

9. L. Wang, A. T. Tabereaux, N. E. Richards, "The Electrical Conductivity of Cryolite Melts Containing Aluminum Carbide", Light Metals (1994), 177-194.
10. X. Wang, R. D. Peterson, A. T. Tabereaux, "A Multiple Regression Equation for the Electrical Conductivity of Cryolite Melts", Light Metals (1993), 247-255.
11. M. Chrenková, V. Danek, A. Silný, T. Utigard, "Density, Electrical Conductivity and Viscosity of Low Melting Baths for Aluminium Electrolysis", Light Metals (1996), 227-232.
12. G. Choudhary, "Electrical Conductivity for Aluminum Cell Electrolyte between 950 -1025 °C by Regression Equation", J. Electrochem. Soc. (1973), Vol.120, No.3, 381-383.
13. Г.И. Щербань, И.Е. Лукошников, Д.В. Прутцков, И.Ф. Червоний, О.А. Позднякова. Контроль обратной ЭДС и общего сопротивления алюминиевого электролизера / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. - № 3/6 (51). – С. 14-17.

У роботі представлений термодинамічний аналіз ефективності циркуляційного способу нагріву пеку. Основним показником ступеня термодинамічної досконалості процесу є ексергетичний коефіцієнт корисної дії (ККД) $\eta_{екс}$

Ключові слова: ексергетичний ККД, пекове господарство, циркуляційний нагрів

В работе представлен термодинамический анализ эффективности циркуляционного способа нагрева пека. Основным показателем степени термодинамического совершенства процесса является эксергетический коэффициент полезного действия (к.п.д.) $\eta_{экс}$

Ключевые слова: эксергетический КПД, пековое хозяйство, циркуляционный нагрев

This paper presents a thermodynamic analysis of the effectiveness of the circulation method of heating the pitch. The main indicator of the degree of thermodynamic perfection of the process is the exergy efficiency (efficiency) η_{eks}

Keywords: exergy efficiency, pitch management, circulation heating

Вступ

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу є одним из напрямів термодинаміки і заснований на застосуванні поняття ексергії для дослідження досконалості процесів. Цей метод знаходить широке застосування при аналізі теплосилових і холодильних установок, агрегатів хімічних і металургійних виробництв [1]. Використання поняття ексергії дозволяє вирішувати широке коло технічних і техніко-економічних задач на основі єдиної, логічної, послідовно побудованої термодинамічної методики [2,3].

Оцінка термодинамічної досконалості теплових процесів має важливе значення. Термодинамічний

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО СПОСОБУ ПІДГРІВУ ПЕКУ У ЄМНОСТІ

УДК 621.1.016.7

І. Г. Яковлева

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: 067-612-04-26

E-mail: yakovleva@zgia.zp.ua

І. А. Назаренко

Асистент*

Контактний тел.: 099-704-96-36

E-mail: iranazarenko_81@mail.ru

Д. П. Кюрчева

Магістр

Контактний тел.: 097-620-02-27

E-mail: la_nina.ua@mail.ru

*Кафедра теплоенергетики

Запорізька державна інженерна академія
пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

аналіз окремого процесу теплової схеми в цілому дозволяє отримати найбільш повну інформацію про перетворення енергії, що відбуваються в цих процесах. З точки зору технічного застосування, цінність будь-якої енергії в системі визначається не тільки її кількістю, але й тим, якою мірою вона може бути в даних умовах використана [4].

Постановка задачі

В наступних дослідженнях планується вирішити такі задачі:

скласти ексергетичне рівняння балансу системи циркуляційного нагріву пеку;

визначити ексергетичний ККД системи та порівняти його з ексергетичним ККД при статичному нагріві;

на основі отриманих результатів визначити доцільність впровадження циркуляційного нагріву.

Результати досліджень

Раніше розглянуто [5] ефективність роботи дільниці зберігання пеку з використанням статичного нагріву в умовах ВАТ «Укрграфіт». Результати оцінки довели недосконалість такого способу нагріву. Ексергетичний ККД для розрахункових режимів склав 0,8 - 0,82. В результаті експлуатації пекового господарства спостерігається значна нерівномірність нагрівання пеку в ємності, а іноді - неможливість досягнення необхідної температури зберігання. Запропоновано [5] використання циркуляційного способу, який дозволяє значно скоротити час розігріву пеку та внаслідок ефективного перемішування в резервуарах забезпечити високу однорідність пеку. Для підтвердження запропонованого рішення треба виконати термодинамічний аналіз даного способу нагріву.

Основні дані, необхідні для проведення термодинамічного аналізу циркуляційного підігріву:

- температура пеку на початку розігріву T_{1n}, K ;
- температура пеку у кінці розігріву T_{1k}, K ;
- температура циркулюючого пеку на вході $T_{2вх}, K$;
- температура циркулюючого пеку на виході $T_{2вих}, K$;
- маса пеку у резервуарі $G_1, кг$;
- витрата циркулюючого пеку $G_2, кг/с$;
- час розігріву пеку $\tau, с$;
- температура навколишнього середовища T_0, K .

I Визначення суми ексергії пеку у резервуарі на початку розігріву і ексергії, що підводиться до резервуару.

1. Ексергія потоку пеку на вході у систему $E'_{2вх}, Вт$

$$E'_{2вх} = G_2 \cdot \left(c_{p,2вх} \cdot (T_{2вх} - T_0) - T_0 \cdot \left(c_{p,2вх} \cdot \ln \frac{T_{2вх}}{T_0} \right) \right), \quad (1)$$

де $c_{p,2вх}$ - середня теплоємність пеку при температурі

$$\overline{t_{2вх}} = 0,5 \cdot (t_{2вх} + t_0), \text{ } ^\circ C, \quad T_{2вх} = t_{2вх} + 273, \text{ } K.$$

2. Загальна кількість ексергії $E'_{2вх\tau}$, що підводиться до системи з циркуляційним пеком за час нагріву $\tau, Дж$

$$E'_{2вх\tau} = E'_{2вх} \cdot \tau \quad (2)$$

3. Ексергія пеку у резервуарі на початку процесу його розігріву $E'_{1п}, Дж$

$$E'_{1п} = G_1 \cdot \left(c_{p,1п} \cdot (T_{1п} - T_0) - T_0 \cdot \left(c_{p,1п} \cdot \ln \frac{T_{1п}}{T_0} \right) \right) \quad (3)$$

де $c_{p,1п} = 3,867 \cdot \overline{t_{1п}} + 1046,456, Дж/(кг \cdot K)$;

$$\overline{t_{1п}} = 0,5 \cdot (t_{1п} + t_0), \text{ } ^\circ C, \quad T_{1п} = t_{1п} + 273, \text{ } K.$$

4. До резервуару ззовні не підводиться теплоти, окрім як з потоком ексергії пеку, тому $E'_{qr} = 0$.

5. До резервуару потужність не підводиться, тому $L'_\tau = 0$.

6. Визначаємо суму ексергії, $Дж$

$$\sum E' = E'_{2вх\tau} + E'_{1п} + E'_{qr} + L'_\tau \quad (4)$$

II Визначення суми ексергії пеку у резервуарі у кінці розігріву і ексергії, що відводиться від резервуару.

1. Ексергія потоку пеку на виході з системи $E''_{2вх}, Вт$

$$E''_{2вх} = G_2 \cdot \left(c_{p,2вх} \cdot (T_{2вх} - T_0) - T_0 \cdot \left(c_{p,2вх} \cdot \ln \frac{T_{2вх}}{T_0} \right) \right) \quad (5)$$

де $c_{p,2вх}$ - середня теплоємність пеку при температурі

$$\overline{t_{2вх}} = 0,5 \cdot (t_{2вх} + t_0), \text{ } ^\circ C, \quad T_{2вх} = t_{2вх} + 273, \text{ } K.$$

2. Загальна кількість ексергії $E''_{2вх\tau}$, відведеної від системи з циркулюючим пеком за час нагріву $\tau, Дж$

$$E''_{2вх\tau} = E''_{2вх} \cdot \tau \quad (6)$$

3. Ексергія пеку у резервуарі у кінці процесу його розігріву $E''_{1к}, Дж$

$$E''_{1к} = G_1 \cdot \left(c_{p,1к} \cdot (T_{1к} - T_0) - T_0 \cdot \left(c_{p,1к} \cdot \ln \frac{T_{1к}}{T_0} \right) \right), \quad (7)$$

де $c_{p,1к} = 3,867 \cdot \overline{t_{1к}} + 1046,456 Дж/(кг \cdot K)$;

$$\overline{t_{1к}} = 0,5 \cdot (t_{1к} + t_0), \text{ } ^\circ C, \quad T_{1к} = \overline{t_{1к}} + 273, \text{ } K.$$

4. Від резервуару не відводиться корисно використане тепло, тому $E''_{qr} = 0$.

3. Від системи не відводиться потужність, тому $L''_\tau = 0$.

4. Сума ексергії, $Дж$

$$\sum E'' = E''_{2вх\tau} + E''_{1к} + E''_{qr} + L''_\tau \quad (8)$$

III Ексергетичний ККД системи

$$\eta_{екс} = \frac{\sum E''}{\sum E'} \quad (9)$$

За вищевказаною методикою проведено варіантні розрахунки для визначення залежності ексергетичного ККД для циркуляційного нагріву від наповнення

резервуарів. Проведено зіставлення результатів отриманих для статичного [5] та циркуляційного способів нагріву. Результати наведено на рисунку 1.

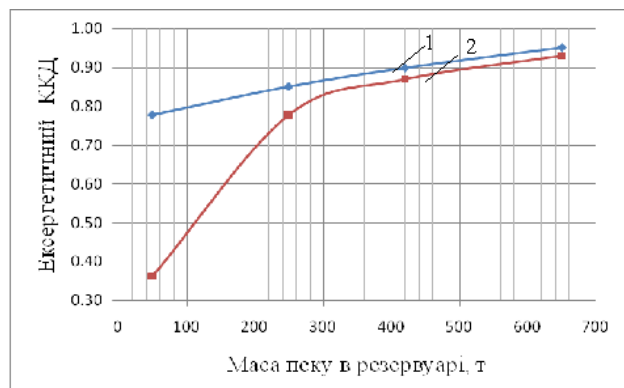


Рис. 1. Ексергетичний ККД в залежності від маси пеку в резервуарі: 1 – циркуляційний спосіб нагріву; 2 – статичний спосіб нагріву

Бачимо, що зі збільшенням пеку в ємності ексергетичний ККД збільшується, як для статичного так і для циркуляційного нагріву. При невеликій наповненості резервуарів (до 250т) спостерігається значна різниця між порівнювальними способами. При максимальному наповненні резервуарів різниця скорочується, але ефективність при циркуляційному способі нагріву

вища, т.я. значення ККД складає 0,95 проти 0,93 – для статичного.

Тому, можна рекомендувати проводити реконструкцію ділянки зберігання пеку з метою організації циркуляційного нагріву.

Висновки

Проведено розрахунок ексергетичного ККД для циркуляційного нагріву для середнього рівня наповненості ємності (350 т), який склав 0,88. Порівнявши його з розрахунковим значенням ККД для статичного нагріву [5] - 0,85, можна зробити висновок, що використання циркуляційного способу нагріву на даному виробництві є доцільним. Перехід на запропонований спосіб нагріву дозволить отримати наступні переваги:

1. підтримувати температуру пеку на заданому рівні (не менш ніж 185°C);
2. скоротити час нагріву, що призведе до економії теплоносія;
3. здійснити якісний нагрів, тобто забезпечити однорідність пеку. В наслідок чого скоротяться витрати на привід бітумних насосів для перекачування пеку.

Зважаючи на всі вище наведені переваги, підвищення ККД системи остаточно підтверджує доцільність переходу на циркуляційний нагрів.

Література

1. Бродянский, В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа [Текст] / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
2. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения [Текст] / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 286 с.
3. Эксергетические расчеты технических систем: справочное пособие [Текст] / под ред. акад. А.А. Долинского. – К.: Наукова думка, 1991. – 360 с.
4. Шаргут, Я. Эксергия [Текст] / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
5. Назаренко, И.А. Термодинамический анализ теплотехнологической схемы пекового хозяйства [Текст] / Назаренко И.А., Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. - Дніпродзержинськ, 2012. (подана до друку).