

О.В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ІПМаш НАНУ,
Харків,

М.М. ШАПРАНОВА, асп., НТУ «ХПИ»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЕНЕРАТОРІВ З НЕРУХОМОЮ НАСАДКОЮ ПОЛУМ'ЯНИХ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

Розглянуто комплекс заходів з підвищення енергоефективності регенераторів з нерухомою насадкою з урахуванням особливостей їх експлуатації разом з полум'яними скловарними печами безперервної дії.

Ключові слова: енергозберігаючі заходи, регенератор, полум'яна скловарна піч, насадка, параметри

Постановка проблеми в загальному вигляді. Незважаючи на своє понад столітнє існування і постійне удосконалення, скловарні полум'яні печі ванного типу досі характеризуються досить невисоким коефіцієнтом корисної дії (20 – 25 %), а питома витрата теплоти на виробництво скломаси складає від 3,5 до 12 ГДж/т в залежності від виду скла, конструкції та продуктивності печі [1]. Незважаючи на те, що скловарні печі обладнуються регенеративними або рекуперативними теплообмінними апаратами для високотемпературного нагріву повітря горіння, теплові втрати з газами, що відходять, становлять 25 – 40 % від загальних енерговитрат печей (без урахування витрат енергії на виробіток скломаси, живильники й ін.).

Основна частина скла виробляється у ванних плавильних регенеративних печах безперервної дії, які характеризуються розмаїттям конструкцій і режимних параметрів. Регенеративні печі з підковоподібним напрямом руху полум'я великої продуктивності (понад 250 т/добу) визнані найбільш енергоефективними серед полум'яних скловарних печей [2, 3].

Регенератори з нерухомою вогнетривкою насадкою мають високий коефіцієнт підігріву повітря, що призводить до значного зниження витрати палива і досягненню в робочій камері плавильної печі технологічно необхідних високих температур. Тому, незважаючи на громіздкість конструкції і циклічність роботи, регенератори одержали широке поширення в скловарних, доменних та коксових печах.

Збільшення ефективності теплообмінного апарату призводить до зростання температури повітря, що нагрівається, зменшення температури продуктів горіння та збільшення кількості тепла, що повертається в технологічний процес, відповідно зменшує витрату палива в полум'яній печі.

Зважаючи на тенденцію до здорожчання енергоносіїв, а саме природного газу, який є основним джерелом енергії в полум'яних регенеративних печах, питання посилення глибини рекуперації теплоти продуктів горіння в тепло-технологічному процесі скловаріння є на сьогоднішній день актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі аналізу робіт [3 – 5] можна зробити висновок, що підвищенню ефективності регенераторів скловарних печей приділяється не достатньо уваги, адже при експлуатації регенеративних теплообмінних апаратів існує енергетичний потенціал, який можливо використовувати.

Невирішена частина проблеми. Максимальна теоретична ефективність регенератора при використанні висококалорійного палива, тобто у разі нагріву лише повітря горіння, становить біля 80 % [1, 3]. Це пояснюється перевищенням маси і теплоємності димових газів над масою та теплоємністю повітря горіння. Сучасні регенератори з нерухомою вогнетривкою насадкою мають коефіцієнт корисної дії 50 – 62 % [2, 3]. Відповідно потрібен пошук методів, які б дозволили використати енергетичний резерв регенеративної системи з урахуванням експлуатаційних, технологічних умов скловарного виробництва.

Метою даної роботи є визначення на основі аналізу існуючих конструкцій регенеративних теплообмінних апаратів з нерухомою вогнетривкою насадкою найбільш перспективних шляхів щодо підвищення енергоефективності роботи системи регенерації теплоти димових газів скловарних печей.

Основна частина.

На рисунку наведено перелік заходів для підвищення ефективності роботи регенеративних теплообмінників скловарних печей. Розглянемо їх докладніше.

1. Зміна конструктивних характеристик регенератора.

Ефективність роботи насадки регенератора багато в чому залежить від її геометричних розмірів: об'єму, висоти, довжини і ширини поперечного перерізу, а також від співвідношення цих розмірів. Збільшення розмірів теплоакумулюючих насадок є першим кроком удосконалення регенераторів, який забезпечив значне підвищення температури нагрівання повітря.

Висота насадки має суттєве значення в конструкції і тепловій роботі регенераторів. Поверхня теплообміну, тривалість контакту теплоносіїв з теплоакумулюючою насадкою на пряму залежать від висоти регенератора, завдяки чому у більш високих насадках при інших сталих параметрах завжди досягається кращий підігрів теплоносія. З іншого боку надмірно високі насадки мають ряд недоліків. Вони створюють значний опір при проходженні теплоносіїв і для забезпечення необхідної тяги вимагають застосування більш високих димових труб або більшого розрідження димососа. Конструктивно збільшення насадки регенераторів у вертикальному напрямі обмежено з одного боку дзеркалом скломаси (або рівнем пальників у склепінні печі), з іншого – зростаючим рівнем капіталовкладень на побудову та експлуатацію при підземному заглибленні регенератора.

Збільшення регенератора в горизонтальній площині є недоцільним у зв'язку з тим, що веде за собою зміну перетину для проходу газів і, відповідно, відхилення швидкості газів і повітря від рекомендуємих оптимальних значень, забезпечених раніше. Також в багатьох випадках не існує можливості впровадження цього заходу унаслідок відсутності вільної прилеглої території на підприємстві.

При очевидній необхідності збільшення об'єму насадки і неможливості його нескінченного збільшення виникає питання визначення її оптимального об'єму. В роботі [3] представлена спрощена методика визначення об'єму насадки для регенераторів скловарних печей в залежності від питомого зйому скломаси, площі варильної частини печі, питомої витрати теплоти на варіння 1 кг скла, температури димових газів на виході з насадки.

Розділення регенераторів на секції. Робота вертикальних регенераторів поліпшується при розділенні їх на окремі секції відповідно розташуванню і кількості пальників в печі. Для регулювання температур і тиску в кожній секції встановлюють поворотні шибери. При руйнуванні секції регенератора відключається тільки відповідний пальник, змінюється насадка, що істотно не впливає на режим роботи печі.

Таким чином, секційні вертикальні регенератори мають деяку перевагу у порівнянні з регенераторами із загальною камерою: дозволяють замінювати насадки без порушення роботи печі, регулювати кількість повітря і газу, що подається окремо на кожен пальник, мають більш високий коефіцієнт струнності, відповідно, більш рівномірний розподіл теплоносіїв по перетину насадки, і тому дозволяють створювати більш високу температуру підігріву пові-

тря (за даними [6] на 100 – 150 °С). Бажано, щоб коефіцієнт стрункості насадки дорівнював 2,2 – 2,5 і більше [3, 4].



Рисунок – Заходи щодо підвищення ефективності роботи регенеративних теплообмінників скловарних печей

Застосування багатокамерних регенераторів. Значною перевагою багатокамерних регенераторів порівняно з однокамерними є збільшення об'єму насадки за однакового коефіцієнта стрункості i , відповідно, зростання температури нагріву повітря, зменшення механічного навантаження на нижні ряди вогнетривів в 2 – 4 рази, а також можливість організації руху димових газів і повітря з оптимальною швидкістю шляхом установки в гарячій та холодній камерах регенератора різнотипних насадок з відповідними геометричними характеристиками. При застосуванні в скловарній печі багатокамерних регенераторів енергоспоживання може бути знижено до 15 % в порівнянні з аналогічною піччю зі звичайними однопрохідними регенераторами [1].

Недоліком багатокамерних регенераторів є висока температура в піднасадочному пристрої гарячої камери, більша площа фундаменту і підвищений аеродинамічний опір, що в окремих випадках може викликати необхідність установки димососу. Більш детально переваги і недоліки багатокамерних регенераторів в різному виконанні з їхніми конструкційними і режимними особливостями розглянуто в роботах [3, 4].

2. Зміна геометричних параметрів насадки.

Серед параметрів теплоакуючої насадки можливо варіювати гідравлічним діаметром каналу для проходу повітря і димових газів, товщиною насадкових вогнетривів, а також змінювати їх профіль у разі використання фігурних блоків.

Зменшення гідравлічного діаметру каналу при незмінній товщині вогнетривів призводить до зростання питомої площі поверхні теплообміну, температури підігріву повітря і зниження витрати палива, але при цьому одночасно зростають маса вогнетриву в насадці, її вартість, швидкість газів і повітря, аеродинамічний опір регенераторів, температура вогнетривів у верхній частині насадки, скорочується її строк служби через осадження розплавлених часток шихти та забруднення насадки пилом. Для тривалої експлуатації регенераторів без періодичного чищення насадки рекомендується забезпечити відносну площу перетину для проходу газів у верхній частині регенератора не менше 0,7, а в середній і нижній – не менше 0,55 – 0,65 [7].

Зменшення товщини насадкової цегли веде до збільшення поверхні теплообміну, площі перетину для проходу газів і температур у верхній частині насадки, зниження витрати палива, маси вогнетривів в насадці. Однак із зменшенням товщини збільшується вартість вогнетривких виробів, знижується будівельна міцність насадки, верхні ряди насадки можуть оплаватися. При-

пустимо і рекомендується використовувати в насадках цеглу товщиною не менше 40 мм [7].

Також при зменшенні діаметру каналу для проходу теплоносіїв і товщини насадкового вогнетриву скорочується тривалість міжремонтної робочої кампанії регенераторів через посилену хімічну корозію (перша камера насадки по ходу течії димових газів), що пов'язано з осадженням в насадці винесеного шихтового пилу і зростанням максимальної температури поверхні вогнетриву.

Використання насадки з розвинутою поверхнею нагріву. Серед поширених способів кладки теплоакumuлюючої насадки можна виділити насадки Каупера, незміщену Сіменса, Сіменса зі зміщеними рядків та Ліхте. Найбільш ефективною з точки зору теплової ефективності є насадка Ліхте, тому що саме в такому типі насадки найбільш розвинута питома поверхня теплообміну. Така насадка дозволяє збільшити температуру нагрівання повітря в 1,6 разів у порівнянні з насадкою Каупера, на 14 % у порівнянні з насадкою Сіменса з незміщеними рядами і на 10 % у порівнянні з насадкою Сіменса зі зміщеними рядами [7]. Збільшення поверхні теплообміну в насадці Ліхте досягається за рахунок додатково відкритих торцевих вертикальних поверхонь цегли, які можуть бути викладені в рівень з сусідніми стінками або виступаючими в канал.

Конструкційною особливістю насадки Сіменса є майже повністю відкриті поздовжні сторони вогнетривких цеглин. Також вона викликає деяку турбулізацію потоку газу, що підвищує коефіцієнт тепловіддачі між газом і поверхнею теплоакumuлюючої цегли, але при цьому дещо збільшується аеродинамічний опір. Насадки Сіменса з суцільними каналами та зі зміщеними мають однакову поверхню контакту теплоакumuлюючих матеріалів з газами, але в останній спостерігається більш інтенсивне обтікання газами сторін цегли, що обумовлює її підвищений коефіцієнт теплопередачі. Однак в той же час вона більшою мірою піддається засміченню. Важливу роль для насадки Сіменса має відстань між рядами насадки, в той час як висота цегли має другорядне значення. Величина коефіцієнта теплопередачі досягає максимуму при відношенні відстаней між рядами цегли до товщини каменю від $1/3$ до $1/5$ і зменшується із збільшенням цього відношення [5].

Однією з позитивних відмінностей насадок Сіменса і Ліхте від Каупера є більш стабільна їх працездатність за рахунок сполучення вертикальних каналів в горизонтальному напрямку. Тому при засміченні окремої ділянки кана-

лу він повністю не перекривається і все одно бере участь в процесі теплообміну. Такі насадки мають менший питомий об'єм цегли, дозволяють підвищити температуру повітря горіння, збільшити кількість переданої від димових газів до повітря теплоти. Тут більш повно використовується акумулююча здатність їх вогнетривкого матеріалу, але вони програють насадці Каупера за стійкістю.

Насадки з фасонних плавнелитих вогнетривів характеризуються водночас розвиненою поверхнею нагріву і достатньою стійкістю, більшим коефіцієнтом акумуляції, проте більш високою вартістю блоків, деякі види їх мають конструктивні елементи для турбулізації потоку газів. Серед плавнелитих формованих вогнетривів найбільш розповсюджені хрестоподібні й чашкові. Вони мають гладку поверхню, виконані з матеріалів стійких одночасно до термічного і хімічного впливу агресивних речовин в димових газах, і забезпечують істотно менше падіння ефективності регенераторів протягом робочої кампанії печі. Коефіцієнт теплопередачі в порівнянні із звичайними насадками значно вище при незначному збільшенні втрат тяги в насадковій камері.

Використання насадки Сіменса, Ліхте за даними [1] зазвичай забезпечує ефективність регенератора на рівні 50 %, а за рахунок використання в насадках електроплавлених вогнетривів хрестоподібної форми можливо скорочення витрати палива в печах на 7 % в порівнянні з печами, оснащеними регенеративними насадками, виготовленими із звичайної вогнетривкої цегли.

Використання комбінованих насадок. Для регенеративних печей великої потужності з метою підвищення глибини рекуперації тепла, зменшення вартості і збільшення терміну служби насадки можна рекомендувати перехід від однорідних до складених в два-три яруси насадкок різного типорозміру. Такі насадки дозволяють забезпечити значне підвищення температури підігріву повітря (до 150 °С), економію палива (до 20 %) та подовження робочої кампанії регенератора [5, 7, 8].

3. Оптимальна швидкість теплоносіїв.

Ширина каналів регенеративного теплообмінника повинна забезпечувати максимально наближену до рекомендованої за розрахунками оптимальну швидкість руху теплоносіїв.

При значному відхиленні від цих значень повітря, що гріється, недоотримує теплову енергію, а продукти горіння відходять з підвищеною температурою.

При конструюванні регенераторів зазвичай приймають середню швидкість руху димових газів 0,3 – 1,5 м/с за нормальних умов. За дослідженнями [9] оптимальне співвідношення швидкостей димових газів до повітря складає 1,1, що відповідає коефіцієнту надлишку повітря 1,15.

Слід враховувати й температурне розширення газів і повітря, об'єм яких змінюється по висоті регенератора в 2 – 3 рази. Оптимальною дійсною швидкість руху димових газів в насадках регенераторів за розрахунками і аналізом роботи регенераторів різних печей [3, 4] вважають $3 \pm 0,5$ м/с. Якщо швидкість руху продуктів горіння значно вище рекомендованої, то стійкість насадки погіршується, цегла оплавляється, в наслідок чого канали заростають. В теплоенергетичному аспекті таке перевищення швидкості призводить не тільки до перевищеного аеродинамічного опору і втрати тиску, але й, незважаючи на збільшення коефіцієнту тепловіддачі, веде до скорочення кількості переданого тепла, оскільки тривалість перебування теплоносіїв в регенераторі стає недостатньою.

Оптимальна швидкість теплоносіїв повинна бути забезпечена живим перерізом, що відповідає витратам повітря і газу в печі, що можливо виконати тільки при будівництві чи капітальному ремонті регенераторів.

4. Забезпечення рівномірного аеродинамічного розподілу теплоносія по живому перетину насадки.

Важливе значення для ефективності роботи і стійкості насадок, рівня нагріву повітря має розподіл руху газів і повітря за поперечним перерізом насадок: чим рівномірніше поле швидкості, тим інтенсивніше протікає процес теплообміну, повніше використовується теплота газів, що відводяться, і об'єм насадок [7]. Порядок величин можна оцінити за таким прикладом. Для скловарної печі продуктивністю 90 т/добу (висота насадки 6 м, довжина 3,7 м, ширина 2,2 м) різниця між максимальною і мінімальною температурами димових газів і повітря у верхньому перетині насадки становила за даними [3, 5] близько 100 °С, в нижньому перетині для димових газів – 150 °С, а для повітря – 180 °С. Приблизно такий саме характер розподілу температур спостерігається для інших склотарних печей [3].

При ремонті регенераторів можливо реалізувати заходи, спрямовані на вирівнювання за перерізом насадки розподілу потоків димових газів і повітря, шляхом виконання ступінчастими кількох верхніх рядів, профілювання каналів, що підводять гази і повітря до насадки, зі зменшенням площі перерізу по ходу їх руху над насадкою і під нею. До недоліків можна віднести мож-

ливість виконання таких заходів тільки при капітальному ремонті регенераторів.

5. Періодична продувка регенераторів стисненим повітрям.

Періодична продувка регенераторів стисненим повітрям для очищення від осілого шихтового пилу дозволяє зменшити їх аеродинамічний опір.

Це дає можливість не створювати в печі більш глибокий вакуум, що призводить до зменшення підсосів холодного повітря в робочій простір печі і відповідно знижує витрату палива.

Винос шихти і краплин скломаси зазвичай залежить від конструкції полум'яної печі, швидкості газів і висоти пальників над рівнем скломаси.

6. Теплова ізоляція регенераторів.

При накладенні достатньої теплової ізоляції на огорожувальну поверхню регенераторів економія у витраті палива складає 5 – 7 %. Температура зовнішньої поверхні ізоляції в такому випадку становить 70 – 80 °С [11].

В [10] запропонована методика розрахунку оптимальної товщини одното двошарової теплової ізоляції для регенераторів.

Відзначається, що при використанні двошарової ізоляції і забезпеченні герметичності стін регенератора температура на її поверхні знижується до 60 °С, тим самим зводяться до мінімуму втрати тепла через зовнішні стіни регенератора.

Внутрішній шар ізоляції може бути виконаний з гранульованої мулліто-кремнеземної вати і зв'язувальної речовини (алюмоборфосфатний концентрат), зовнішній – з азбестоперлітової суміші і зв'язувальної речовини (алюмоборфосфатного концентрату або рідкого скла). Пропонується використання керамовермікулітових блоків, які забезпечують не тільки значне зменшення теплових втрат через стіни регенератора, але й можливість повторного використання блоків.

В [3] наведені дані по величині теплових втрат, які зафіксовані на скловарних печах з поперечним рухом полум'я продуктивністю 120 і 76 т/добу тарного безбарвного скла. Загальні втрати через зовнішню поверхню для регенераторів склали 1467 і 731 кВт, що відповідає 25 % і 16 % загальних втрат через огороження печей в цілому та 10,3 % і 8 % від теплової потужності печі відповідно.

Накладення багатошарової ізоляції, наприклад, у верхній частині стін регенератора, дозволило знизити питомі втрати тепла на 6 кВт/м² і довести їх до рівня 1 кВт/м² [3].

7. Забезпечення газощільності стін регенератора.

Важливим фактором при експлуатації системи регенерації є забезпечення мінімально можливого підсмоктування повітря, тому що значний надлишок повітря негативно впливає на теплову роботу печі. При використанні природного газу збільшення коефіцієнта надлишку повітря з 1,2 до 1,4 призводить до перевитрати 10 % палива [5]. Крім того, збільшення кількості кисню в димових газах веде до додаткового викиду шкідливих речовин, особливо оксидів азоту NO_x . Для зменшення підсосів повітря необхідно застосувати газощільну кладку склепіння і стін регенераторів, газоходів, а також їх захисну обмазку.

Для забезпечення задовільної герметичності під час кладки склепіння і стін регенератора використовують розчин на рідкому склі. Доцільно для кладки внутрішніх частин стін регенераторів і розділових стінок застосовувати спеціальні вогнетриви – так звану шпунтову динасову цеглу. Ця фасонна цегла має замкові з'єднання, розташовані уздовж стінки, які перешкоджають проході газу. З метою забезпечення кращої газощільності на регенераторах також може бути встановлено металевий кожух.

8. Оптимальна тривалість періодів нагріву і охолодження.

Величина коефіцієнту корисної дії регенератора, як і температура повітря, що надходить для спалювання природного газу, залежать від тривалості циклу регенераторів.

Причому, оптимальна тривалість інтервалу між переключеннями знаходиться в тісному зв'язку з товщиною насадкової цегли і типом насадки. Наприклад, для насадок Сіменса і Ліхте, в яких еквівалентна товщина цегли в насадці менша, ніж у насадки Каупера, оптимальний інтервал часу між перемиканнями регенераторів повинен бути коротшим.

Оптимальна з енергетичної точки зору тривалість періодів нагріву і охолодження повинна обчислюватися в залежності від прийнятої мінімально припустимої температури повітря, еквівалентної товщини цегли і типу насадки, яка задовольняє умовам підтримання раціонального теплового режиму в скловарній печі з урахуванням втрат тепла з нагрітим повітрям при перемиканні регенераторів. Автори робіт [8, 12] докладно висвітлюють результати досліджень за цим питанням.

9. Теплофізичні властивості вогнетривів насадки.

На тепловий опір насадки впливає еквівалентна товщина s_e , густина γ_B , теплоємність c_{pB} , коефіцієнт теплопровідності λ_B вогнетриву і тривалість пе-

ріодів нагріву й охолодження. Аналітично ця залежність виражається формулою (за Міхеєвим М.О.)

$$R_p = \frac{0,8}{c_{pB} s_e \gamma_B} + \frac{0,2 s_e}{\lambda_B \tau_{\text{ц}}},$$

де $\tau_{\text{ц}}$ – тривалість циклу роботи регенератора. Перший доданок характеризує ємність теплопоглинання, яка при збільшенні еквівалентної товщини зростає, а тепловий опір падає. Друга складова характеризує процес проходження теплового потоку в стінці насадки, зі збільшенням еквівалентної товщини вогнетриву тепловий опір насадки зростає.

В ідеалі густина, теплоємність і коефіцієнт теплопровідності вогнетриву повинні прямувати до нескінченності, а товщина вогнетриву наближатися до оптимального значення

$$s_{e.\text{опт}} = 2 \sqrt{\frac{\lambda_B \tau_{\text{ц}}}{c_{pB} \gamma_B}} = 2 \sqrt{a \tau_{\text{ц}}},$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$.

Розрахункові дослідження теплової роботи печі з насадками, виконаними з різних вогнетривких матеріалів, вказують на незначний вплив їхніх теплофізичних характеристик, таких як теплопровідність, теплоємність, густина, на енергетичні показники роботи печі [7]. На коефіцієнт теплопередачі в теплоакумуючій насадці ступінь впливу теплофізичних властивостей вогнетривів визначається в 20 – 30 %.

Висновки.

Таким чином, на основі аналізу робіт різних авторів, були виділені 9 груп заходів, спрямованих на підвищення ефективності роботи регенеративних теплообмінників скловарних печей. Під час робочої кампанії скловарних печей серед розглянутих вище енергозберігаючих заходів в регенеративній системі підігріву повітря можливо здійснювати такі як, забезпечення достатньої газощільності, теплової ізоляції склепіння і стін регенераторів, оптима-

льної тривалості періодів нагріву і охолодження, своєчасна продувка регенераторів стисненим повітрям. При модернізації регенераторів додатково можна змінювати тип насадки, діаметр каналів для проходу газів, товщину та вид вогнетриву. При проектуванні печей можливе урахування всіх вище розглянутих аспектів, що в кінцевому підсумку впливають на енерговитрати виробництва скла.

Всі ці рекомендовані способи повинні використовуватися в комплексі, а ті з них що мають більший вклад в енергоспоживання бажано застосовувати в першу чергу. Нажаль, за принципом суперпозиції їх одночасне застосування не дає алгебраїчної суми економічних ефектів при окремому впровадженні заходів. Всі вищеперелічені заходи дозволяють підняти ефективність регенеративних теплообмінників скловарних печей до 60 – 62 %, що відповідає рівню ефективності роботи в найсучасних печах.

Як один із способів підвищення ефективності роботи регенераторів скловарних печей при збереженні існуючих габаритів можна розглядати використання в якості насадки теплоакумуючих елементів з фазовим переходом, які знайшли застосування на геліостанціях [13, 14], в доменному виробництві для стабілізації температури дуття [15]. Але це потребує вирішення питання вибору конструкції теплообмінників, типу теплоакумуючого матеріалу. Застосування різноманітних матеріалів для насадки вимагає розробки надійних конструктивних рішень, спрямованих на максимальне використання позитивних якостей теплоакумуючих елементів і виключення їхніх недоліків.

Таким чином, необхідно проведення додаткових досліджень з метою встановлення доцільності використання матеріалів зі схованою теплотою плавлення в системах регенерації теплоти за умов, характерних при експлуатації полум'яних скловарних печей.

Список літератури: 1. Справочник по наилучшим доступным техническим методам использования энергоресурсов в стекольной промышленности: Производство сортового и тарного стекла [Электронный ресурс] / ООО Эколайн. – М., 2005. – 30 с. Режим доступа: http://www.14000.ru/projects/glass/BAT_in_Energy_use.pdf. 2. Сравнение энергоэффективности стекловаренных печей [Электронный ресурс] / ООО Эколайн. – М., 2006. – Режим доступа: <http://www.14000.ru/projects/glass/Benchmarking.pdf>. 3. Козлов А.С. Теплотехника регенеративных стекловаренных печей / А.С. Козлов. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 144 с. 4. Гойхман В.Ю. Печная теплотехника в производстве стекла: техн. пособие / В.Ю. Гойхман, В.Н. Руслов, В.А. Костыря. – Х. : Факт, 1997. – 288 с. – ISBN 966-7099-18-0. 5. Товажнянский Л.Л. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – 630 с. 6. Булавин И.А. Тепловые процес-

сы в технологии силикатных материалов / [И.А. Булавин, И.А. Макаров, А.Я., Рапорт, В.К. Хохлов]. – М. : Стройиздат, 1982. – 248 с. **7.** Троянkin Ю.В. Реконструкция регенераторов промышленных печей с целью экономии топлива / Ю.В. Троянkin // Промышленная энергетика. – 2004. – № 6. – С. 22 – 25. **8.** Кошельник О.В. Вибір ефективних конструктивних та експлуатаційних параметрів регенеративних теплообмінників скловарних печей ванного типу / О.В. Кошельник // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 6. – С. 17 – 23. **9.** Самсонова А.А. Влияние режимных параметров на эффективность работы регенераторов стекловаренных печей / А.А. Самсонова, Г.П. Лисовская, В.Е. Маневич // Стекло и керамика. – 1986. – № 11. – С. 10 – 11. **10.** Засыпкин В.И. Оптимальная толщина тепловой изоляции горелок регенераторов стекловаренных печей / [В.И. Засыпкин, О.Н. Попов, В.В. Сидоров, Г.П. Лисовская] // Стекло и керамика. – 1988. – № 4. – С. 3 – 5. **11.** Волгина Ю. М. Теплотехническое оборудование стекольных заводов / Ю.М. Волгина. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат. – 1982. – 276 с. **12.** Самсонова А.А. Эффективность тепловой работы регенераторов / А.А. Самсонова // Стекло и керамика. – 1987. – № 6. – С. 17 – 18. **13.** Пат. 2057995 Российская Федерация, МПК⁶ F 23 L 15/02, F 24 H 7/00. Регенератор / Дидиер-Верке АГ (Германия). – № 5052337/06; заявл. 13.08.1992; опубл. 10.04.1996. – № конв. заявки: Р 4126646.3. **14.** Денисова А.Е. Оценка эффективности работы аккумуляторов теплоты в системах солнечного теплоснабжения / А.Е. Денисова, А.С. Мазуренко, А.И. Пономарь // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 3 (12). – С. 73 – 77. **15.** Грес Л.П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья: монография / Л.П. Грес. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 492 с.

Надійшла до редколегії 19.11.12

УДК 666.1.001.7

Підвищення енергоефективності регенераторів з нерухомою насадкою полум'яних скловарних печей / О.В. КОШЕЛЬНИК, М.М. ШАПРАНОВА // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 63 (969). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 54 – 66. – Библиогр.: 15 назв.

Рассмотрен комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности регенераторов с неподвижной насадкой с учетом особенностей их эксплуатации совместно с пламенными стекловаренными печами непрерывного действия.

Ключевые слова: энергосберегающие мероприятия, регенератор, пламенная стекловаренная печь, насадка, параметры

Discussed complex of measures to improve the energy efficiency of regenerators with the fixed matrix taking into account peculiarities of their operation with the flaming glass melting furnaces continuous operation

Keywords: energy-saving measures, regenerator, flaming glassmelter, fixed matrix, parameters