ЦУКОР УКРАЇНИ 12 (72)/2011

УДК 664.1.037

Моделювання впливу нерівномірності споживання пари вакуум-апаратами на роботу випарної установки

В.П. Петренко, *кандидат технічних наук, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій*
М.О. Прядко, *доктор технічних наук, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій*
В.О. Бойко, *асистент, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій*

Надані результати моделювання проходження концентраційних хвиль по корпусам випарної установки, як відгук на періодичний характер споживання пари вакуум-апаратами. Отримані відповідні розрахункові залежності, надана графічна інтерпретація результатів.

Представлены результаты моделирования прохождения концентрационных волн по корпусам выпарной установки, как отклик на периодический характер потребления пара вакуум-аппаратами. Получены соответствующие расчетные зависимости, представлена графическая интерпретация результатов.

The results of the concentration waves passage modeling through the stages of a multieffect evaporator as a response to the periodic character of the extra steam consumption of the vacuum pans have been presented. Respective calculation relations were obtained, the graphical interpretation of the results is given.

Коливання концентрації сиропу виникають при змінах витрати соку і його густини на вході у випарну установку (ВУ). Але і в процесі ритмічної роботи мають місце періодичні коливання концентрації сиропу різної інтенсивності, відповідно до циклів роботи вакуум-апаратів першої кристалізації. Як було показано в [1, 2], час проходження температурної хвилі при ступеневому збуренні, наприклад, вмиканні теплообмінного апарата, складає 1-2 хвилини на кожний випарний апарат, в той час, як період вирівнювання концентрації становить 20 – 30 хвилин в залежності від маси рідини у випарному апараті. Тому при аналізі руху концентраційних хвиль початковою паузою часу релаксації температурного напору можна знехтувати. Зі зростанням п'єзометричного рівня процес вирівнювання концентрації уповільнюється. Швидкість руху концентраційної хвилі по корпусам ВУ при нанесенні збурення буде різною, оскільки випарна установка укомплектована випарними апаратами з різною поверхнею та ємністю.

Відомо, що інтенсивність споживання пари вакуум-апаратами має специфічні періоди залежно від стадії уварювання утфелю. При цьому, графік споживання пари в рамках конкретного періоду має лінійної характер, якісна графічна апроксимація якого наведена на, **рис.1**,

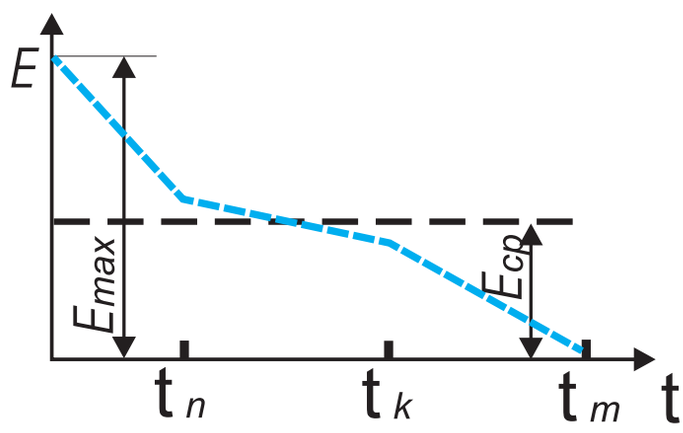

Рис. 1. *Характерний графік споживання пари вакуум-апаратами 1 кристалізації.*

Математично лінії на **рис.1** апроксимуються функціями:

$$E(\tau)=E_{max}\left[1-k_1\frac{\tau}{\tau_m}\right],\ \text{при}\ \tau<\tau_n,$$

$$E(\tau)=E_{max}\left[1-k_1\left(\frac{\tau_n}{\tau_m}\right)-k_2\left(\frac{\tau-\tau_n}{\tau_m}\right)\right],\ \text{при}\ \tau_n\le\tau<\tau_k, \qquad (1)$$

$$E(\tau)=E_{max}\left[1-k_1\left(\frac{\tau_n}{\tau_m}\right)-k_2\left(\frac{\tau_k-\tau_n}{\tau_m}\right)-k_3\left(\frac{\tau-\tau_k}{\tau_m}\right)\right],\ \text{при}\ \tau_k\le\tau<\tau_m.$$

У співвідношеннях (1): E_{max} – початкове, в момент включення вакуум-апарата в роботу, максимальне пароспоживання; k_1, k_2, k_3 – кутові коефіцієнти для прямих характерних режимів.

Границі зон характерних режимів τ_n, τ_k та загальний час уварювання τ_m змінюються в залежності від якості сиропів, поверхні теплообміну нагрівної камери, та температурного напору. Підбором Emax, τ_m, τ_n, τ_k, k_1, k_2, k_3 – можна добитися відповідності апроксимаційної кривої з дослідною для різних умов процесу уварювання утфелю.

Характер розподілу навантаження по корпусам ВУ буде залежати від того, з якого корпусу здійснюються відбори пари на вакуум-апарати. Якщо, наприклад, з третього, то в процесі руху температурної хвилі аналогічне навантаження отримує і 2, і 1 корпуси. Зі зміною температурного напору змінюється і навантаження випарних апаратів і, відповідно, концентрація по корпусам ВУ, як результат накладання концентраційних хвиль при русі розчину від корпусу до корпусу.

Оскільки, випарний апарат з багатократною циркуляцією наближений до реактора ідеального змішування, концентрація розчину в об'ємі апарата практично співпадає з вихідною. За даних умов математично залежність вихідної концентрації сиропу для довільного корпусу 5-ти корпусної ВУ $C_i(\tau)$ в разі споживання вакуум-апаратами вторинної пари 3 корпус ВУ виразиться системою рівнянь:

$$\begin{aligned}
M_1\frac{dC_1(\tau)}{d\tau}&=G_oC_o-(G_o-W_1-E(\tau))C_1(\tau)\\
M_2\frac{dC_2(\tau)}{d\tau}&=(G_o-W_1-E(\tau))C_1(\tau)-(G_o-W_1-W_2-2E(\tau))C_2(\tau)\\
M_3\frac{dC_3(\tau)}{d\tau}&=(G_o-W_1-W_2-2E(\tau))C_2(\tau)-(G_o-W_1-W_2-W_3-3E(\tau))C_3(\tau)\\
M_4\frac{dC_4(\tau)}{d\tau}&=(G_o-W_1-W_2-W_3-3E(\tau))C_3(\tau)-(G_o-W_1-W_2-W_3-W_4-3E(\tau))C_4(\tau)\\
M_5\frac{dC_5(\tau)}{d\tau}&=(G_o-W_1-W_2-W_3-W_4-3E(\tau))C_4(\tau)-(G_o-W_1-W_2-W_3-W_4-W_5-3E(\tau))C_5(\tau),
\end{aligned} \qquad (2)$$

де M_i – маса розчину в і-ому корпусі ВУ; G_o – витрата соку на ВУ; C_o – концентрація соку, що поступає на ВУ; W_i – випарена волога на іому корпусі ВУ ,без врахування навантаження на вакуум-апарати 1 кристалізації. $E(\tau)$ – парове навантаження на ВУ вакуум-апаратами 1 кристалізації, (співвідношення (1)).

Система рівнянь (2) може бути проінтегрована за допомогою степеневих рядів відповідно до кожної стадії уварювання утфелю. Наприклад, для 1 корпусу ВУ концентрація соку на виході $C_1(\tau)$ для відповідних періодів запишеться як

$$\begin{aligned}
C_1(\tau)&=a_o+a_1\tau+a_2\tau^2+\ldots+a_n\tau^n,\ \text{для періоду}\ \tau\le\tau_n,\\
C_1(\tau)&=A_o+A_1(\tau-\tau_n)+A_2(\tau-\tau_n)^2+\ldots+A_n(\tau-\tau_n)^n,\ \text{для періоду}\ \tau_n\le\tau\le\tau_k,\\
C_1(\tau)&=\alpha_o+\alpha_1(\tau-\tau_k)+\alpha_2(\tau-\tau_k)^2+\ldots+\alpha_n(\tau-\tau_k)^n,\ \text{для періоду}\ \tau_k\le\tau\le\tau_m.
\end{aligned} \qquad (3)$$

Початкові умови:

$$C_1(0)=C_o\frac{G_o}{G_o-W_1},\ C_1(\tau_n)=a_o+\sum_1^i a_i(\tau_n)^i,\ C_1(\tau_k)=A_o+\sum_1^i A_i(\tau_k-\tau_n)^i.$$

Підставивши (3) в (2) та порівнявши коефіцієнти при однакових степенях τ, $(\tau-\tau_n)$ та $(\tau-\tau_к)$, отримаємо залежність вихідної концентрації соку із 1 корпуса ВУ у вигляді (3). Коефіцієнти ряду набувають вигляду:

$$a_o = C_o \frac{G_o}{G_o - W_1};\ a_1 = b_{11} - a_o m_{11},\ a_2 = -\frac{K_{11}}{2} a_o - \frac{m_{11}}{2} a_1,\ a_n = -\frac{K_{11}}{n} a_{n-2} - \frac{m_{11}}{n} a_{n-1},$$

де $b_{11} = G_o \frac{C_o}{M_1},\ m_{11} = \frac{G_o - W_1 - E_{max}}{M_1},\ K_{11} = \frac{E_{max} k_1}{M_1 \tau_m}.$

$$A_o = a_o + \sum_1^n a_i (\tau_n)^i,\ A_1 = b_{12} - A_o m_{12},\ A_2 = -\frac{K_{12}}{2} A_o - \frac{m_{12}}{2} A_1,$$

$$A_3 = -\frac{K_{12}}{3} A_1 - \frac{m_{12}}{3} A_2,\ A_n = -\frac{K_{12}}{n} A_{n-2} - \frac{m_{12}}{n} A_{n-1},$$

де $b_{12} = G_o \frac{C_o}{M_1},\ m_{12} = \frac{G_o - W_1 - E_{max} + k_1 \left(\frac{\tau_n}{\tau_m}\right) E_{max}}{M_1},\ K_{12} = \frac{E_{max} k_2}{M_1 \tau_m}.$

$$\alpha_o = A_o + \sum_1^n A_i (\tau_k - \tau_n)^i,\ \alpha_1 = b_{13} - \alpha_o m_{13},\ \alpha_2 = -\frac{K_{13}}{2} \alpha_o - \frac{m_{13}}{2} \alpha_1,$$

$$\alpha_3 = -\frac{K_{13}}{3} \alpha_1 - \frac{m_{13}}{3} \alpha_2,\ \alpha_n = -\frac{K_{13}}{n} \alpha_{n-2} - \frac{m_{13}}{n} \alpha_{n-1},$$

де $b_{13} = G_o \frac{C_o}{M_1},\ m_{13} = \frac{G_o - W_1 - E_{max} + k_1 \left(\frac{\tau_n}{\tau_m}\right) E_{max} + k_2 \left(\frac{\tau_k - \tau_n}{\tau_m}\right) E_{max}}{M_1},\ K_{13} = \frac{E_{max} k_3}{M_1 \tau_m}.$

Перший індекс відповідає номеру корпусу ВУ, другий – періоду уварювання утфелю відповідно до графіка на **рис.1.**

Результати розрахунку концентрації сиропу після 1 корпусу ВУ зображено на **рис. 2.**

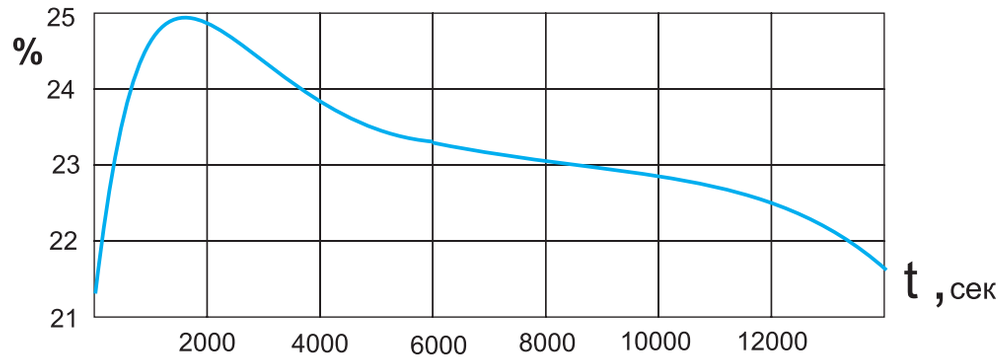

Рис 2. *Графік залежності вихідної концентрації сиропу з 1 корпусу ВУ, розрахованої за (3) , як відгук на пароспоживання вакуум-апаратом 1 кристалізації у формі (1).*

Аналогічно можна отримати залежності для концентрації сиропу на виході із наступних корпусів ВУ. Наприклад, для п'ятикорпусної ВУ в перший період ($\tau \le \tau_n$) залежності вихідних концентрацій $C_2(\tau)$, $C_3(\tau)$, $C_4(\tau)$, $C_5(\tau)$ набувають вигляду:

$$C_2(\tau) = w_o + w_1 \tau + w_2 \tau^2 + \ldots + w_n \tau^n, \qquad (4)$$

$$w_o = C_o \frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2},\ w_1 = b_{21} a_o - m_{21} w_o,\ w_2 = b_{21} \frac{a_1}{2} + \frac{K_{21}}{2} (a_o - 2w_o) - m_{21} \frac{w_1}{2},$$

$$w_3 = b_{21} \frac{a_2}{3} + \frac{K_{21}}{3} (a_1 - 2w_1) - m_{21} \frac{w_2}{3},\ w_n = b_{21} \frac{a_{n-1}}{n} + \frac{K_{21}}{n} (a_{n-2} - 2w_{n-2}) - m_{21} \frac{w_{n-1}}{n},$$

де $b_{21} = \frac{G_o - W_1 - E_{max}}{M_2},\ m_{21} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - 2E_{max}}{M_2},\ K_{21} = \frac{E_{max} k_1}{M_2 \tau_m}.$

$$C_3(\tau) = s_o + s_1 \tau + s_2 \tau^2 + \ldots + s_n \tau^n, \qquad (5)$$

$$s_o = C_o \frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3},\ s_1 = b_{31} w_o - m_{31} s_o,\ s_2 = b_{31}\left(\frac{w_1}{2}\right) + K_{31}\left(\frac{2w_o - 3s_o}{2}\right) - m_{31}\left(\frac{s_1}{2}\right),$$

$$s_3 = b_{31}\left(\frac{w_2}{3}\right) + K_{31}\left(\frac{2w_1 - 3s_1}{3}\right) - m_{31}\left(\frac{s_2}{3}\right),\ s_n = b_{31}\left(\frac{w_{n-1}}{n}\right) + K_{31}\left(\frac{2w_{n-2} - 3s_{n-2}}{n}\right) - m_{31}\left(\frac{s_{n-1}}{n}\right),$$

де $b_{31} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - 2E_{max}}{M_3},\ m_{31} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E_{max}}{M_3},\ K_{31} = \frac{E_{max} k_1}{M_3 \tau_m}.$

$$C_4(\tau) = r_o + r_1\tau + r_2\tau^2 + \ldots + r_n\tau^n, \qquad (6)$$

$$r_o = C_o \frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4},\ r_1 = b_{41} s_o - m_{41} r_o,\ r_2 = b_{41}\left(\frac{s_1}{2}\right) + K_{41}\left(\frac{3s_o - 3r_o}{2}\right) - m_{41}\left(\frac{r_1}{2}\right),$$

$$r_3 = b_{41}\left(\frac{s_2}{3}\right) + K_{41}\left(\frac{3s_1 - 3r_1}{3}\right) - m_{41}\left(\frac{r_2}{3}\right),\ r_n = b_{41}\left(\frac{s_{n-1}}{n}\right) + K_{41}\left(\frac{3s_{n-2} - 3r_{n-2}}{n}\right) - m_{41}\left(\frac{r_{n-1}}{n}\right),$$

де $b_{41} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E_{max}}{M_4},\ m_{41} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E_{max}}{M_4},\ K_{41} = \frac{E_{max} k_1}{M_4 \tau_m}.$

$$C_5(\tau) = p_o + p_1\tau + p_2\tau^2 + \ldots + p_n\tau^n, \qquad (7)$$

$$p_o = C_o \frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5},\ p_1 = b_{51} r_o - m_{51} p_o;\ p_2 = b_{51}\left(\frac{r_1}{2}\right) + K_{51}\left(\frac{3r_o - 3p_o}{2}\right) - m_{51}\left(\frac{p_1}{2}\right),$$

$$p_3 = b_{51}\left(\frac{r_2}{3}\right) + K_{51}\left(\frac{3r_1 - 3p_1}{3}\right) - m_{51}\left(\frac{p_2}{3}\right),\ p_n = b_{51}\left(\frac{r_{n-1}}{n}\right) + K_{51}\left(\frac{3r_{n-2} - 3p_{n-2}}{n}\right) - m_{51}\left(\frac{p_{n-1}}{n}\right),$$

де $b_{51} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E_{max}}{M_5},\quad m_{51} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 - 3E_{max}}{M_5},$

$$K_{51} = \frac{E_{max} k_1}{M_5 \tau_m}.$$

Графіки зміни концентрації сиропу після корпусів ВУ по (3–7) для всього періоду уварювання утфелю (коефіцієнти рядів для інтервалу $\tau \le \tau_n$ не наведені) за умови роботи лише одного вакуум-апарата на вторинній парі 3 корпусу ВУ, зображено на **рис. 3.**

Розрахунки виконано для заводу потужністю 3000 тонн з випарними апаратами системи Роберта поверхнею відповідно 2360, 3000, 2120, 1500, 1000 м² і з масою рідини в апаратах відповідно, 13, 15, 13, 11, 9 тонн, що відповідає оптимальним п'єзометричним рівням.

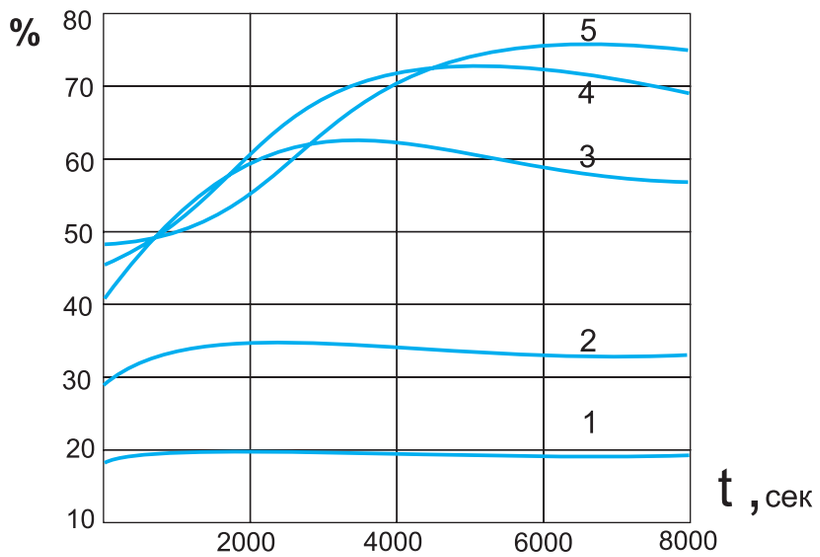

Рис 3. *Результати розрахунку вихідних концентрацій сиропу по корпусам ВУ по співвідношенням відповідно (3,4,5,6,7) при роботі одного вакуум-апарата за 1 цикл.*
1- $C_1(\tau)$; 2 – $C_2(\tau)$; 3 - $C_3(\tau)$, 4 - $C_4(\tau)$, 5 - $C_5(\tau)$

Максимальне парове навантаження $E_{мах}$ визначається через середнє інтегральне та середнє балансове як:

$$E_{max} = \frac{E_{ср}\tau_m}{\int_o^{\tau_n} E_1(\tau)d\tau + \int_{\tau_n}^{\tau_k} E_2(\tau)d\tau + \int_{\tau_k}^{\tau_m} E_3(\tau)d\tau}, \qquad (8)$$

де $E_{ср} = G_{сір}\left(1-\frac{CP_{сір}}{CP_{утф}}\right)+G_{клер}\left(1-\frac{CP_{клер}}{CP_{утф}}\right)+G_{бп}\left(1-\frac{CP_{бп}}{CP_{утф}}\right)+G_{вп}$ - балансове середнє навантаження вакуум-апаратів 1 кристалізації; $E_1(\tau)$, $E_2(\tau)$, $E_3(\tau)$ – функції (1) для періодів $\tau \le \tau_n$, $\tau_n \le \tau < \tau_k$, та $\tau_k \le \tau \le \tau_m$; $G_{сір}$- витрата сиропу; $G_{клір}$- витрата клеровки, $G_{бп}$- витрата білої патоки; $G_{вп}$ - водні підкачки; $CP_{сір}$, $CP_{утф}$, $CP_{клер}$, $CP_{бп}$,- масові концентрації сиропу, утфелю, клеровки та білої патоки, відповідно.

Реально варіант роботи випарної установки з одним вакуум-апаратом реалізується лише на заводах малої потужності, оскільки вакуум-апаратів ємністю менше 40 тонн не існує. До того ж, режим роботи зі споживанням пари 3 корпусу ВУ вакуум-апаратами 1 кристалізації для таких заводів небажаний, оскільки мають місце значні коливання концентрації сиропу. Реально працюють 2, або більше вакуум-апаратів в залежності від співвідношення потужності заводу та одиничної потужності власне вакуум-апаратів.

Графіки споживання пари при одночасній роботі декількох вакуум-апаратів можна отримати накладанням навантажувальних характеристик одна на одну зі зміщенням на половину періоду, (при роботі 2 апаратів), або на третину періоду (при роботі 3 апаратів) **рис. 4, рис.5.**

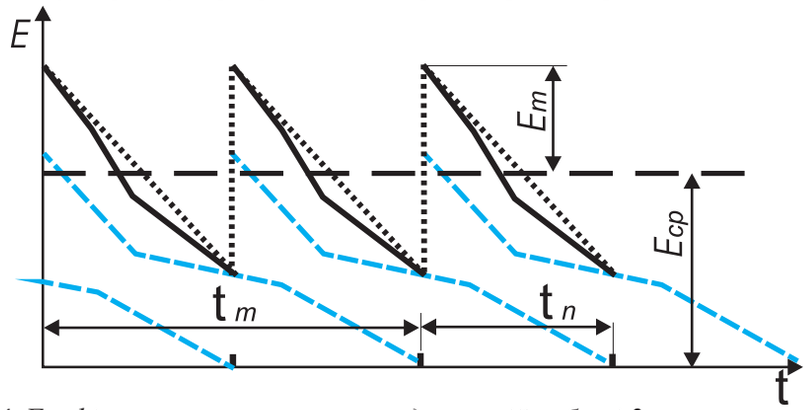

Рис.4. *Графік споживання пари при одночасній роботі 2 вакуум-апаратів*

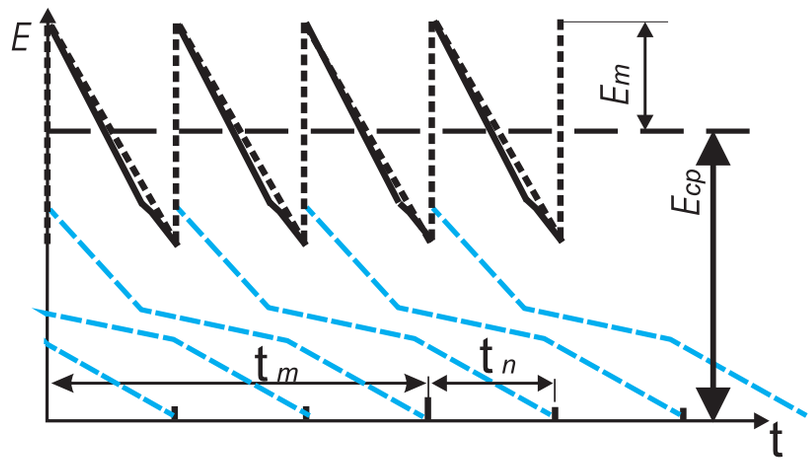

Рис.5. *Графік споживання пари при одночасній роботі 3 вакуум-апаратів*

Як видно з **рис. 4** та **рис. 5** результуюча крива (суцільна лінія) зберігає лінійний характер, а відносний пік E_m стає меншим у відношенні до середнього значення $E_{ср}$ при збільшенні числа одночасно працюючих вакуум-апаратів. При цьому, амплітуда коливань концентрації сиропу після корпусів ВУ теж стає меншою.

Лінійна апроксимація результуючої кривої, зображеної на **рис. 4,** (верхня штрихова лінія) з деяким наближенням може бути надана у вигляді:

$$E(\tau) = E_m\left(1 - 2\frac{\tau}{\tau_m}\right), \text{ при } \tau < \tau_n, \quad (9)$$

$$E(\tau) = E_m\left(1 - 2\frac{(\tau - \tau_n)}{\tau_m}\right), \text{ при } \tau_n \le \tau < \tau_m,$$

а відносний пік E_m як

$$E_m = E_{cp} - E(0{,}5\tau_m), \quad (10)$$

де $E(0{,}5\tau_m)$ - значення парового навантаження на вакуум-апарат в середині циклу уварювання згідно (1).

Якщо цикл уварювання зміщений не на половину, і одночасно працюючих вакуум-апаратів більше двох, (**рис.5**.) величина E_m може бути визначена графічно.

Для знаходження концентрацій сиропу $C_1(\tau)$, $C_2(\tau)$, $C_3(\tau)$, $C_4(\tau)$, $C_5(\tau)$, як реакцію на збурення з боку вакуум апаратів у формі (9), використовуємо систему рівнянь (2), яку також розв'язуємо за допомогою степеневих рядів.

За умови двох одночасно працюючих вакуум-апаратів запишемо:

$$C_1(\tau) = a_o + a_1\tau + a_2\tau^2 + \ldots + a_n\tau^n \text{ , для періоду } \tau \le \tau_n :$$

$$C_1(\tau) = A_o + A_1(\tau - \tau_n) + A_2(\tau - \tau_n)^2 + \ldots + A_n(\tau - \tau_n)^n \text{ , для періоду } \tau_n \le \tau \le \tau_m.$$

Початкові умови: $C_1(0) = C_o\dfrac{G_o}{G_o - W_1 - E_{cp}}$, $C_1(\tau_n) = a_o + \sum_1^i a_i(\tau_n)^i$.

Нижче наведені результати інтегрування системи (2, 9) для 1 періоду ($\tau \le \tau_n$) п'ятикорпусної випарної установки. Коефіцієнти рядів,

$a_1, a_2 \ldots a_n, w_1, w_2 \ldots w_n, s_1, s_2 \ldots s_n, r_1, r_2 \ldots r_n, p_1, p_2 \ldots p_n$ відповідають коефіцієнтам рядів 3, 4, 5, 6, 7. Відмінності мають місце лише для a_o, w_o, s_o, r_o, p_o та комплексів b_{ij}, m_{ij}, K_{ij} :

$$a_o = C_o\frac{G_o}{G_o - W_1 - E_{cp}}, w_o = C_o\frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - 2E_{cp}}, s_o = C_o\frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E_{cp}},$$

$$r_o = C_o\frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E_{cp}}, p_o = C_o\frac{G_o}{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 - 3E_{cp}}, \quad b_{11} = G_o\frac{C_o}{M_1},$$

$$m_{11} = \frac{G_o - W_1 - E_{cp} - E_m}{M_1}, \; K_{11} = \frac{E_m 2}{M_1\tau_m},$$

$$b_{21} = \frac{G_o - W_1 - E_{cp} - E_m}{M_2}, \; m_{21} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - E_{cp} - 2E_m}{M_2}, \; K_{21} = \frac{E_m 2}{M_2\tau_m},$$

$$b_{31} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - 2E_{cp} - 2E_m}{M_3}, \; m_{31} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E_{cp} - 3E_m}{M_3}, \; K_{31} = \frac{E_m 2}{M_3\tau_m},$$

$$b_{41} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - 3E_{cp} - 3E_m}{M_4}, m_{41} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E_{cp} - 3E_m}{M_4},$$

$$K_{41} = \frac{E_m 2}{M_4\tau_m}; b_{51} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - 3E_{cp} - 3E_m}{M_5},$$

$$m_{51} = \frac{G_o - W_1 - W_2 - W_3 - W_4 - W_5 - 3E_{cp} - 3E_m}{M_5}, \; K_{51} = \frac{E_m 2}{M_5\tau_m}.$$

Коефіцієнти рядів для другого періоду $\tau_n \le \tau \le \tau_m$ не наводимо.

На **рис.6** надана графічна інтерпретація отриманих результатів за умови споживання пари 3 корпусу ВУ та одночасній роботі двох вакуум-апаратів, зміщених по фазі на половину циклу.

Таким чином, можна зробити висновки:

1. Зі збільшенням потужності цукрових заводів і, відповідно, кількості одночасно працюючих вакуум-аппаратів 1 кристалізації амплітуда коливань концентрації сиропу після ВУ зменшується, оскільки падає відносний пік навантаження E_m у порівнянні з середнім, E_{cp}.

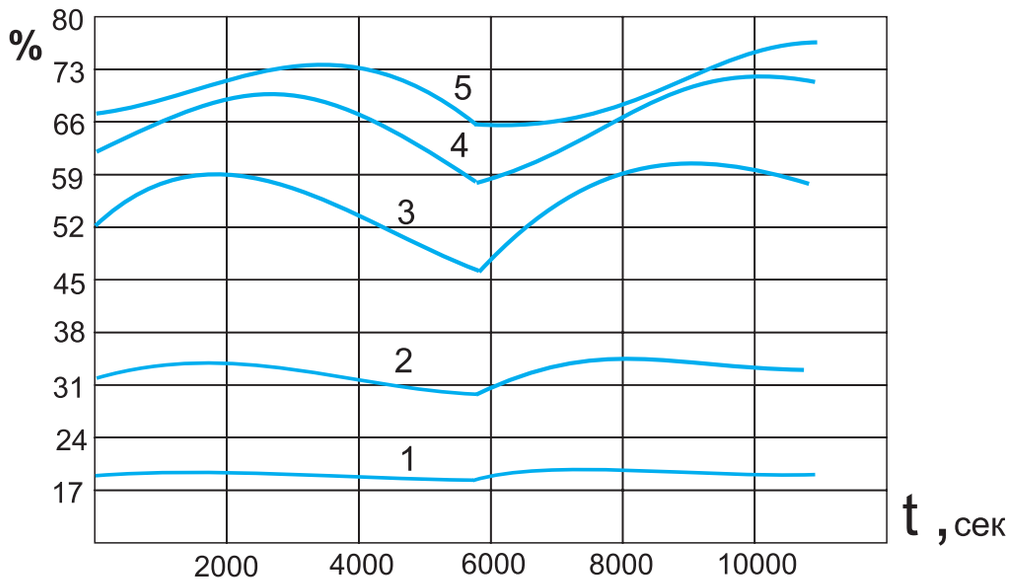

Рис.6. *Результати розрахунку вихідних концентрацій соку по корпусам ВУ при роботі двох вакуум-апарата за 1 цикл.*
$C_1(\tau)$; 2 – $C_2(\tau)$; 3 - $C_3(\tau)$; 4 - $C_4(\tau)$; 5 - $C_5(\tau)$.

2. В разі споживання вакуум-апаратами вторинної пари 2 корпусу ВУ, концентраційні піки стають меншими і проблем з регулюванням ВУ не виникає. У разі ж споживання пари із 4, або навіть із 5 корпусу ВУ концентраційні піки стають настільки відчутними, що створюють проблеми в регулюванні випарною установкою. По-перше, за даних умов нормальна робота ВУ можлива лише для заводів великої потужності з одночасною дією декількох вакуум-апаратів при ритмічній роботі, а, по-друге, система автоматичного регулювання повинна реагувати на концентраційні піки з упередженням. У цьому випадку випарна установка функціонує з переконцентруванням розчину, а підтримування необхідної продуктивності здійснюється через систему регульованих перепусків пари.

Слід зауважити, що існуючі системи автоматичного регулювання випарними установками, як правило, не мають алгоритму управління в періоди порушень технологічного режиму (зміна продуктивності, короткочасні зупинки дифапаратів, затримка фуговки, тощо). Частину операцій здійснює оператор, який інтуїтивно прогнозує динаміку зміни концентрації сиропу з ВУ і здійснює регулювання відповідно до власного бачення розвитку подій. Як видно з наведених вище графіків, для прийняття вірного рішення щодо управління випарною установкою важливо знати величину та час проходження пікової концентрації. Якщо така інформація відсутня, як правило, мають місце невиправдані передчасні водні підкачування в збірник соку перед ВУ з відповідними наслідками щодо перевитрати палива на технологічний процес.

3. Час наростання пікової концентрації на останньому корпусі ВУ залежить від ємності випарних апаратів, і для заводів малої відносної продуктивності, коли варка утфелю здійснюється лише одним вакуум-апаратом за один цикл, може перевищувати 1,5 год. За даних умов при відсутності відповідного програмного забезпечення по прогнозуванню концентраційних піків, доцільно мати експериментальну криву зміни концентрації сиропу на ВУ для конкретної випарної установки з метою упередження недоцільних водних підкачок в періоди очікувань значних концентрацій сиропу з ВУ.

Список використаних джерел

1. *В.П. Петренко.* Про деякі динамічні характеристики випарних установок з апаратами Роберта. – Харчова промисловість, 2004, №3, (додаток до журналу) с.148 – 150.

2. *В.П. Петренко, М.О. Прядко, Я.І. Засядько.* Про температурну реакцію випарних апаратів Роберта на ступеневе навантаження. – Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи. Матеріали 9 міжнародної науково-технічної конференції, ч.2, НУХТ, 2005, с.52 – 53.

Рецензент: С.М. Василенко, д.т.н., проф.