

УДК 519.85:697.245

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261218.51.447

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООВОГО ТА ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ДЛЯ ТРУБЧАСТИХ ГАЗОВИХ НАГРІВАЧІВ З ЗАХИСНИМ ЕКРАНОМ

ІРОДОВ В. Ф.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

ДУДКІН К. В.², *канд. техн. наук,*

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я.³, *канд. техн. наук, доц.*,

ЛЕВКОВИЧ О. О.⁴, *канд. фіз-мат. наук, доц.*

¹Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

²Компанія «КВ-Автоматизація», вул. Чистяківська, 23, 03062, Київ, Україна, тел. +38 044 502 12 53, e-mail: kv-automat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5361-2981

³Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: ChHYa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

⁴Кафедра вищої математики, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 562-55-89, e-mail: levk.olga77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2303-8661

Анотація. *Постановка проблеми.* Робота присвячена математичному моделюванню та розрахунку теплового і гідравлічного режиму трубчастих газових нагрівачів. Застосування таких нагрівачів у відносно низьких приміщеннях суперечить вимогам до максимально можливих теплових потоків теплового випромінювання на робочих місцях. Для зменшення теплового випромінювання від трубчастих газових нагрівачів застосовуються екрани. Але розрахунок режиму роботи таких нагрівачів ускладнюється через взаємодію теплового і гідравлічного режиму. *Аналіз останніх досліджень.* Найвні наукові результати з математичного моделювання трубчастих газових нагрівачів без додаткових екранів, які можна прийняти за основу при розробці математичних моделей і алгоритму розрахунку нагрівачів з екраном теплового випромінювання. *Мета та завдання.* Авторами поставлена мета розробити математичну модель трубчастого газового нагрівача з екраном від променевого випромінювання нагрівача. Екран повинен зменшити променеву складову теплового потоку від нагрівача та збільшити тепловіддачу конвекцією. Алгоритм повинен забезпечити розрахунок теплового та гідравлічного режиму нагрівача з урахуванням математичної моделі як гідравлічного ланцюга з розподіленими параметрами. *Висновки.* Викладена математична модель трубчастого газового нагрівача з екраном від посиленого теплового випромінювання. Розроблений алгоритм розрахунку теплового та гідравлічного режиму нагрівача з екраном. З використанням цього алгоритму виконаний приклад розрахунку теплового та гідравлічного режиму нагрівача з екраном і зроблено порівняння режиму роботи нагрівача з екраном і нагрівача без екрана. Наглядно представлені позитивні властивості трубчастого газового нагрівача з екраном для опалення у відносно низьких приміщеннях.

Ключові слова: *трубчасті газові нагрівачі; екран теплового випромінювання; математична модель; режим роботи; алгоритм розрахунку*

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЗАЩИТНЫМ ЭКРАНОМ

ІРОДОВ В. Ф.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

ДУДКІН К. В.², *канд. техн. наук,*

ЧЕРНОМОРЕЦЬ Г. Я.³, *канд. техн. наук, доц.*,

ЛЕВКОВИЧ О. А.⁴, *канд. физ-мат. наук, доц.*

¹Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

²Компания «КВ-Автоматизация», ул. Чистяковская, 23, 03062, Киев, Украина, тел. +38 044-502-12-53, e-mail: kv-automat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5361-2981

³Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: ChHYa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

⁴Кафедра высшей математики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (067) 562-55-89, e-mail: levk.olga77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2303-8661

Аннотация. Постановка проблемы. Работа посвящена математическому моделированию и расчету теплового и гидравлического режима трубчатых газовых нагревателей. Применение таких нагревателей в относительно низких помещениях противоречит требованиям к максимально возможным тепловым потокам теплового излучения на рабочих местах. Для уменьшения теплового излучения от трубчатых газовых нагревателей применяются экраны. Но расчет режима работы таких нагревателей осложняется из-за взаимодействия теплового и гидравлического режима. **Анализ последних исследований.** Имеются научные результаты по математическому моделированию трубчатых газовых нагревателей без дополнительных экранов, которые можно принять за основу при разработке математических моделей и алгоритма расчета нагревателей с экраном теплового излучения. **Цель и задания.** Авторами поставлена цель разработать математическую модель трубчатого газового нагревателя с экраном от лучевого излучения нагревателя. Экран должен уменьшить лучевую составляющую теплового потока от нагревателя и увеличить теплоотдачу конвекцией. Алгоритм должен обеспечить расчет теплового и гидравлического режима нагревателя с учетом математической модели как гидравлической цепи с распределенными параметрами. **Выводы.** Изложена математическая модель трубчатого газового нагревателя с экраном от усиленного теплового излучения. Разработанный алгоритм расчета теплового и гидравлического режима нагревателя с экраном. С использованием этого алгоритма выполнен пример расчета теплового и гидравлического режима нагревателя с экраном и сделано сравнение режима работы нагревателя с экраном и нагревателя без экрана. Наглядно представлены положительные свойства трубчатого газового нагревателя с экраном для отопления в относительно низких помещениях.

Ключевые слова: *трубчатые газовые нагреватели; экран теплового излучения; математическая модель; режим работы; алгоритм расчета*

ALGORITHM FOR CALCULATION OF HEAT AND HYDRAULIC OPERATING MODES FOR TUBE GAS HEATERS WITH PROTECTIVE SCREEN

IRODOV V. F.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

DUDKIN K. V. *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

CHORNOMORETS H. Ya.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

LEVKOVYCH O. O.⁴, *Cand. Sc. (Phys.and mat.), Ass. Prof.*

¹Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

²Company «KV-Automation», 23, Chystiakivska St., 03062, Kyiv, Ukraine, phone +38 044 502 12 53, e-mail: kv-automat@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5361-2981

³Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 0-0003-4964-5785

⁴Department of Higher Mathematics, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, phone. +38 (067) 562-55-89, e-mail: levk.olga77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2303-8661

Abstract. Problem formulation. The work is devoted to the mathematical modeling and calculation of the thermal and hydraulic regime of tube gas heaters. The use of such heaters in relatively low spaces is contrary to the requirements. Screens are used to reduce heat radiation from tube gas heaters. But the interaction of thermal and hydraulic regimes is complicated due to the calculation of the operation of such heaters. **Recently research analysis.** There are scientific results in the mathematical modeling of tube gas heaters without additional screens. This results can be taken as a basis for the development of mathematical models and algorithms for calculating heaters with a thermal radiation screen. **Purpose.** The authors set the goal to develop a mathematical model of a tube gas heater with a screen from radiation of the heater. The screen should reduce the radiant component of the heat flow from the heater and increase the heat output by convection. The algorithm should provide calculation of the thermal and hydraulic mode of the heater, taking into account the mathematical model as a hydraulic circuit with distributed parameters. **Conclusions.** The mathematical model of the tube gas heater with the screen from the enhanced thermal radiation is presented. The algorithm of calculation of thermal and hydraulic mode of the heater with the screen is developed. Using this algorithm, an example of calculating the thermal and hydraulic mode of the heater with a screen is made and a comparison of the mode of operation of the heater with a screen and a heater without a screen is made. The positive properties of a tube gas heater with a screen for heating in relatively low premises are clearly presented.

Keywords: *tube gas heaters; thermal radiation screen, mathematical model, operating mode, calculation algorithm*

Постановка проблеми. Відомі трубчасті газові нагрівачі [1, 5, 6], які використовуються в системах теплопостачання промислових і сільськогосподарських підприємств. Трубчастий газовий нагрівач складається з газового пальника з автоматикою безпеки та управління, трубчастого нагрівача, поверхня якого нагрівається продуктами згоряння газового палива з повітрям і передає тепло в опалювальний простір приміщень і вентилятора, який подає повітря на газовий пальник і забезпечує рух газоповітряної суміші всередині нагрівача з видаленням відпрацьованих продуктів зовні. Звичайно трубчасті газові нагрівачі мають екрани для відбивання теплового випромінювання і направлення його на робочі місця. Застосування таких нагрівачів у відносно низьких приміщеннях суперечить вимогам до максимально можливих теплових потоків теплового випромінювання на робочих місцях.

Аналіз публікацій. Трубчасті газові нагрівачі застосовуються, здебільше, для систем автономного теплопостачання виробничих приміщень, наприклад для повітряно-променевого опалення, нагрівання повітря, а також для нагріву води [2-4, 7-9]. Використання цих нагрівачів у житлових та громадських будівлях не дозволяється.

Для зменшення теплового випромінювання від трубчастих газових нагрівачів застосовуються екрани. Але розрахунок режиму роботи таких нагрівачів ускладнюється через взаємодію теплового і гідравлічного режиму.

Мета статті. Розробити математичну модель трубчастого газового нагрівача з екраном від променевого випромінювання нагрівача. Екран повинен зменшити променеву складову теплового потоку від нагрівача та збільшити тепловіддачу конвекцією. Алгоритм повинен забезпечити розрахунок теплового та гідравлічного режиму нагрівача з урахуванням математичної моделі як гідравлічного ланцюга з розподіленими параметрами.

Виклад основного матеріалу.

На рис. 1 показана схема трубчастого газового нагрівача з екраном. Умовно позначений рух повітря, який поступає в простір огорожений екраном з опалювального середовища та виходить з нього у верхній частині екранованої поверхні.

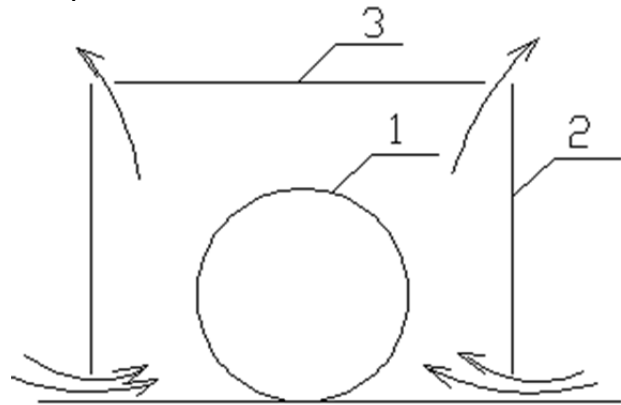


Рис. 1 Розрахункова схема трубчастого газового нагрівача з екраном /
Scheme of a tube gas heater with a screen :
1 – трубчастий нагрівач; 2 – боковий екран; 3 – верхній екран

Теплообмін здійснюється наступним чином. Від нагрітої газоповітряної суміші тепло передається до внутрішньої стінки трубчастої поверхні. Завдяки теплопровідності тепло передається від внутрішньої поверхні до зовнішньої поверхні труби. Від зовнішньої поверхні труби тепло передається: завдяки конвекції до повітря всередині екрану, а завдяки випромінюванню до внутрішньої поверхні екрану. Потім тепло передається завдяки теплопровідності до зовнішньої поверхні екрану, а від нього передається у опалювальний простір завдяки конвекції та випромінюванню.

Введемо такі позначення:

dQ_I - загальний тепловий потік, що передається конвекцією та випромінюванням від газоповітряної суміші до внутрішньої поверхні трубчастого нагрівача;

dQ_{IK} - тепловий потік, що передається конвекцією від газоповітряної суміші до внутрішньої поверхні трубчастого нагрівача;

dQ_{II} - тепловий потік, що передається випромінюванням від газоповітряної суміші

до внутрішньої поверхні трубчастого нагрівача;

dQ_2 - загальний тепловий потік, що передається конвекцією та випромінюванням від зовнішньої поверхні трубчастого нагрівача;

dQ_{2K} - тепловий потік, що передається конвекцією від зовнішньої поверхні труби у внутрішній простір екрану;

$dQ_{2П}$ - тепловий потік, що передається випромінюванням від зовнішньої поверхні труби у внутрішній простір екрану;

dQ_3 - тепловий потік, що передається від зовнішньої поверхні екрану у опалювальне середовище;

dQ_{3K} - тепловий потік, що передається від зовнішньої поверхні екрану у опалювальне середовище завдяки конвекції;

$dQ_{3П}$ - тепловий потік, що передається від зовнішньої поверхні екрану у опалювальне середовище завдяки випромінюванню;

T - температура газоповітряної суміші в середині нагрівача; T_w - температура стінки трубчастого нагрівача; T_e - температура стінки екрану; T_o - температура опалювального середовища.

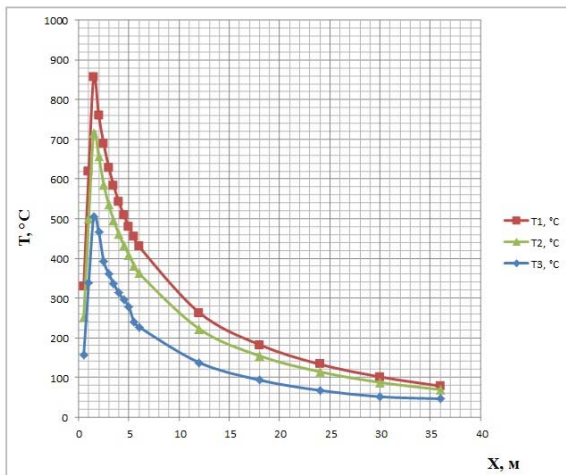


Рис. 2 Зміна температури по довжині трубчастого газового нагрівача з екраном /

Change in temperature over the length of a tube gas heater with a screen:

T_1 - температура газоповітряної суміші в середині нагрівача; T_2 - температура поверхні стінки труби; T_3 - температура екрану

Маємо такі рівняння теплообміну (1) - (10):

$$dQ_{1K} = \pi D dx \alpha_1 (T - T_w) \quad (1)$$

$$dQ_{1П} = \pi D dx c_o \varepsilon (T^4 - T_w^4) 10^{(-8)} \quad (2)$$

$$dQ_1 = dQ_{1K} + dQ_{1П} \quad (3)$$

$$dQ_{2K} = \pi D dx \alpha_1 (T_w - T_e) \quad (4)$$

$$dQ_{2П} = \pi D dx c_o \varepsilon_w (T_w^4 - T_e^4) 10^{(-8)} \quad (5)$$

$$dQ_2 = dQ_{2K} + dQ_{2П} \quad (6)$$

$$dQ_{3K} = \pi D dx \alpha_2 (T_e - T_o) \quad (7)$$

$$dQ_{3П} = \pi D dx c_o \varepsilon_e (T_e^4 - T_o^4) 10^{(-8)} \quad (8)$$

$$dQ_3 = dQ_{3K} + dQ_{3П} \quad (9)$$

$$dQ_1 = dQ_2 = dQ_3 \quad (10)$$

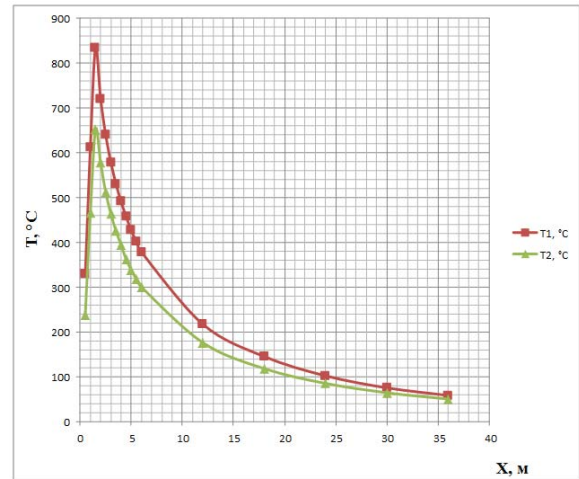


Рис. 3 Зміна температури по довжині трубчастого газового нагрівача без екрану /

Change in temperature over the length of a tube gas heater without a screen:

T_1 - температура газоповітряної суміші в середині нагрівача; T_2 - температура поверхні стінки труби

У рівняннях математичної моделі, яка наведена вище, слід відмітити такі особливості:

- теплообмін між газоповітряною сумішшю та трубою нічим не відрізняється від аналогічного теплообміну для традиційного трубчастого нагрівача без екрану;

- теплообмін між трубою та простором всередині екрану складається з двох складових - конвективної та променевої. Променева - між зовнішньою поверхнею труби та внутрішньою поверхнею екрану, а конвективна - між зовнішньою поверхнею

труби і повітрям з усього опалювального приміщення завдяки проходженню цього повітря з приміщення між екранними поверхнями, як це показано на рис. 1.

- теплообмін між екранними поверхнями та опалювальним простором має також дві складові – конвективну та променеву та описується відповідними рівняннями.

Алгоритм розрахунку для нагрівача з екраном будується наступним чином.

Операторна схема алгоритму:

$$\underbrace{\Omega_1 W_2 W_3 W_4 W_5 P_6 W_7}_{\Omega_{12}} \underbrace{\Omega_8 W_9 W_{10} P_{11} \Omega_{12}}$$

де: Ω_1 – початок; W_2 – генерація можливого значення температури поверхні нагрівача T_w ; W_3 – обчислення теплових потоків: dQ_{IK}, dQ_{IP}, dQ_I ; W_4 – обчислення конвективного та променевого теплових потоків: dQ_{2K}, dQ_{2P} ; W_5 – обчислення температури поверхні екрану T_e ; P_6 – досягнута необхідна точність виконання рівняння теплового балансу? Якщо «ТАК», то переходимо на W_7 , якщо «НІ», то переходимо на новий крок ітерації – на W_2 ; W_7 – обчислення середнього по перетину каналу коефіцієнту тепловіддачі на внутрішню стінку; Ω_8 – початок інтегрування рівнянь руху та теплообміну для трубчастого нагрівача; W_9 – розрахунок параметрів руху та теплообміну на початку розрахункової ділянки; W_{10} – розрахунок

параметрів руху та теплообміну в кінці розрахункової ділянки; P_{11} – досягнутий процес інтегрування до кінця нагрівача? Якщо «ТАК», то переходимо на кінець алгоритму Ω_{12} , якщо «НІ», то переходимо на новий крок інтегрування – на W_9 ; Ω_{12} – кінець розрахунку.

На рис. 2 представлені результати розрахунків теплового та гідравлічного режиму трубчастого газового нагрівача з екраном.

Для порівняння зроблений розрахунок режиму роботи трубчастого газового нагрівача при тих же початкових умовах, що і для нагрівача з екраном, але вже без екрану. Результати такого розрахунку представлені на рис. 3.

Висновок. Наведена математична модель трубчастого газового нагрівача з екраном від посиленого теплового випромінювання. Розроблений алгоритм розрахунку теплового та гідравлічного режиму нагрівача з екраном. З використанням цього алгоритму виконаний приклад розрахунку теплового та гідравлічного режиму нагрівача з екраном і зроблено порівняння режиму роботи нагрівача з екраном і нагрівача без екрана. Проведені чисельні розрахунки підтвердили правомірність побудованого алгоритму і показали позитивні властивості трубчастого газового нагрівача з екраном для опалення у відносно низьких приміщеннях.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Болотских Н. Н. Энергоэффективная система инфракрасного обогрева производственных помещений с большими внутренними площадями / Н. Н. Болотских // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2012. – Вип. 69. – С. 361–371.
2. Дудкин К. В. Математическое моделирование трубчатых газовых нагревателей для безопасного нагрева воды в объеме со свободной поверхностью / К. В. Дудкин, В. В. Ткачева, Ю. В. Бобырь // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вип. 62 : Безопасность жизнедеятельности. – С. 166–171.
3. Иродов В. Ф. Математическое моделирование и расчет инфракрасного трубчатого газового обогревателя / В. Ф. Иродов, Л. В. Солод // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вип. 52 : Безопасность жизнедеятельности. – Ч. 1. – С. 130–133.
4. Многоконтурные трубчатые газовые нагреватели как средства повышения безопасности воздушно-лучистого отопления / К. В. Дудкин, Ю. В. Хацкевич, Л. В. Солод, Г. Я. Черноморец // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вип. 62 : Безопасность жизнедеятельности. – С. 161–166.

5. Пристрій для газового опалення : пат. 63793 Україна (UA) : МПК F24D 10/00 / К. В. Дудкін, В. Ф. Іродов, Г. Я. Чорноморець ; патентовласник Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – № u201102224 ; заявл. 25.02.2011 ; опубл. 25.10.2011 ; Бюл. № 20. – 4 с.
6. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря : пат. 83403 Україна (UA) : МПК F24D 10/00 / К. В. Дудкін, В. Ф. Іродов, А. А. Чорнойван, Г. Я. Чорноморець ; патентовласники К. В. Дудкін, В. Ф. Іродов, А. А. Чорнойван, Г. Я. Чорноморець. – № u201302535 ; заявл. 28.02.2013 ; опубл. 10.09.2013 ; Бюл. № 17. – 4 с.
7. Ткачова В. В. Індуктивне моделювання трубчастого газового нагрівача та пальника на пелетах / В. В. Ткачова, Р. В. Барсук // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 78 : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – С. 275–281.
8. Чорноморець Г. Я. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2012. – Вип. 68. – С. 395–399.
9. Taler Dawid. Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement / Dawid Taler, Marcin Trojan, Jan Taler // Chemical and process engineering. – 2011. – Vol. 32, iss. 1. – P. 7–19.

REFERENCES

1. Bolotskikh N. N. Jenergojeffektivnaja sistema infrakrasnogo obogreva proizvodstvennyh pomeshhenij s bol'shimi vnutrennimi ploschjadjami [Energy-efficient infrared heating of production facilities with large inner area]. *Zb. «Naukovy'j visnyk budivny'ctva»* [Coll. "Scientific Bulletin construction"], 2012, issue 69, pp. 361 — 371.
2. Dudkin K.V., Tkacheva V.V. and Bobyr' Yu.V. *Matematicheskoe modelirovanie trubchatykh gazovykh nagrevatelej dlya bezopasnogo nagreva vody v ob'eme so svobodnoj poverkhnost'ju* [Mathematical modeling of tubular gas heaters for safe water heating in the free-surface volume]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2011, iss. 62, pp. 166–170. (in Russian).
3. Irodov V.F. and Solod L.V. *Matematicheskoe modelirovanie i raschet infrakrasnogo trubchatogo gazovogo obogrevatelya* [Mathematical modeling and calculation of tube infrared gas heater]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2010, issue 52, pp. 130–132. (in Russian).
4. Dudkin K.V., Hatskevich Ju.V., Solod L.V. and Chernomorets G.Ja. *Mnogokonturnye trubchatye gazovye nagrevateli kak sredstva povysheniya bezopasnosti vozdušno-luchistogo otopleniya* [Multiloop tube gas heaters as a means of improving the safety radiant heating]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2011, issue 62, pp. 161–165.
5. Dudkin K. V., Irodov V. F. and Chornomorets H. Ya. *Prystrij dlia hazovoho opalennia : pat. 63793 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00* [Device for gas heating : pat. 63793 Ukraine (UA), Patent National Classification F24D 10/00]. Pridnpr. akad. bud-va i arhitektury [Prydniprov's'ka Academy of Civil Engineering and Architecture]. No. 02070772, 2011. (in Ukrainian)
6. Dudkin K. V., Irodov V. F., Chornoivan A.A. and Chornomorets H. Ya. *Prystrii dlia promenevoho obihrivu ta nahrivannia povitria : pat. 83403 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00* [Device for radiant heating and air heating : pat. 83403 Ukraine (UA), Patent National Classification F24D 10/00]. Dudkin K. V., Irodov V. F., Chornoivan A.A. and Chornomorets H. Ya. No. u201302556, 2013. (in Ukrainian)
7. Tkachova V.V. and Barsuk R.V. *Induktyvne modeliuвання trubchastoho hazovoho nahrivacha ta palnyka na pelletakh* [Inductive modeling of tubular gas heater and burner on pellets] *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2014, issue 78, pp. 275–281. (in Ukrainian).
8. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Matematychnе modeliuвання trubchastykh hazovykh nahrivachiv, roztashovanykh u budivelnnykh konstruktstviakh* [Mathematical modeling tube gas heaters located in building structures]. *Naukovy'j visnyk budivnytstva : Zb. nauk. prats* [Scientific Bulletin construction: Coll. Science works], 2012, issue 68, pp. 395–399. (in Ukrainian).
9. Taler D., Trojan M. and Taler J. *Mathematical modelling of tube heat exchangers with complex flow arrangement. Chemical and Process Engineering*. Cracow, Poland, 2011, pp. 7–19. (in English).

Рецензент: Дерев'янюк В. М., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 03.12.2018 р.