

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТРИВАЛОСТІ РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТОРІВ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

К.т.н., доц. Кошельнік О.В., Здоров І.В.
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків
 pishti2@ukr.net
 Науковий керівник: к.т.н., доц. Кошельнік О.В.

З метою ефективного використання теплоти димових газів за печами скловарного виробництва встановлюються регенеративні теплообмінні апарати з нерухомою вогнетривкою насадкою, які використовуються для нагрівання повітря горіння. Високотемпературний підігрів повітря в регенераторах значно підвищує температуру горіння палива в печі, що сприяє зростанню продуктивності печі та зниженню витрати органічного палива.

Процес роботи регенераторів характеризується яскраво вираженою періодичністю. Тому, важливим фактором, що впливає на ефективність їх експлуатації, є тривалість циклів нагрівання й охолодження. Спочатку теплообмінник працює на нагрівання насадки. Після того, як настає момент, коли насадка нагрівається до максимально можливої температури, здійснюється перекидання клапанів та в канали насадки регенераторів надходить холодне повітря. Відбувається процес віддачі теплоти повітрю, що нагрівається, а насадка при цьому остигає. Надалі цикл повторюється.

Для розрахунку оптимальної тривалості періодів роботи доменних регенеративних повітрянагрівачів τ_{opt} було запропоновано ряд формул, у яких ця величина виражається у вигляді залежності від початкової й кінцевої температур димових газів, температури насадки, теплофізичних властивостей насадки [1]. Для плавильних скловарних печей безперервної дії відсутні які-небудь обґрунтовані залежності, що дозволяють визначити оптимальний час циклу роботи регенеративних теплообмінників. Тривалість циклів нагрівання й охолодження для печей даного типу складає 30 хвилин при використанні насадок із вогнетривкої цегли та 25 хвилин для насадок із плавнелитих формових елементів [2, 3].

Метою даного дослідження є визначення оптимального часу циклів роботи для регенеративних теплообмінників скловарних печей, що забезпечує їх максимальну теплову ефективність.

Як критерій теплової ефективності розглядається величина кількості теплоти Q_T , що передається за цикл роботи теплообмінника $\tau_{\text{ц}}$ в піч із повітрям горіння. Її можливо розрахувати як

$$Q_T = V_{\text{пов}} \int_0^{\tau_{\text{ц}}} (c''_{\text{пов}} t''_{\text{пов}} - c'_{\text{пов}} t'_{\text{пов}}) dt, \quad (1)$$

де $V_{\text{пов}}$ – об'ємна витрата повітря на регенератор, м³/с; $c'_{\text{пов}}$, $c''_{\text{пов}}$ – теплоємність

повітря при початковій та кінцевій температурах, кДж/(м³ К); $t'_{\text{пов}}$, $t''_{\text{пов}}$ – температури повітря на вході в теплообмінник і гарячого повітря, що виходить з нього, °С; τ – час.

Сталий режим роботи регенератора описується балансом одержуваної теплової енергії та енергії, що віддається повітрю горіння без урахування теплових втрат, тобто:

$$Q_{\text{пов}} = Q_{\text{т}}. \quad (2)$$

Кількість теплоти можливо знайти як $Q_{\text{т}}$

$$Q_{\text{т}} = \int_0^{\tau_{\text{ц}}} V_{\text{т}} (c'_{\text{г}} t'_{\text{г}} - c''_{\text{г}} t''_{\text{г}}) dt, \quad (3)$$

де $V_{\text{т}}$ – витрата димових газів, що відходять; $c_{\text{г}}$ – теплоємності димових газів при початковій і кінцевій температурах, кДж/(м³·К); $t'_{\text{г}}$, $t''_{\text{г}}$ – температури димових газів на вході в теплообмінник і на виході з нього, °С.

Таким чином, необхідно визначити тривалість циклу $\tau_{\text{опт}}$, що відповідає подачі максимальної кількості теплової енергії в теплообмінник

$$Q_{\text{пов}} = \int_0^{\tau_{\text{ц}}} V_{\text{пов}} (c''_{\text{пов}} t''_{\text{пов}} - c'_{\text{пов}} t'_{\text{пов}}) dt \Rightarrow \max, \quad (4)$$

шляхом зміни значення величини $\tau_{\text{ц}}$ для теплового балансу у вигляді

$$\Phi = \int_0^{\tau_{\text{ц}}} [V_{\text{пов}} (c''_{\text{пов}} t''_{\text{пов}} - c'_{\text{пов}} t'_{\text{пов}}) - V_{\text{г}} (c'_{\text{г}} t'_{\text{г}} - c''_{\text{г}} t''_{\text{г}})] dt = 0 \quad (5)$$

і умов, що описують стан процесу:

$$t''_{\text{пов}} = t''_{\text{поа}}(\tau, \tau_{\text{ц}}); t''_{\text{г}} = t''_{\text{г}}(\tau, \tau_{\text{ц}}); c''_{\text{пов}} = c''_{\text{пов}}(t''_{\text{пов}}); c''_{\text{г}} = c''_{\text{г}}(t''_{\text{г}}). \quad (6)$$

Температури $t'_{\text{г}}$ і $t''_{\text{пов}}$ являють собою залежності для димових газів і повітря відповідно на виході з теплообмінника та можуть бути розраховані за допомогою математичної моделі процесів складного теплообміну в каналах насадки регенератора та обчислювального комплексу, створеного на її основі [4, 5].

З урахуванням цього завдання визначення оптимальної тривалості циклу $\tau_{\text{опт}}$ зводиться до пошуку максимуму функції теплової енергії, що поступає в скловарну піч, при відповідних рівняннях стану процесу. Для розрахунку даної величини може бути застосований будь-який метод пошуку екстремуму функції однієї змінної $Q_{\text{пов}} = Q_{\text{пов}}(\tau_{\text{ц}})$ у межах

$$\tau_{\text{цmin}} \leq \tau_{\text{ц}} \leq \tau_{\text{цmax}}, \quad (7)$$

де граничні значення $\tau_{\text{цmin}}$ і $\tau_{\text{цmax}}$ отримані з наявного досвіду експлуатації печей.

Список літератури:

1. Грес Л.П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья: Монография / Л.П. Грес. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 492 с.
2. Brunklaus H. Industrieofen. Bau und Betrieb / H. Brunklaus. – Essen: Vulkan-Verlag, 1994. – 800 s.
3. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном

производстве: Монография / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, В.М. КОШЕЛЬНИК, В.В. СОЛОВЕЙ, А.В. КОШЕЛЬНИК – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.

4. Кошельник А.В. Разработка математической модели регенеративных теплообменников систем энерго- и теплоснабжения высокотемпературных теплотехнологических агрегатов / А.В. Кошельник, Д.В. Лавинский, Е.В. Хавин, В.Г. Павлова // Вісник Національного технічного університету «ХПИ» – 2015. – № 16 (1125). – Тем. вип. «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування». – С. 116 – 124.

5. Кошельник О. В. Методика створення універсального обчислювального комплексу для моделювання регенеративних теплообмінників високотемпературних плавильних агрегатів / О.В. Кошельник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 2/3. – С 47 – 50.