміну в газовому тракті котла на основі усереднених по числу Рейнольдса рівнянь Нав'є-Стокса з урахуванням гравітації і з нехтуванням стиснення. Модель складають рівняння нерозривності, перенесення імпульсу, енергії і хімічних компонентів газової суміші, записані в стаціонарній формі. Рівняння замкнуті законом Ньютона для тензора тиску, законом Фур'є для теплового потоку, законом Фіка для потоку маси, законом Клапейрона-Менделєєва для термодинамічної стану суміші газів, рівняннями моделі турбулентності  $k$ - $\epsilon$  Лаундер-Сполдинга і моделі турбулентного горіння Магнус-Хертагера. Наведено результати чисельного моделювання у вигляді векторів швидкостей течії газів, температури і концентрації  $O_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$  в характерних перетинах проточної частини. Визначено аеродинамічну структуру факела, далекобійність і зону з максимальною температурою.



**Андрій Редько**

професор кафедри теплогазопостачання та використання ТВЕР, д.т.н., проф.



**Ігор Редько**

доцент кафедри експлуатації газових і теплових систем, к.т.н., доц.



**Олександр Приймак**

професор кафедри теплотехніки д.т.н., проф.

Отримані результати теоретичного дослідження можуть бути використані для регулювання конструктивних параметрів газових змішувальних повітрянагрівачів із забезпеченням заданих концентрацій вказаних газів в залежності від їх потреби при вирощуванні сільськогосподарських культур в закритих ґрунтах, а також досягнення необхідних температур і швидкостей газів відповідних технологій. Можуть бути основою для алгоритмізації автоматизації відповідних технологічних процесів і циклів

елементів повітряних (газових) систем теплопостачання різного призначення.

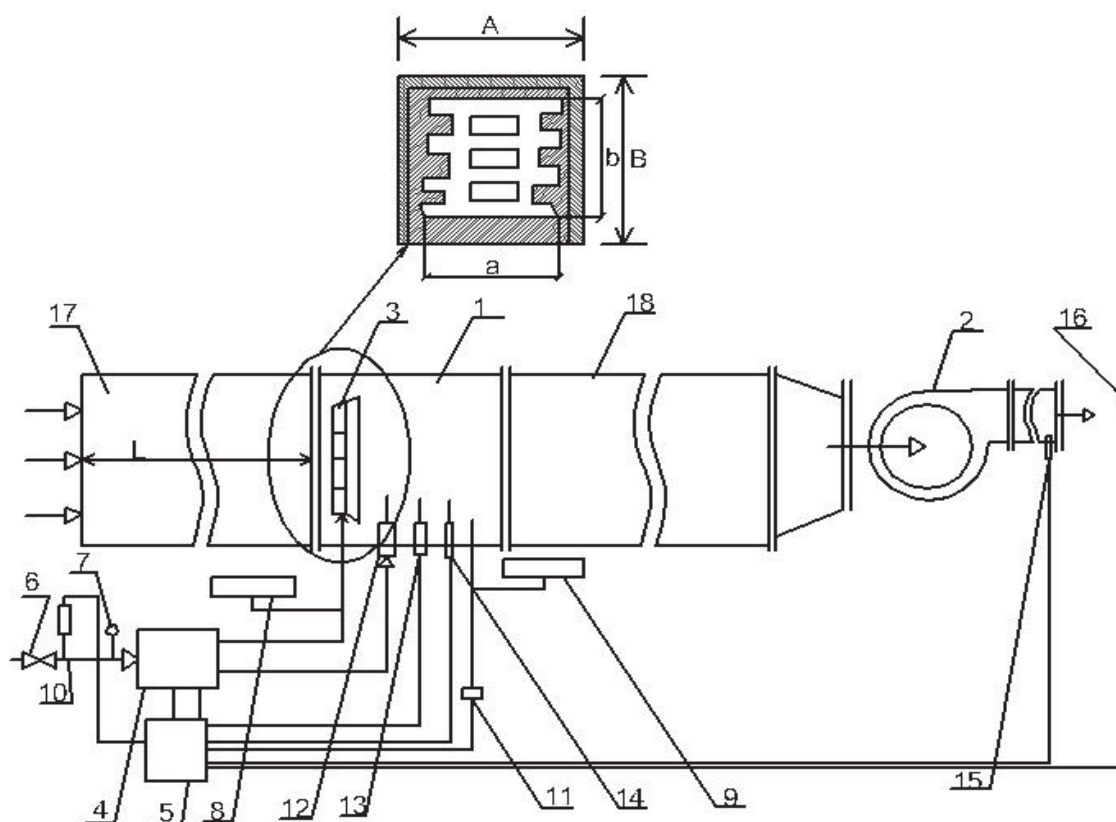
**Ключові слова.** повітрянагрівач; повітрянагрівач змішувальний; рамповий пальник, шахтний газ, метан.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Повітрянагрівачі газові змішувальні знаходять широке застосування для підігріву атмосферного повітря в системах припливної вентиляції автономного повітряного опалення та теплових завісах виробничих приміщень; сушильних установках, для опалення тепличних господарств. Змішання повітря з продуктами згоряння газоподібного палива забезпечує ефективний підігрів повітря. Повітрянагрівачі виготовляються з номінальною тепловою потужністю від 0,15 до 6,3 МВт [1, 2]. Коефіцієнт робочого регулювання по тепловій потужності не менше 2,5. Нагрівання повітря в діапазоні 30-80 ° С. Кількість повітря що нагрівається

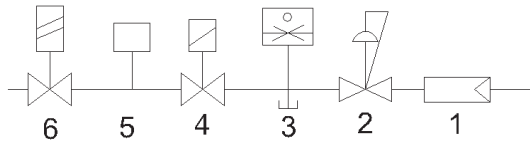
– 7.5-250 тис. м<sup>3</sup>/рік забезпечується подачею вентилятором. Схема установки показана на Рис. 1. Блок вентиляторних пальників складають газові рампові пальники. Газові рампи (мультиблоки) двоступеневі забезпечують стабільний тиск газу перед пальником і його подачу в необхідній кількості, герметичне відключення подачі газу в аварійній ситуації. Газові рампи (Рис. 2) складаються з декількох послідовно з'єднаних елементів: 1 – газовий фільтр; 2 – стабілізатор тиску газу; 3 – штуцер для виміру тиску газу після стабілізатора; 4 – запобіжний запірний клапан; 5 – блок контролю герметичності клапанів; 6 – двоступеневий регулюючий клапан з функцією плавного відкриття. Технологічна схема газової рампи показана на Рис. 2.

Двоступеневий регулюючий клапан забезпечує плавний розпал пальника і подачу необхідної кількості газу при роботі пальника на різних щаблях потужності.

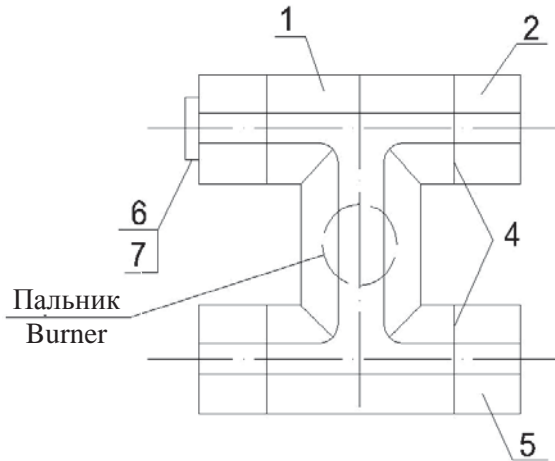


**Рис. 1.** Повітрянагрівач після вентилятора (на нагнетаючій стороні).

**Fig. 1.** Air heater after the fan (on the discharge side).



**Рис.2.** Схема газової рампи.  
**Fig.2.** Scheme of the gas ramp.



**Рис.3.** Схема розташування пальників в повітрянагрівачі.  
**Fig.3.** Arrangement of burners in the heater.

Рамповий пальник являє собою просторову коробчасту конструкцію, складену з кутових стабілізаторів полум'я (Рис. 3). Стабілізатори мають полиці шириною 190 мм, щілину – 150 мм і відбортовку шириною 15 мм. Полиці стабілізаторів перфоровані коловими отворами, розташованими в 9 рядів. Повітря надходить через отвори стабілізаторів у вигляді дрібних струменів. На паливну трубу приварено напівциліндр діаметром 12 мм, в якому висвердлені отвори для виходу паливного газу діаметром 2 мм. Паливні отвори розташовані в два ряди з кроком 9 мм. Відстані між рядами паливних отворів становлять 7 мм. Організація робочого процесу заснована на дифузійному принципі згоряння при поздовжній подачі паливних струменів в зону рециркуляції за V-подібним стабілізаторами [3-5]. Габаритні розміри рампового пальника: ширина – 1250 мм; висота – 1115 мм; глибина – 225 мм. Рамповий пальник поміщена в кожух. Габаритні розміри виробу в зборі 1300 × 1900 × 1520 мм.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Математична модель радіаційно-конвективного теплообміну в газовому тракті котла сформована на основі усереднених по числу Рейнольдса рівнянь Нав'є-Стокса з урахуванням гравітації і з нехтуванням стиснення. Модель складають рівняння нерозривності, перенесення імпульсу, енергії і хімічних компонентів газової суміші, записані в стаціонарній формі. Рівняння замкнуті законом Ньютона для тензора тиску, законом Фур'є для теплового потоку, законом Фіка для потоку маси, законом Клапейрона-Менделєєва для термодинамічної стану суміші газів, рівняннями моделі турбулентності  $k-\varepsilon$  Лаундер-Сполдинга і моделі турбулентного горіння Магнус-Хертагера [7-14].

З метою мінімізації ширини періодично повторюваного фрагмента кроки між перфораційними отворами в моделі пальника були змінені з 20 мм на 18 мм, з 10 на 9 мм і з 17 на 18 мм. Це забезпечило можливість скоротити ширину періодично повторюваного фрагмента до  $C = 18$  мм. При цьому пористість стабілізатора (відношення сумарної площі отворів перфорації в кожному ряду до площі поверхні стабілізатора) збережена незмінною за рахунок відповідної зміни розмірів перфораційних отворів. Форма перфораційних отворів також змінена з круглої на квадратну для полегшення побудови розрахункової сітки. Розрахунок розмірів отворів зведена в Табл. 1 і виконано з рівнянь:

$$n_i = L / \delta_i, \quad (1)$$

$$i = \pi \cdot d_i^2 / 4, \quad (2)$$

$$F_{\Sigma} = n_i \cdot F_i, \quad (3)$$

$$n_{1i} = L / F_i, \quad (4)$$

$$F_{1i} = F_{\Sigma} / n_{1i}, \quad (5)$$

де  $n_i$  – фактична кількість отворів в  $i$ -му ряду періодично повторюваного фрагмента

пальника;  $L$  – фактична ширина періодично повторюваного фрагмента пальника;  $\delta_i$  – крок між отворами в  $i$ -му ряду оригіналу пальника;  $F_i$  – площа одного отвору в  $i$ -му ряду оригіналу пальника;  $d_i$  – діаметр колового отвору в  $i$ -му ряду оригіналу пальника;  $F_{i\Sigma}$  – сумарна площа отворів в  $i$ -му ряду оригіналу пальника;  $n_i$  – кількість отворів в  $i$ -му ряду моделі пальника;  $F_{1i}$  – площа одного отвору в  $i$ -му ряду моделі пальника;  $a_{1i}$  – сторона квадратного отвору в  $i$ -му ряду моделі пальника.

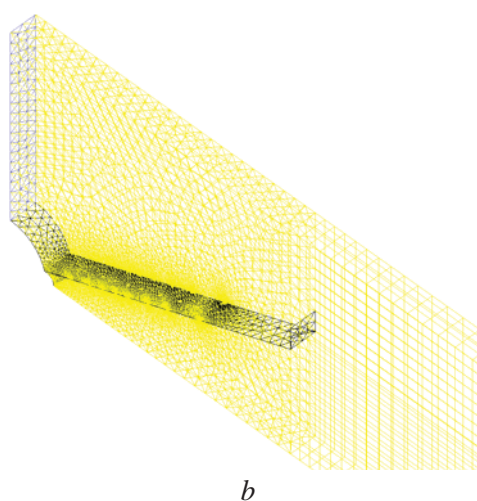
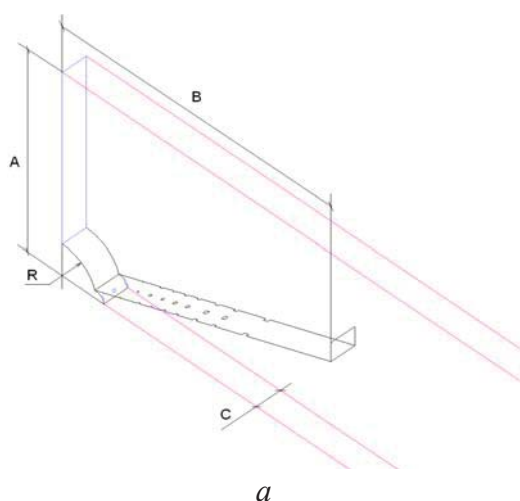
Розрахункова схема рампового пальника представлена на Рис. 4, *a*. Вона представляє собою дзеркально симетричну половину періодично повторюваного фрагмента пальника. Розрахункова область являє собою

паралелограм шириною  $C = 18$  мм, висотою  $A = 160$  мм і довжиною 1600 мм, що включає дзеркально симетричну половину періодично повторюваного фрагмента моделі пальника. Розрахункова сітка (197353 осередків) представлена на Рис. 4, *б*.

В якості прототипа було обрано повітряно-нагрівач газовий змішувальний ВГС-1,0, для якого згідно із паспортом Б853.000ПС номінальні витрати газу складають 100 м<sup>3</sup>/год, а номінальна теплотужність – 1,0 МВт [1]. Масові витрати повітря  $\Sigma G$  складається з витрат  $G_1$ , який проходить через перфоровані отвори стабілізатора і  $G_2$  витрати, що проходить через простір між стабілізаторами згідно з умовою:

**Табл. 1.** Граничні умови і результати моделювання  
**Table 1.** Extreme conditions and simulation results

$i$	$d_i$	$F_{i,2}$ мм <sup>2</sup>	$\delta_i$ , мм	$\delta_{1i}$ , мм	$n_i$	$F_{i\Sigma,2}$ мм <sup>2</sup>	$n_{1i}$	$F_{1i,2}$ мм <sup>2</sup>	$a_{1i}$ , мм
1	1	0,7854	20	18	153	120,17	170	0,7069	0,8408
2	1	0,7854	20	18	153	120,17	170	0,7069	0,8408
3	2	3,1416	10	9	306	961,33	340	2,8274	1,6815
4	2	3,1416	10	9	306	961,33	340	2,8274	1,6815
5	2,5	4,9088	10	9	306	1502,1	340	4,4179	2,1019
6	2,5	4,9088	10	9	306	1502,1	340	4,4179	2,1019
7	3	7,0686	10	9	306	2163,0	340	6,3617	2,5222
8	3	7,0686	10	9	306	2163,0	340	6,3617	2,5222
9	4	12,566	17	18	180	2262,0	170	13,306	3,6477
10	2	3,1416	9	9	340	1068,1	340	3,1416	1,7725



**Рис.4.** *a* – розрахункова схема рампового пальника; *b* – розрахункова сітка.

**Fig.4.** *a* – calculation scheme of the ramp burner; *b* – the computational grid.

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{F_2}{F_1}, \quad (6)$$

де:  $F_{1\Sigma} = 6.91 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  – сумарна площа перфорованих отворів моделі пальника,  $F_2 = 1260 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  – площа прохідного перерізу між стабілізаторами полум'я в моделі пальника.

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{1260 \cdot 10^{-6}}{69.14 \cdot 10^{-6}} = 18.22. \quad (7)$$

Вихідні дані розрахунків приведені в Табл. 2.

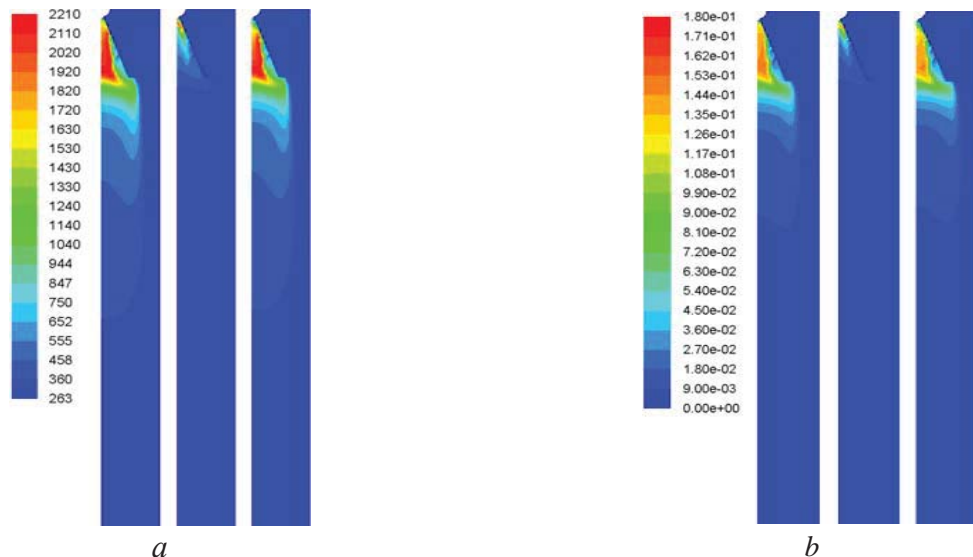
**Табл. 2.** Вихідні дані  
**Table 2.** Initial data

Склад паливного газу, % (об.)	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Метан	100,0	38,6	38,6
Кисень	–	13,4	13,4
Азот	–	48,0	48,0
Масові витрати палива газу, кг/с	3,183e-05	3,183e-05	12,732e-05
Температура паливного газу, К	293	293	293
Масові витрати повітря, кг/с	0,03428	0,03428	0,03428
Температура повітря, К	263	263	263

Результати чисельного дослідження приведені в Табл. 3 і показані на Рис. 5 та 6. В результаті теплотехнічних випробувань [5] визначені такі характеристики пальників з лінійною компоновкою елементів:  $q_3 = 0,03 \%$ ;  $CO = 0,02 \%$  об.:  $NO_x = 102-115 \text{ мг/м}^3$ .

### ВИСНОВКИ

Результати чисельного дослідження підтвердили можливість використання рампового пальника при спалюванні метану і шахтного газу у повітрянагрівачах. При цьому можливе стійке горіння і виконання екологічних вимог.



**Рис.5.** *a* – температура газу (К) в поздовжній площині пальника. Зверху вниз: варіант 1, варіант 2, варіант 3. *b* – Масова доля  $CO_2$  в поздовжній площині пальника. Зверху вниз: варіант 1, варіант 2, варіант 3.

**Fig.5.** *a* – gas temperature (K) in the longitudinal plane of the burner. From top to bottom: option 1, variant 2, variant 3. *b* – mass fraction of  $CO_2$  in the longitudinal plane of the burner. From top to bottom: option 1, variant 2, variant 3.

**Табл. 3.** Середньомасові параметри газу на виході з пальника  
**Table 3.** Mass-average gas parameters at the outlet of the burner

Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Швидкість, м/с	11,0	9,5	11,2
Температура, К	311	275	311
Масова доля CH <sub>4</sub>	2,899042e-15	7,487246e-21	1,975411e-15
Масова доля O <sub>2</sub>	0,2279308	0,2309631	0,2279358
Масова доля CO	8,681544e-14	3,533264e-19	5,944068e-14
Масова доля CO <sub>2</sub>	0,002660474	0,0006842518	0,002674119
Масова доля H <sub>2</sub> O	0,002178072	0,0005601522	0,002189221
Масова доля N <sub>2</sub>	0,7672306	0,7677925	0,7672009
Масова доля NO	5,166117e-07	3,786887e-09	6,164769e-07

## ЛІТЕРАТУРА

1. Каменский завод газоиспользующего оборудования [Электронный ресурс]. URL : <http://www.kzgo.ru/product/> Воздухонагреватели газовые смесительные.
2. Nordair Niche [Электронный ресурс]. URL : <http://losevonline.ru/files/DF.pdf/> Воздухонагреватели газовые смесительные.
3. А.с. СССР № 877233 / Газовая горелка.
4. Бутовский Л. С., Грановская Е. А., Любчик Г. Н., Христинич В. А. Исследования закономерностей выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени. *Теория и практика сжигания газа*. М. : Недра, 1975. вып. VI. С. 324–338.
5. Любчик Г. Н., Марченко Г. С., Варламов Г. Б. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів. *Екотехнології та ресурсозбереження*. №1. 2004. С. 73–79.
6. Любчик Г. Н., Варламов Г. Б., Микулин Г. О. Развитие систем допалования на вихлопі утилізаційних ГТУ. *Весник НТУ "ХПИ". Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование*. №6. 2005. С. 145–153.
7. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2 т. М. : Мир, 1990. Т.1. 384 с.
8. Jakobsen H. A. *Chemical Reactor Modeling*, Springer, 2008. P. 1244.
9. Peters N. *Turbulent combustion*. Cambridge University Press. 2000. P. 304. doi.org/10.1017/CBO9780511612701
10. Суржигов С. Т. Тепловое излучение газов и плазмы. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 544 С.
11. Launder B. E., Spalding D. B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London: Academic Press, 1972. P. 169.
12. Magnussen B. F., Hjertager B. H. On Mathematical Models of Turbulent Combustion With Special Emphasis on Soot Formation and Combustion. *Sixteenth Symp. (Intern.) on Combustion*. Pittsburg, PA: The Combustion Inst., 1976, 747–775 p. doi: 10.4236/epe.2013.54B001
13. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. М. : Мир. 1991. Т. 1. 502 с.
14. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости М. : Энергоатомиздат. 1984. 152 с.
15. Соболев В. М., Снегирёв А. Ю., Лупуляк С. В., Шиндер Ю. К. Моделирование турбулентного диффузионного факела прямоточно-вихревой горелки. *Труды 4-й РНКТ. РНКТ-4*, 2006. Том 3. С. 316–319.
16. Chenghang Zheng. Combustion characteristics of low calorific gases in porous media and its industrial applications. Zhejiang University, Hangzhou 2011.
17. Zhiyong Dong, Enyu Wang, Xiang Gou, Jinxiang Wu, Liansheng Liu. Experimental research of porous medium burner for ultra-low calorific gas. *J. Eng. Thermophys*, 36(10) 2015, P. 2298-2302
18. Hailiang Cao, Kai Zhang, Jina Zhao, Xinli Wei, Dingbiao Wang. Investigation on combustion characteristics in the micro porous media combustor. *J. Eng. Thermophys*, 32(10) 2011, P. 2164-2167.
19. Debo Li, Zhengchang Song. Principle of flame movement for premixed methane combustion in ceramic foam.
20. J Combust. *Sci Technol*, 19 (2) (2013), P. 141-144.
21. Xixi Zhu, Leming Cheng, Chenghang Zheng, Zhongyang Luo, Kefa Cen. Temperature distribution and combustion wave propagation characteristics of premixed gas combustion in ceramic foams. *Proc. CSEE*, 32 (17) (2012), P. 63-69.

22. **Guanqing Wang, Dan Luo, Ning Ding, Xuefeng Huang, Jiangrong Xu.** Two-dimensional combustion flame profiles in porous media with ultra low-calorific gases *CIESC J*, 63 (6) (2012), P. 1893-1901
23. **Peiyong Ma, Zhiguo Tang, Wanda Cai.** An experimental study and modeling on the flow resistance of airflow through foam ceramic. *Nat Gas Ind*, 30 (11) (2010), P. 97-101

REFERENCES

1. Kamenskiy zavod gazoispolzuyushchego oborudovaniya [Kamensky plant of gas-using equipment]. URL : <http://www.kzgo.ru/product/Air heaters are gas mixers>.
2. **Nordair Niche** [Electronic resource]. Re-pressostupu. URL : <http://losevonline.ru/files/DF.pdf/> Air-heating gas mixers.
3. Ac. USSR № 877233 / Gas burner.
4. **Butovskii L. S., Granovskaya E. A., Lyubchik G. N., Khristich V.A. (1975).** Issledovaniya zakonmernostey vygoraniya topliva za ugolkovymi i ploskimi stabilizatorami plameni. [Investigations of the regularities of fuel burn-up behind corners and flat flame stabilizers]. *Theory and practice of gas combustion*. M. : Nedra, 1975. Iss.VI, 324–338.
5. **Lyubchik G. N., Marchenko G. S., Varlamov G.B. (2004).** Emisiini kharakterystyky palnykiv na bazi trubchastykh moduliv [Emisynich characteristics of the palyni on the basis of the tube parts of modules]. *Eco-technology and resource-saving*. №1, 73–79.
6. **Lyubchik G. N., Varlamov G. B., Mikhlin G.O. (2005).** Rozvytok system dopaliuvannia na vykhlopi utylizatsiinykh HTU. [Development of systems of dopaluvannia on vihlopi utylizatsiinykh GTU]. *Vesnik NTU "KhPI". Energy and heat engineering processes and equipment*, №6, 145–153.
7. **Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. (1990).** Vychislitel'naya gidromekhanika i teploobmen [Computational hydromechanics and heat exchange]: in 2 vol. M. : Mir, T. 1. 384.
8. **Jakobsen H. A. (2008).** *Chemical Reactor, Modeling Springer*, 1244.
9. **Peters N. (2000).** *Turbulent combustion*. Cambridge University Press., 304. doi.org/10.1017/CBO9780511612701
10. **Surzhikov S. T. (2004).** Teplovoye izlucheniye gazov i plazmy [Thermal radiation of gases and plasma]. Moskva : MSTU them. NE Bauman, 544.
11. **Lauder B. E., Spalding D. B. (1972).** Lectures in Mathematical Models of Turbulence, *London: Academic Press*, 169.

12. **Magnussen B. F., Hjertager B. H. (1976).** On Mathematical Models of Turbulent Combustion With Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, *Sixteenth Symp. (Intern.) On Combustion*. Pittsburg, PA: The Combustion Inst., 1976. P.747–775. doi: 10.4236/epe.2013.54B001
13. **Fletcher K. (1991).** Vychislitel'nyye metody v dinamike zhidkosti [Computational methods in the dynamics of a liquid]. Moscow : Mir. T. 1. 502.
14. **Patankar S. (1984).** Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti [Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics]. M. : Energoatomizdat. 152.
15. **Sobolev V. M., Snegirev A. Yu., Lupulyak S. V., Shinder Yu. K. (2006).** Modelirovaniye turbulentnogo diffuzionnogo fakela pryamotokhno-vikhrevoy gorelki. [Modeling of a turbulent diffusion torch of a direct-flow-vortex torch]. *Proceedings of the 4th RSCT. RNKT-4*, Vol. 3, 316–319.
16. **Chenghang Zheng (2011).** Combustion characteristics of low calorific gases in porous media and its industrial applications Zhejiang University, Hangzhou.
17. **Zhiyong Dong, Enyu Wang, Xiang Gou, Jinxiang Wu, Liansheng Liu (2015).** Experimental research of porous medium burner for ultra-low calorific gas *J Eng Thermophys*, 36 (10), 2298-2302.
18. **Hailiang Cao, Kai Zhang, Jina Zhao, Xinli Wei, Dingbiao Wang (2011).** Investigation on combustion characteristics in the micro porous media combustor *J Eng Thermophys*, 32 (10), 2164–2167.
19. **Debo Li, Zhengchang Song.** Principle of flame movement for premixed methane combustion in ceramic foam
20. **J Combust Sci Technol (2013).** 19 (2), 141–144.
21. **Xixi Zhu, Leming Cheng, Chenghang Zheng, Zhongyang Luo, Kefa Cen (2012).** Temperature distribution and combustion wave propagation characteristics of premixed gas combustion in ceramic foams *Proc CSEE*, 32 (17), 63–69.
22. **Guanqing Wang, Dan Luo, Ning Ding, Xuefeng Huang, Jiangrong Xu (2012).** Two-dimensional combustion flame profiles in porous media with ultra low-calorific gases *CIESC J*, 63 (6), 1893–1901.
23. **Peiyong Ma, Zhiguo Tang, Wanda Cai (2010).** An experimental study and modeling on the flow resistance of airflow through foam ceramic *Nat Gas Ind*, 30 (11), 97–101.

**Numerical investigation of the process  
of low calcarium gas injection  
in the mixture air heater**

*Redko Andriy,  
Redko Igor,  
Priymak Alexander*

**Summary.** Gas mixing air heaters are widely used for heating air in the systems of inflow ventilation of autonomous air heating and thermal curtains of industrial premises, drying installations, for heating of greenhouse farms. Mixing of air with products of combustion of gaseous fuel provides effective air heating. Air heaters are manufactured with a nominal thermal capacity of 0.15 to 6.3 MW. The coefficient of working regulation for thermal power, not less than 2,5. Air heating in the range of 30-80 ° C. The mathematical modeling of radiation - convective heat transfer in the gas tract of the boiler is executed on the basis of the averaged by the Reynolds number of the Navie - Stoks equations, taking into account gravity and with the neglect of compression. The model consists of the equation of continuity, impulse transfer, energy and chemical components of the gas mixture, recorded in a stationary form. The equations are closed by Newton's law for a pressure sensor.

Fourier law for heat flux, the Fick's law for mass flow, the Clapeyron-Mendeleev law for the thermodynamic state of a gas mixture, the equations of the turbulence model k-ε Launder-Spalding and the model of turbulent combustion of Magnus-Hertgaher. The results of numerical simulation in the form of vectors of flow rates of gases, temperature, and concentration of O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> in the characteristic sections of the flow part are presented. The aerodynamic structure of the torch, long range and maximum temperature zone are determined.

The obtained results of theoretical research can be used to regulate the design parameters of gas mixing air heaters with the provision of specified concentrations of these gases depending on their need for growing crops in closed soils, as well as to achieve the necessary temperatures and velocities of the gases of the corresponding technologies. Maybe the basis for algorithmization of automation of the corresponding technological processes and cycles of elements of air (gas) systems of heat supply for various purposes. Calorie gas in mixing air heaters are presented

**Keywords.** air heater; mixer air heater; ramp burner, mine gas, methane.