

І. Г. Яковлева, д-р техн. наук, проф.; І. А. Назаренко

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКУ НА ЧАС НАГРІВУ

Розглянуто питання, пов'язані з визначенням часу нагріву високотемпературного пеку при зберіганні його в резервуарах великої місткості. Складено тепловий баланс системи з одним резервуаром та одним підігрівачем пеку за циркуляційного способу нагріву. Визначено час нагріву пеку, який потрібен для підігріву пеку у резервуарі до заданого значення кінцевої температури t_k . Отримано залежність температури пеку від часу нагріву за різного наповнення резервуара та витрати пеку, що циркулює в контурі.

Вступ

Зберігання високотемпературного пеку здійснюється у резервуарах великої місткості. Оскільки температура зберігання такого пеку не має бути нижче 185°C , на виробництві пропонується використовувати циркуляційний нагрів, де теплоносієм є насичена пара. Для зменшення витрати пари необхідно виявити залежності між експлуатаційними характеристиками (температурою нагріву пеку, наповненістю резервуарів та витратою циркулюючого пеку в контурі) та часом нагріву.

Постановка задачі

Використовуючи комплексну методику розрахунку системи циркуляційного підігріву пеку у резервуарах пекових господарств [1, 2], виникла необхідність визначити режимні характеристики цієї системи, а саме час нагріву, який потрібен для підтримки заданої температури. Схема циркуляційного нагріву [3] зображена на рис. 1.

Розглядався резервуар (див. рис. 1) з початковими масою пеку в ньому M та його температурою t_x . З резервуара відводиться пек з витратою G_1 і температурою t в лінію циркуляційного підігріву. Частина цього пеку з витратою G_2 подається на технологію. Інша його частина ($G_1 - G_2$) нагрівається у зовнішньому циркуляційному теплообміннику. Температура пеку на виході з підігрівача $t_{\text{вих}}$ є постійною і рівною температурі $t_{\text{вх1}}$ його на вході у резервуар. У загальному випадку у резервуар також може подаватися пек з витратою G_3 , кг/с і температурою $t_{\text{вх3}}$, $^\circ\text{C}$, від іншого обладнання, а саме — злив із залізничних цистерн.

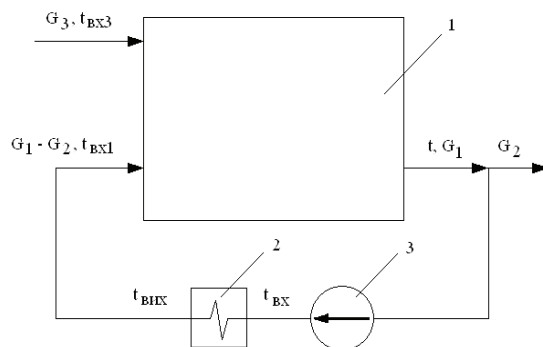


Рис. 1. Схема циркуляційного підігріву пеку у резервуарі: 1 — резервуар з пеком; 2 — підігрівач пеку; 3 — пековий насос

Зважаючи на те, що така система циркуляційного підігріву є системою з одним резервуаром та одним підігрівачем пеку, то вихідними даними під час розрахунку такої систем були:

- температура навколишнього середовища $t_{\text{н.с.}} = -22^\circ\text{C}$;
- коефіцієнт теплопередачі від пеку в резервуарі в навколишнє середовище $k'' = 0,406 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- площа поверхні резервуара $F = 440 \text{ м}^2$;
- питома теплоємність пеку $C_{\text{пек}} = 1767 \text{ кДж}/\text{кг}$ [4];
- початкова температура пеку в резервуарі $t_x = 180^\circ\text{C}$.
- витрата пеку, відведеного від резервуара в лінію циркуляційного підігріву, $G_1 = 10 \text{ кг}/\text{с}$;
- витрата пеку, що відводиться споживачу, $G_2 = 1,5 \text{ кг}/\text{с}$;
- витрата пеку від залізничних цистерн, $G_3 = 1,0 \text{ кг}/\text{с}$;
- температура пеку, що підводиться до резервуару від залізничних цистерн, $t_{\text{вх3}} = 180^\circ\text{C}$;
- температура пеку на виході з підігрівача (рівна температурі $t_{\text{вх1}}$ його на вході в резервуар).

рвуар), $t_{\text{вих}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Нехай $t_{\text{вх1}} = t_{\text{вих}} = \text{const}$; $t_{\text{вх3}} = \text{const}$.

Початкову масу пеку в резервуарі M будемо вважати змінною величиною для того, щоб проаналізувати вплив цього параметра на темп нагріву. Температура пеку, відведеного від резервуара в лінію циркуляційного підігріву, t є шуканою величиною.

Визначення часу нагріву пеку за змінних експлуатаційних характеристик

Складемо рівняння теплового балансу для пеку у резервуарі за проміжок часу $d\tau$. При цьому температура пеку у резервуарі підвищиться на dt [1].

1. Розглянута система складається з маси пеку, що надійшов у резервуар, $[G_3 + (G_1 - G_2)]d\tau$; маси пеку, відведеного з резервуара, $G_1d\tau$; маси пеку, що знаходився в резервуарі в момент τ , $M - \tau(G_2 - G_3)$.

2. У разі охолодження пеку масою $(G_1 - G_2)d\tau$ температура його змінилася від $t_{\text{вх}}$, до $t_{\text{вих}} = t + dt$, таким чином передано кількість теплоти

$$Q_{1,2} = c_{\text{пек}}(G_1 - G_2)d\tau \cdot (t_{\text{вх1}} - t - dt). \quad (1)$$

Пек масою $G_3 \cdot d\tau$ може віддавати теплоту, якщо $t_{\text{вх3}} > t + dt$, і отримувати теплоту, якщо $t_{\text{вх3}} < t + dt$. Обрано другий варіант, тобто $t_{\text{вх3}} < t + dt$ (при цьому інший випадок також міг бути врахований за рахунок зміни знака розглянутої кількості теплоти Q_3).

Таким чином, пек масою $G_3d\tau$ нагрівся, і температура його підвищилася від $t_{\text{вх3}}$ до $t_{\text{вих}} = t + dt$, при цьому він отримав кількість теплоти

$$Q_3 = c_{\text{пек}}G_3d\tau \cdot (t + dt - t_{\text{вх3}}). \quad (2)$$

Пек, що знаходився у резервуарі в момент часу τ , масою $M - \tau(G_2 - G_3)$ нагрівся від температури t до температури $t + dt$, при цьому він отримав кількість теплоти

$$Q = c_{\text{пек}}(M - \tau(G_2 - G_3))(t + dt - t). \quad (3)$$

За період часу $d\tau$ з резервуара у навколишнє середовище було передано кількість теплоти

$$Q_{\text{втрат}} = k^*Fd\tau \frac{t + t + dt}{2 - t_{\text{н.с.}}} \quad (4)$$

3. Складено рівняння теплового балансу за період часу $d\tau$

$$Q_{\text{пер}} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{втрат}}, \quad (5)$$

де $Q_{\text{пер}} = Q_{1,2}$; $Q_{\text{кор}} = Q_3 + Q$.

Таким чином, рівняння (5) набуде вигляду:

$$c_{\text{пек}}(G_1 - G_2)d\tau(t_{\text{вх1}} - t - dt) = c_{\text{пек}}G_3d\tau(t + dt - t_{\text{вх3}}) + c_{\text{пек}}(M - \tau(G_2 - G_3))dt + k^*Fd\tau \frac{t + dt}{2 - t_{\text{н.с.}}} \quad (6)$$

Розділивши (6) на $d\tau$, отримаємо:

$$c_{\text{пек}}(G_1 - G_2)(t_{\text{вх1}} - t - dt) = c_{\text{пек}}G_3(t + dt - t_{\text{вх3}}) + c_{\text{пек}}(M - \tau(G_2 - G_3))\frac{dt}{d\tau} + k^*F \frac{t + dt}{2 - t_{\text{н.с.}}} \quad (7)$$

Перейдемо у (7) до межі коли $d\tau \rightarrow 0$, при цьому $dt \rightarrow 0$:

$$c_{\text{пек}}(G_1 - G_2)(t_{\text{вх1}} - t) = c_{\text{пек}}G_3(t - t_{\text{вх3}}) + c_{\text{пек}}(M - \tau(G_2 - G_3))\frac{dt}{d\tau} + k^*F(t - t_{\text{н.с.}}). \quad (8)$$

Рівняння (8) є звичайним диференціальним лінійним рівнянням. Для знаходження його

розв'язку задано початкову умову для температури $t(0) = t_x$.

Отримано розв'язок рівняння (8)

$$t = \frac{(c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F)t_x - c_{\text{пек}}(G_3 t_{\text{вх3}} + (G_1 - G_2)t_{\text{вх1}})) + k''F t_{\text{н.с.}}}{c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F)} M^{\frac{c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F)}{c_{\text{пек}}(G_2 - G_3)}} \times$$

$$\times (M - \tau(G_2 - G_3))^{\frac{c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F)}{c_{\text{пек}}(G_2 - G_3)}} + \frac{c_{\text{пек}}(G_3 t_{\text{вх3}} + (G_1 - G_2)t_{\text{вх1}}) + k''F t_{\text{н.с.}}}{c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F)}. \quad (9)$$

Для спрощення записів введемо позначення:

$$\left. \begin{aligned} A &= c_{\text{пек}}(G_3 + (G_1 - G_2) + k''F); \\ B &= c_{\text{пек}}(G_3 t_{\text{вх3}} + (G_1 - G_2)t_{\text{вх1}}) + k''F t_{\text{н.с.}}; \\ C &= c_{\text{пек}}(G_2 - G_3). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Тоді (9) набуде вигляду

$$t = \frac{At_x - B}{A} M^{-A/C} (M - \tau(G_2 - G_3))^{A/C} + \frac{B}{A} = \frac{B}{A} - \frac{B - At_x}{A} \left(1 - \tau \frac{G_2 - G_3}{M}\right)^{A/C}. \quad (11)$$

Після перетворень (11) отримаємо:

$$\tau = \frac{M}{G_2 - G_3} \left(- \left[\frac{A}{At_x - B} \left(t_K - \frac{B}{A} \right) \right]^{C/A} + 1 \right) = \frac{M}{G_2 - G_3} \left[1 - \left(\frac{B - At_K}{B - At_x} \right)^{C/A} \right]. \quad (12)$$

Рівняння (12) використовувалося для визначення часу τ_K , необхідного для підігріву пеку у резервуарі до заданого значення кінцевої температури t_K .

Вищенаведені рівняння покладено в основу написання програми зі зміною таких основних експлуатаційних характеристик, як витрата пеку на технологію, витрата циркулюючого пеку, маса пеку, що постійно знаходиться в резервуарі протягом деякого часу.

Результати досліджень показано на рис. 2.

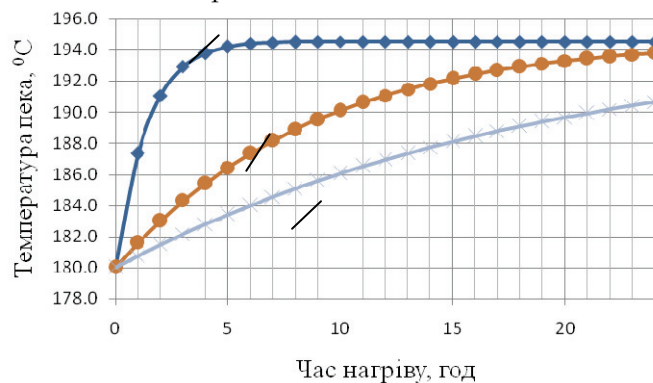


Рис. 2. Зміна температури пеку в часі: 1 — температура пеку при мінімальному заповненні резервуара $M = 50$ т; 2 — температура пеку при середньому заповненні резервуара $M = 300$ т; 3 — температура пеку при максимальному заповненні резервуара $M = 650$ т

Задані початкові умови відповідають поступовому зменшенню кількості пеку в резервуарі, тому що частина його виділяється на технологію. Одночасно до резервуара підводиться пек, що зливається з цистерн. Передбачається, що температура такого пеку буде нижчою температури нагріву пеку в ємності. Максимальна температура пеку може складати $194,5$ °C за мінімальному його заповненню та 194 °C — за заповнення резервуара на половину. Як впливає з графіка, мінімальна температура пеку 191 °C буде спостерігатися у разі повністю заповненого резервуара. Температура пеку, навіть за несприятливих умов роботи, не знижується нижче

допустимого — 185 °С. Аналіз отриманих результатів показує, що у разі заповнення резервуара з пеком нижче середнього нагрів до 194 °С можна здійснити за 5 годин, що дасть відчутну економію пари.

Також викликає інтерес питання, як впливає на температурне поле в резервуарі зміна витрати пеку в циркуляційному контурі. Дані досліджень показані на рис. 3.

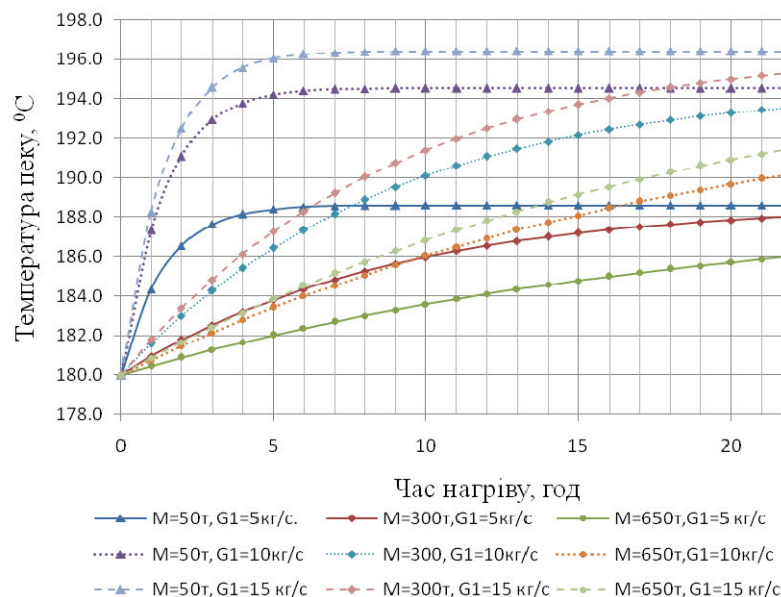


Рис. 3. Зміна температури пеку в часі за змінної витрати циркулюючого пеку та місткості резервуара

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що не тільки витрата циркулюючого пеку значною мірою впливає на температурне поле, але й наповнюваність ємності. З графіка випливає, що технологічно виправданою буде витрата циркулюючого пеку не менше 10 кг/с, при цьому необхідно, щоб кількість пеку, яка знаходиться в резервуарі, не перевищувала 350...400 т, що дозволить досягти мінімально допустимої температури пеку 190 °С вже за 10 годин нагріву.

Висновки

Підтверджено, що витрата циркулюючого пеку та наповненість ємності істотно впливають на час нагріву. Для організації ефективного нагрівання необхідно, щоб температура зберігання пеку була не менше ніж 190 °С, за витрати циркулюючого пеку 5 кг/с така температура не буде досягнута. Для зменшення експлуатаційних витрат рекомендовано не перевищувати наповненість ємності більше 400 т, а витрата пеку на циркуляцію має бути не менше ніж 10 кг/с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Назмеев Ю. Г. Теплоперенос и гидродинамика в системах хранения жидкого органического топлива и нефтепродуктов / Ю. Г. Назмеев. — М. : Издательский дом МЭИ, 2005. — 368 с.
2. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. — М. : Химия, 1987. — 496 с.
3. Ляндю И. М. Эксплуатация мазутного хозяйства котельной промышленного предприятия / И. М. Ляндю. — М. : Энергия, 1968. — 149 с.
4. Привалов В. Е. Каменноугольный пек / В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. — М. : Metallurgiya, 1981. — 387 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 23.07.12
Рекомендована до друку 23.10.12

Яковлева Ірина Геннадіївна — завідувач кафедри, **Назаренко Ірина Анатоліївна** — асистент.
Кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя