

УДК 669.162.231

О.В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук; с.н.с. ППМаш НАН України, Харків;
О.М. ЗАЄЦЬ, аспірантка НТУ «ХПІ»;
В.М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук; проф. НТУ «ХПІ»

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОНОСІЇВ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРА ДИМОВИХ ГАЗІВ

Для використання скидної теплоти димових газів доменних повітрянагрівачів запропоновано у якості теплоутилізатора використати металевий рекуперативний теплообмінник *U*-подібної форми для підігріву повітря горіння, що використовується для автономних систем опалення у регенераторах. Для створення розрахункової бази виконано моделювання температурних режимних параметрів доменних повітрянагрівачів, представлено методику і результати розрахунку динаміки зміни температури димових газів по довжині димового тракту блоку регенераторів, представлено результати теплотехнічних розрахунків теплоутилізатора.

Ключові слова: доменні повітрянагрівачі, гази, що відходять, теплоутилізатор, температура.

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді. На сьогоднішній день проблема раціонального використання енергоресурсів стала надзвичайно актуальною у зв'язку з їх високою вартістю. Відомо, що капітальні витрати на енергозбереження в 3–4 рази менше витрат на виробництво енергоносіїв. Тому заощадження енергоресурсів для України є пріоритетним напрямком, одним з важливих факторів забезпечення конкурентноздатності продукції на світовому ринку [1, 2]. Високотемпературні теплотехнологічні установки (ВТУ) різного цільового призначення є важливою складовою частиною технологічних комплексів таких енергоємних галузей промисловості як чорна та кольорова металургія, коксохімічна промисловість, промисловість будівельних матеріалів, тощо [2–4].

Як відомо, одним з найбільших споживачів енергоресурсів у гірничо-металургійному комплексі України є доменне виробництво [5, 6]. При модернізації діючих і при проектуванні нових агрегатів для виробництва чавуну, скла наукові задачі з енергозбереження можуть успішно вирішуватися за напрямком раціонального використання вторинних енергоресурсів у системах регенерації ВТУ, що потребує створення розрахункової бази на основі використання сучасних комп'ютерних технологій.

Виділення невирішеної частини загальної задачі. Питома витрата умовного палива при виплавці чавуну становить 610–615 кг умовного палива/т, з них 65–70 кг витрачається технологічними системами доменного виробництва на високотемпературний нагрів доменного дуття, що здійснюється у регенеративних апаратах з нерухомою вогнетривкою насадкою.

Нагрівання доменного дуття вимагає системного підходу для рішення різних проблем на стадіях проектування та експлуатації регенераторів. Для забезпечення температури дуття (1150–1250) °С рівень теплоти згоряння доменного газу є недостатнім, тому його збагачують висококалорійним газом. У той же час теплота димових газів, що відходять з регенераторів, з температурою, що сягає (250–350) °С, у даний час не використовується, що призводить до перевитрати палива на підприємствах України [7, 8]. Ефективність роботи доменних повітрянагрівачів, що є енергоємним обладнанням доменного виробництва, можна підвищити за рахунок утилізації теплоти

© О.В. Кошельник, О.М. Заєць, В.М. Кошельник, 2013

димових газів повітрянагрівачів. Складність їх розробок полягає у визначенні динаміки зміни температури димових газів, що виходять з насадки регенераторів у димовий тракт.

Формулювання цілей статті. Враховуючи можливість використання у одному блоці 3–5 регенераторів для нагрівання дуття, їх режими включення, зміну температури теплоносіїв у процесі нагрівання та охолодження різних типів теплоакumuлюючих елементів вогнетривкої насадки, необхідно створити методику і математичні моделі для визначення динамічних характеристик регенераторів, зміни витрати і параметрів димових газів по довжині димового тракту, що суттєво впливають на вибір конструктивних параметрів теплоутилізаційного обладнання для підігріву повітря горіння, що використовується для опалення регенеративних доменних повітрянагрівачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблему утилізації теплоти димових газів за доменними повітрянагрівачами досліджено у різній постановці у роботах Коршикова В.Д., Греса Л.П., Міленіної О.Є., Пліскановського С.Т. та ін. [8–12]. Зокрема, в роботах Греса Л.П. та Міленіної О.Є. наведені методики розрахунку впливу ряду параметрів теплоутилізаторів для доменних повітрянагрівачів. В [12] наведено схему децентралізованої системи утилізації теплоти димових газів, що відходить від повітрянагрівачів, для нагріву компонентів горіння, в роботі [13] висвітлено питання використання різноманітних утилізаторів теплоти димових газів.

Стосовно удосконалення методів і математичних моделей для розрахунку регенеративних апаратів різного конструктивного виконання та компановки для плавильних та нагрівальних печей слід відзначити цикл робіт, що виконані в останні роки в НТУ «ХП» при участі авторів статті. У якості об'єктів дослідження було обрано регенератори різної теплової потужності з нерухомою вогнетривкою насадкою, що входять у склад ВТУ різного цільового призначення, зокрема для коксових, скловарних печей. При цьому подальший розвиток одержали моделі, розроблені раніше на кафедрі теплотехніки НТУ «ХП» [14, 15].

Викладення основного матеріалу. З метою інтенсифікації доменного процесу й зниження питомої витрати дорогого й дефіцитного коксу повітря, що нагнітається в піч, підігрівають у регенеративних доменних повітрянагрівачах. Витрата дуття на 1 м³ корисного обсягу доменної печі становить від 2,2 до 2,6 м³/хв. На спалювання 1 т коксу витрачається приблизно 2880 м³ дуття. Холодне дуття по системі трубопроводів подається компресорами в регенеративні повітрянагрівачі, де воно нагрівається до (1150–1300) °С і змішується з холодним повітрям, витрата якого автоматично підтримується в залежності від заданої температури дуття.

Регенеративні повітрянагрівачі доменних печей призначені для високотемпературного нагрівання великих обсягів дуттьового повітря – до 9000 м³/хв. Вони мають досить великі габаритні розміри, висота сягає понад 50 м, а діаметр складає 8–9 м. Через періодичність роботи теплообмінників даного типу, для кожної доменної печі використовують декілька регенарторів, об'єднаних у блок (від трьох до п'яти). Найбільш часто використовуються доменні повітрянагрівачі з внутрішньою й виносною камерою горіння, їх загальний вид представлено на рис. 1.

Повітрянагрівач складається з камери горіння та насадкової камери. Теплоакumuлююча насадка повітрянагрівача являє собою покладені один на одного вогнетривкі фасонні блоки з каналами для проходження теплоносія. Насадка монтується на піднасадковому пристрої. Зовні повітрянагрівач закривається кожухом з низьколегованої сталі. Для зменшення теплових втрат використовується футеровка

вогнетривкими матеріалами та багатошарова ізоляція. Основним елементом є масивна вогнетривка насадка, загальна поверхня нагрівання якої може складати десятки тисяч квадратних метрів. Для нагрівання насадки регенератори мають автономну систему опалення, насадка обігривається продуктами горіння доменного газу або газовою сумішшю з добавкою висококалорійного коксового або природного газу для одержання заданої температури горіння. При переключенні ПН із газового періоду на повітряний припиняється подача палива до пальникових пристроїв і починається подача повітря через клапани холодного дуття в піднасадковий пристрій. Для стабілізації температури гарячого дуття використовують підмішування холодного повітря за допомогою спеціального клапана.

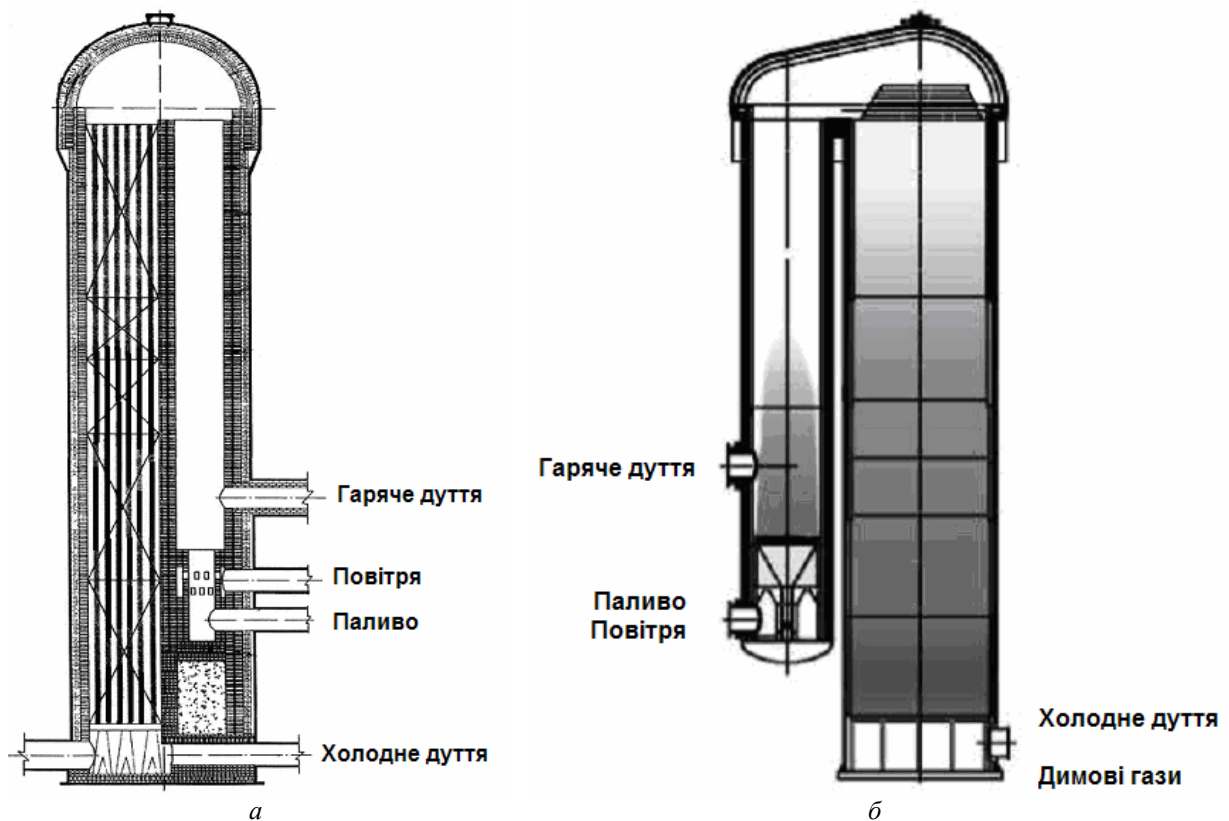


Рис. 1 – Конструкції повітрянагрівачів доменних печей:
 а – з внутрішньою камерою горіння; б – з зовнішньою камерою горіння

Таким чином цикл роботи регенератора складається з періодів нагрівання насадки, охолодження та переключення клапанів. Режим роботи повітрянагрівачів визначається сукупністю параметрів: витратою палива й розподілом його протягом газового періоду, температурою купола й температурою димових газів в піднасадковому пристрої, витратою дуття, часовим режимом, тобто тривалістю газового й дуттьового періодів, тривалістю періоду відокремлення, а також режимом дуття. При нагріванні насадки (газовий період) продукти горіння газу подаються зверху й, проходячи через канали насадки, нагрівають її. Температура продуктів горіння на вході у верхній частині насадки становить (1300–1450) °С. На виході ж з насадки їхня температура змінюється від (100–150) °С у початку нагрівання до 400 °С – наприкінці його. Цикл нагрівання дуття (дуттьовий період), коли повітря, що нагрівається, з

температурою (80–150) °С (холодне дуття) подається знизу в розігріту насадку й, проходячи через неї знизу нагору, нагрівається. Насадка при цьому охолоджується. У цей період температура дуття на виході з насадки змінюється: на початку періоду вона максимальна, потім температура зменшується й наприкінці періоду вона знижується на (150–200) °С.

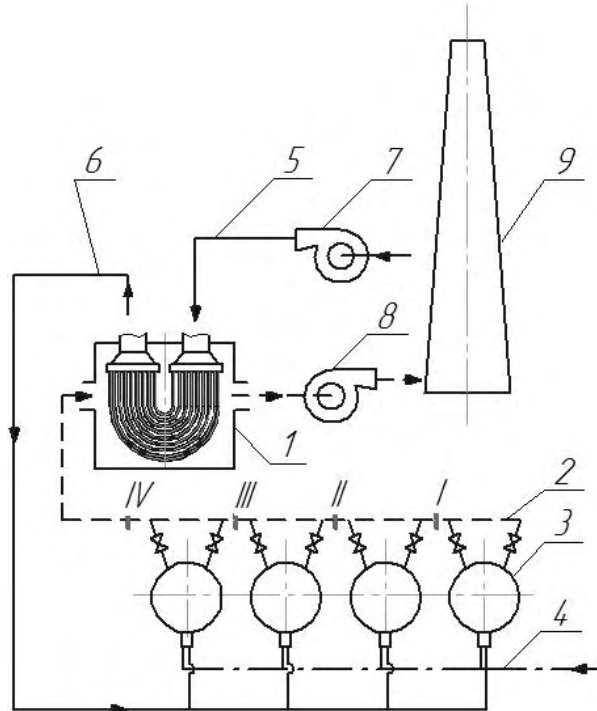


Рис. 2 – Спрощена схема утилізації теплоти димових газів блоку регенеративних доменних повітрянагрівачів:

- 1 – теплообмінник; 2 – газовідвідний тракт;
- 3 – повітрянагрівачі; 4 – підвід газу;
- 5 – підвід холодного повітря; 6 – відвід гарячого повітря;
- 7 – вентилятор; 8 – димосос; 9 – димова труба

В роботі розглянута можливість прогнозування зміни витрати і температури димових газів по довжині димового тракту блоку із чотирьох доменних регенераторів для отримання вихідних даних, що необхідні для проектування і вибору теплоутилізаційного обладнання для нагрівання повітря горіння що використовується для опалення регенеративних доменних повітрянагрівачів. Розглянуто послідовний режим включення чотирьох регенераторів при умові обмеження максимальної температури димових газів у піднасадочному пристрої до 400 °С. На рис. 2 зображена спрощена схема утилізації теплоти димових газів з метою нагріву холодного повітря, що подається в доменні повітрянагрівачі. На газовідвідному тракті блоку повітрянагрівачів вказані перерізи I–IV, що розглядалися нами в якості потенційного місця розташування теплоутилізатора та представлено

обране місце установки теплоутилізатора, виходячи з результатів досліджень.

Для виконання теплотехнічних розрахунків теплоутилізатора необхідно визначити витрату та динаміку зміни температури димових газів у газовому тракті регенераторів, що пов'язано з циклічністю процесів нагрівання-охолодження вогнетривкої насадки. Таким чином, для цього необхідно створити математичну модель, що більш точно враховує конструктивні і експлуатаційні характеристики доменних регенераторів при умові технологічних обмежень та особливостей їх роботи.

Особливості регенеративного теплообміну при різних спрощеннях вирішували багато дослідників: В. Хейлігенштедт, А. Шак, Х. Хаузен, І.Д. Семікін, Е.М. Гольдфарб, У.Н. Тимофєєв, Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкін та ін. [16]. Застосування обчислювальної техніки та чисельних методів дозволило розглянути ряд практичних завдань стосовно доменних повітрянагрівачів, які мають автономне опалення, конструктивно відрізняються від регенераторів інших плавильних печей й значні габаритні розміри. Ефективність математичного моделювання пов'язана з розробкою універсальних математичних моделей й обчислювальних комплексів, що враховують можливо більшу кількість факторів, що впливають на протікання робочих процесів в теплоакумуючій насадці регенераторів. У даній роботі запропонована уточнена

математична модель регенератора для визначення динаміки зміни параметрів повітря і димових газів для доменного повітрянагрівача, реалізація якої заснована на використанні можливостей сучасних комп'ютерних технологій. При цьому подальший розвиток одержали моделі, розроблені з використанням ряду допущень й обмежень [14, 17–18].

Система диференціальних рівнянь, що описує процес теплообміну в насадці регенеративних теплообмінників, є досить складною, тому широке поширення отримали кінцево-різницеві методи, за допомогою яких при великій кількості розрахункових елементів та часових кроків можна одержати достатньо високу точність розрахунків. З використанням кінцево-різницевого методу елементарних теплових балансів нами була створена математична модель для розрахунків регенеративних теплообмінників плавильних та нагрівальних та промислових печей, яку було адаптовано для розрахунків регенераторів доменних печей [18, 19]. На основі цієї математичної моделі розроблено методику та створено обчислювальний комплекс, призначений для дослідження роботи регенеративних теплообмінників при використанні насадок з різною формою каналів. Основним блоком програми є блоки розрахунків процесів конвективного і променистого теплообміну в каналах насадки.

Для проектування та для розрахунку регенераторів важливим є розподіл температур по висоті насадки і зміна температури теплоносіїв у каналах у циклі нагрівання-охолодження для визначення висот зон вогнетривів. Виходячи з цього, це дає можливість використати одновимірний спосіб описання і розрахунку теплообміну у каналах насадки. Тоді диференційне рівняння теплопровідності з граничними умовами

третього роду $\alpha(x, \tau, t_{\text{ст}})(t_{\text{ст}} - t) = \lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x}$ може бути представлено у вигляді

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = c(t) \rho(t) \frac{\partial t}{\partial \tau}. \quad (1)$$

Розподіл температур по висоті насадки та значення величин теплового потоку визначався за допомогою рівнянь Ньютона-Ріхмана та Фур'є. Розрахунковим елементом був обраний вертикальний канал, який створено по осям симетрії перерізу насадочного блоку і розбито по висоті насадки на n розрахункових елементів. Було складено і вирішено систему енергобалансу для всіх розрахункових елементів $i = n$ для кожного часового кроку j з інтервалом Δt у період нагрівання і охолодження

$$\sum_{i=1}^n Q_{i,j}^k = \Delta I_i. \quad (2)$$

Ліва частина рівняння (2) є сумою теплових потоків $Q_{i,j}^k$ через усі поверхні обраного розрахункового елемента, а права частина характеризує зміну тепловмісту матеріалу насадки. Значення температур насадки t , газу t^r та повітря t^n знаходяться як

$$t_{i,j+1} = t_{i,j} + A_1 \cdot [t_{i,j}^r - t_{i,j}] + A_2 \cdot [t_{i,j}^r - t_{i,j}] + A_3 \cdot [t_{i,j} - t_{i+1,j}]; \quad (3)$$

$$t_{i+1,j}^r = t_{i,j}^r - B_i [t_{i,j} - t_{i,j-1}]; \quad (4)$$

$$t_{i-1,j}^n = t_{i,j}^n + D_i \cdot [t_{i,j-1}^n - t_{i,j}]. \quad (5)$$

Допоміжні коефіцієнти A, B, D враховують геометричні характеристики та місце розташування окремих розрахункових елементів, теплофізичні властивості матеріалу і теплоносіїв, інтенсивність теплообміну у вертикальних каналах насадки.

Перевірка збіжності чисельного рішення виконувалась шляхом порівняння

різниці кількості акумульованої насадкою регенератора теплоти в поточному та попередньому розрахункових циклах.

Одним із основних блоків обчислювального комплексу є блок для визначення коефіцієнтів складного теплообміну в теплоакумулюючих елементах насадки. Передбачено можливість розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі конвекцією при використанні різних типів насадок і каналів, рівномірність температурного поля по товщині насадки врахована введенням коефіцієнта масивності. Значення коефіцієнтів тепловіддачі конвекцією для кожного розрахункового елемента в часі визначали з використанням відповідних критеріальних рівнянь. Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням розраховували для газового періоду з обліком наведеної випромінювальної здатності $\bar{\epsilon}_r$ і $\bar{\epsilon}_{ст}$, враховуючи вплив додаткового відбиття й опромінення, температури газу $\vartheta = t_{i,j}^c$ і температури стінки каналу $T_{ст} = t_{i,j}$ за формулою:

$$\alpha_{л} = \frac{C_s}{\vartheta - T_{ст}} \left[\bar{\epsilon}_r \cdot \left(\frac{\vartheta}{100} \right)^4 - \bar{\epsilon}_{ст} \cdot \left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 \right], \quad (6)$$

де C_s – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

При розрахунку газового періоду використали сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та випромінюванням

$$\alpha_c = \alpha_k + \alpha_{л}, \quad (7)$$

але у період нагрівання повітря випромінювання не враховували.

На підставі створеного алгоритму було розроблено універсальну математичну модель доменного повітрянагрівача та створено програмний комплекс для моделювання теплових режимів з урахуванням їх послідовного та паралельного включення. Основні результати розрахунку: значення коефіцієнтів тепловіддачі, динаміка зміни розподілу температури вогнетривів по висоті насадки в режимах нагрівання й охолодження, зміна температури димових газів і повітря та інші параметри, що характеризують квазістаціонарні теплові режими регенератора.

З використанням розробленої математичної моделі виконано дослідження послідовного режиму роботи блока доменних повітрянагрівачів з тривалістю режиму нагрівання – 2,9 год. і дуття – 1,0 год. Для розрахунку теплоутилізатора використано дані відносно зміни температури димових газів на виході із насадки регенератора T'' , що наведені в табл. 1 [20]. В даному випадку середня температура димових газів становила за період $\bar{t} = 243$ °С.

Таблиця 1

Зміна температури димових газів в часі для одного повітрянагрівача

Час, τ_r , год.	0,088	0,879	1,758	2,636	2,9
Температура, T'' , °С	111	187	279	372	400

На рис. 3 показано характер зміни температури димових газів на виході із насадки повітрянагрівачів № 1–4 у послідовному режимі включення у процесах нагрівання вогнетривкої насадки з загальною тривалістю циклу 4 години.

За даними табл. 1 було визначено динаміку витрати димових газів і знайдено температури газів, що змішуються у газовому тракті для відповідних перерізів.

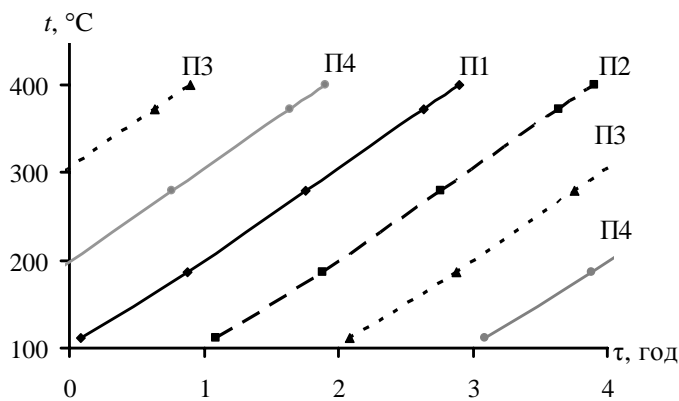


Рис. 3 – Динаміка зміни температури димових газів на виході насадки регенераторів

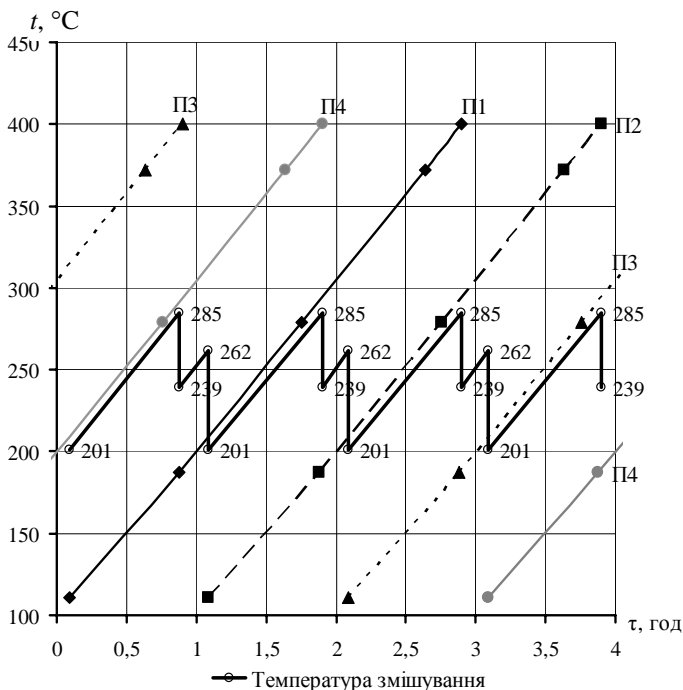


Рис. 4 – Зміни температури димових газів за цикл в IV перерізі димового тракту регенераторів

Витрату димових газів по тракту розраховували як суму витрат усіх працюючих в даний момент часу повітрянагрівачів у режимі нагрівання

$$V_{\text{сум,}\tau} = \sum_{i=1}^{n-1} V_{i,\tau} \quad (8)$$

Температуру димових газів можна визначити з урахуванням температур газових потоків від різних повітрянагрівачів, які змішуються по відповідним перерізам тракту без урахування зміни тиску за формулою

$$T_{\text{сум,}\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} T_{i,\tau} V_{i,\tau}}{\sum_{i=1}^{i=n-1} V_{i,\tau}} \quad (9)$$

Встановлено, що найменшими будуть коливання температури димових газів при роботі чотирьох повітрянагрівачів в IV перерізі тракту, тому запропоновано встановити теплоутилізатор по тракту за блоком регенераторів. На рис. 4 показано динаміку зміни температури димових газів відповідно у перерізі IV.

Отримані дані було використано для проведення теплотехнічних розрахунків величини поверхні теплообміну F та геометричних розмірів

теплоутилізатора. Вихідними даними для розрахунків є: витрата повітря $V_{\text{п}}$, та димових газів $V_{\text{г}}$, їх початкові температури $t'_{\text{п}}$ і $t'_{\text{г}}$, а також кінцева температура нагріву повітря $t''_{\text{п}}$.

Для заданих даних запропоновано обрати двохсекційний рекуперативний апарат. Основні параметри однієї секції якого наведені в табл. 2. Де z_2 та s_2 – число труб і крок між трубами за ходом руху продуктів згоряння, z_1 та s_1 – те саме, але в поперечному напрямку.

Секція рекуператора буде складатися з 320 трубок діаметром 57 і товщиною 3,5 мм. Крок між трубками (при коридорному розташуванні) складає: за напрямком руху продуктів згоряння $s_2 = 90$ мм, в поперечному напрямку $s_1 = 150$ мм. Число трубок за напрямком руху продуктів згоряння $z_2 = 16$, в поперечному $z_1 = 20$. Блок буде

складатися з двох секцій із загальною площею теплообміну 578 м².

Таблиця 2

Конструктивні характеристики теплоутилізатора

$F, \text{ м}^2$	Площа прохідного перерізу (за напрямом руху), м ²		$d_{\text{зовн}}, \text{ мм}$	$\frac{z_2}{s_2}$	$\frac{z_1}{s_1}$	$R, \text{ мм}$
	повітря	димових газів				
289	0,63	7,7	57×3,5	$\frac{16}{90}$	$\frac{20}{150}$	1657

Висновок. Шляхом математичного моделювання досліджено динаміку зміни режимних параметрів регенеративних доменних повітрянагрівачів, встановлено діапазон зміни витрати та температури димових газів по тракту для послідовного включення блоку, що складається із чотирьох апаратів. Виконано теплотехнічні розрахунки теплоутилізатора з U-подібною формою теплообмінної поверхні для нагрівання повітря горіння за рахунок скидної теплоти димових газів.

Список літератури: 1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали [Текст]: в 2-х т. / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с. 2. Ключников, А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения [Текст] / А.Д. Ключников. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с. 3. Перелетов, И.И. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки [Текст] / И.И. Перелетов, Л.А. Бровкин, Ю.И. Розенгарт. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с. 4. Троянкин, Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных установок [Текст] / Ю.В. Троянкин. – М.: МЭИ, 2002. – 324 с. 5. Большаков, В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки [Текст] / В.И. Большаков. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с. 6. Брагинский, А.М. Интегрированные энергосберегающие технологии в производстве чугуна [Текст] / А.М. Брагинский. – Х.: Коллегиум, 2011. – 380 с. 7. Грес, Л.П. Высокотемпературный нагрев доменного дутья [Текст] / Л.П. Грес. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 492 с. 8. Энергосбережение в доменных воздушнонагревателях на основе утилизации оборотного дыма [Текст] / В.Д. Коршиков, И.Г. Бянкин, П.И. Кирьянов [и др.] // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1991. – № 7. – С. 98-100. 9. Анализ зависимостей давления насыщения водяного пара от температуры при расчётах температур подогрева компонентов горения воздушнонагревателей доменных печей [Текст] / Л.П. Грес, А.Е. Миленина, Н.И. Щурова // В кн. Металлургическая теплотехника: Сб. науч. трудов НМетАУ. – Днепропетровск: ПП Грек О.С., 2007. – С. 122-129. 10. Грес, Л.П. Расчеты охлаждения дымовых газов блока воздушнонагревателей доменной печи с системой утилизации теплоты при их движении в дымовой трубе [Текст] / Л.П. Грес, А.Е. Миленина // В кн. Металлургическая теплотехника: Сборник научных трудов НМетАУ. – Вып. 1(16). – Днепропетровск, 2009. – С. 72-79. 11. Грес, Л.П. Теплообменники доменных печей [Текст]: моногр. / Л.П. Грес, С.А. Карпенко, А.Е. Миленина. – Днепропетровск: Пороги, 2012. – С. 310-311. – ISBN 978-617-518-207-9. 12. Плискановский, С.Т. Оборудование и эксплуатация доменных печей [Текст] / С.Т. Плискановский, В.В. Полтавец. – Днепропетровск: Пороги, 2004. – С. 375-378. 13. Сорока, Б.С. Системы сжигания и теплоутилизационные устройства технологических печей: Современное состояние и мировые тенденции развития [Текст] / Б.С. Сорока // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 12. – С. 54-68. – ISSN 0235-3482. 14. Левченко, Б.А. Решение задачи регенеративного теплообмена на ЭВМ [Текст] / Б.А. Левченко, В.М. Кошельник // Энергетическое машиностроение. – Х.: ХГУ, 1974. – Вып. 17. – С. 19-24. 15. Левченко, Б.А. Математическое моделирование попарно-параллельного режима работы регенеративных воздушнонагревателей [Текст] / Б.А. Левченко, В.М. Кошельник // Энергетическое машиностроение. – Х.: Выща школа, 1976. – Вып. 21. – С. 41-45. 16. Шкляр, Ф.Р. Доменные воздушнонагреватели (конструкция, теория, режимы работы) / Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкин, С.П. Каштанова [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с. 17. Переходные процессы в насадках регенеративных теплообменных аппаратов с байпасом [Текст] / В.Л. Советкин, С. Швыдкий, Ф.Р. Шкляр, Ю.Г. Ярошенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 1973. – № 12. – С. 130-134. 18. Кошельник, В.М. Уточненная математическая модель доменного воздушнонагревателя. [Текст] / В.М. Кошельник, А.В. Кошельник // Вестник ХГПУ. – Х.: ХГПУ, 1999. – Вып. 49. – С. 15-20. 19. Кошельник, А.В. Математическая модель

многокамерных регенераторов плавильных агрегатов [Текст] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 1/2(25). – С. 51-54. **20.** Кошельник, О.В. Особливості визначення витрати та температури продуктів згорання у димовому тракті доменних повітрянагрівачів [Текст] / О.В. Кошельник, О.М. Заєць, В.М. Кошельник // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 50 (956). – С. 133-138. – ISSN 2079-3944.

Надійшла до редколегії 12.01.13

УДК 669.162.231

Прогнозування режимних параметрів теплоносіїв регенеративних доменних повітрянагрівачів для розрахунків теплоутилізатора димових газів [Текст] / О.В. Кошельник, О.М. Заєць, В.М. Кошельник // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 13(987). – С. 116-124. – Бібліогр.: 20 назв. – ISSN 2078-774X.

Для использования сбросной теплоты дымовых газов доменных воздухонагревателей предложено в качестве теплоутилизатора использовать металлический рекуперативный теплообменника U-образной формы для подогрева воздуха горения, который используется для автономных систем отопления в регенераторах. Для создания расчетной базы выполнено моделирование температурных режимных параметров доменных воздухонагревателей, представлена методика и результаты расчета динамики изменения температуры дымовых газов по длине дымового тракта блока регенераторов, представлены результаты теплотехнических расчетов теплоутилизаторов.

Ключевые слова: Доменные воздухонагреватели; отходящие газы; теплоутилизатор; температура.

To use the waste heat of blast stoves flue gases offered as utilizer to use U-shaped metallic recuperative heat exchanger for preheating of combustion air used for autonomous heating systems in regenerators. To create an accounting basis was made a blast stoves temperature regime parameters modeling, methods and results of the calculation of changes of temperature of flue gases along regenerator flue path, the results of thermal calculations of heat recovery unit were presented.

Keywords: Hot blast stoves; waste gases; heat recovery unit; temperature.