

## Порушення циркуляції у випарних апаратах з природною циркуляцією цукрового заводу

**Ю.Г. Поржезінський**, кандидат технічних наук, професор, кафедра теплоенергетики та холодильної техніки, Національний університет харчових технологій

*Надані умови виникнення і опис режимів низхідного руху соку при перекиданні циркуляції у випарних апаратах з натуральною циркуляцією цукрових заводів.*

*Ключові слова: випарний апарат, перекидання циркуляції, режим, напівперекинтий рух, теплообмін.*

*Представлены условия возникновения и описание режимов опускного движения сока при опрокидывании циркуляции в выпарных аппаратах с естественной циркуляцией сахарных заводов.*

*Ключевые слова: выпарной аппарат, опрокидывание циркуляции, режим, полуопрокинутое движение, теплообмен.*

*The terms of origin and description of the modes of movable motion of juice are presented at knocking over of circulation in evaporators with natural circulation of sugar-houses.*

*Keywords: evaporator, knocking over of circulation, mode, the semitipped motion over, heat exchange.*

Випарні апарати з природною циркуляцією працюють при п'єзометричному рівні  $h_k$  – 25-70% часто із затопленою трубною решіткою або з набігаючим на кип'ятильні труби шаром рідини.

Як показали дослідження, у випарних апаратах існує значна теплова нерівномірність в обігріві кип'ятильних труб. Збільшення продуктивності цукрових заводів викликає установку випарних апаратів великої потужності поверхні нагріву 2120, 2360, 3000 м<sup>2</sup>, що сприяє зростанню теплової нерівномірності в обігріві кип'ятильних труб. Останні корпуси випарної станції працюють при низькому тепловому навантаженні (приведена швидкість пари  $w_{0''} < 8$  м/с) і в'язкому розчинні, що сприяє утворенню низхідного руху рідини в слабо обігріваних трубах (перекиданню циркуляції).

При перекиданні циркуляції в кип'ятильних трубах випарних апаратів виникають наступні режими низхідного руху: стійкий низхідний рух при відсутності пароутворення в трубі, нестійкий низхідний при неінтенсивному кипінні і зносу бульбашок пари вниз і напівперекинтий рух, коли по стінкам труби тече плівка рідини вниз, а пара рухається вгору. При цьому різко змінюється розподіл температур, середня інтенсивність теплообміну, гідродинамічні умови і структура потоку по довжині труби, що сприяє утворенню локальних перегрівів розчину, що впливає на якість термочутливих цукрових соків.

Границі циркуляційних режимів руху рідини в підйомних трубах випарних апаратів можуть визначатись значенням комплексу [1]

$K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2}$  і  $\varphi$ , де  $K = \frac{\omega' \sqrt{\rho' \cdot g}}{\sqrt[4]{g^3 \cdot \sigma \cdot (\rho' - \rho'')}}}$  де  $K$  – критерій стійкості двофазного потоку, що враховує відношення динамічного напору та сил тяжіння, що діють на плівку рідини в кип'ятильній трубі;  $\omega'$  – середня швидкість пари, м/с;

$\rho'$ ,  $\rho''$  – густини рідини та пари, кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини, Н/м;  $g$  – прискорення земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>.

При наявності теплової і гідравлічної нерівномірності в пучку кип'ятильних труб і рівня рідини над верхньою трубною решіткою при роботі випарного апарата на оптимальному п'єзометричному рівні при значенні комплексу  $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2} \leq 0,75$  в окремих слабо обігріваних трубах можливе виникнення напівперекинтого руху. Напівперекинтий рух існує у вузькому інтервалі теплових потоків і не залежить від висоти набухання над верхньою трубною решіткою. Щільність зрошування для напівперекинтого руху є функцією наступних величин:  $\Gamma v = f(d, \rho', \rho'', \omega'', \sigma)$ , де  $d$  – діаметр кип'ятильної труби.

$\Gamma v$  підвищується із збільшенням діаметра труби і густини розчину і зменшується із збільшенням швидкості пари і його густини [2]. Щільність зрошування при напівперекинтому русі можливо порівнювати по рівнянням, отриманим при узагальненні дослідних даних в системі критеріїв

$$Fr = f(K, \frac{\rho''}{\rho'}), \text{ де } Fr = \frac{\Gamma v}{\sqrt{g \cdot d^3}} - \text{критерій Фруда.}$$

$$\begin{aligned} \text{Для } K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} < 0,17 \quad \Gamma_{v1} &= 0,404 d^{1,5} \exp \frac{-8,054 \cdot \frac{w' \cdot (\rho'')^{0,7}}{\sigma^{0,25} \cdot (\rho' - \rho'')^{0,25} \cdot (\rho')^{0,2}}}{}, \text{ м}^2/\text{с}, \\ \text{для } K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} > 0,17 \quad \Gamma_{v1} &= 0,404 d^{1,5} \exp \frac{-5,717 \cdot \frac{w' \cdot (\rho'')^{0,7}}{\sigma^{0,25} \cdot (\rho' - \rho'')^{0,25} \cdot (\rho')^{0,2}}}{}, \text{ м}^2/\text{с}. \end{aligned}$$

Якщо над верхньою трубною решіткою підтримується шар рідини, а далі труби випарного апарата працюють в напівперекинутому режимі, то поверхня нагріву верхньої частини труби буде зрошуватись рідиною із надтрубного шару і апарат буде працювати з високими коефіцієнтами тепловіддачі  $\alpha_2$  по всій висоті труби. При відсутності шару рідини над трубною решіткою можливе оголення верхніх ділянок труби і погіршення технологічних показників.

В середньому інтенсивність теплообміну для напівперекинутого руху при наявності набухання над трубною решіткою наближується до коефіцієнта тепловіддачі підйомного руху на оптимальному рівні. При низьких теплових потоках величина  $\alpha_2$  визначається рухом плівки рідини і інтенсивність теплообміну порівняно з кипінням в підйомних трубах на оптимальному рівні збільшується, а при пульсаційному режимі знижується.

При зменшенні швидкості пари (теплого потоку) для напівперекинутого руху падають дотичні сили тертя на границі фаз, збільшується об'ємна щільність зрошування (більше затікає рідини в трубу), рідина починає відриватись від стінок труби і рухатись в вигляді струменів.

Перехід кип'ятильної труби на низхідний рух рідини без кипіння можливий тільки через напівперекинутий рух і настає при значенні комплексу  $K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} \leq 0,1$  і швидкості рідини близької до швидкості зносу бульбашки вниз.

Для труб  $d = 30-79$  мм швидкість зносу бульбашки при  $w_0'$  буде  $0,15-0,25$  м/с, якщо виключається можливість закипання рідини при даному тепловому потоці, кип'ятильна труба починає працювати як опускна і поставляє перегріту рідину сусіднім підйомним трубам.

Для підйомної кип'ятильної труби існують такі види течії двофазного потоку: бульбашковий, снарядний і дисперсно-кільцевий. При снарядному режимі в кип'ятильній трубі кожний снаряд представляє ділянку, де відбувається напівперекинутий рух. Між снарядами рухаються перегородки із рідини з бульбашками. Перехід від снарядного режиму до дисперсно-кільцевого руху потоку носить пульсаційний характер. Паровий снаряд, рухаючись вгору, відкидає порцію рідини на стінки труби. Після втрати швидкості ця рідина обрушується на центр потоку і перекриває прохід пару.

При цьому утворюється новий паровий снаряд і процес повторюється, при цьому по стінкам труби в пристінному шарі плівка рідини рухається вниз. З підвищенням швидкості пари частота пульсацій збільшується поки не настає дисперсно-кільцевий режим руху  $K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} \geq 0,75$ .

**Отриманні дослідні дані дозволяють розрахувати границі руху рідини в кип'ятильних трубах.**

**При перекиданні циркуляції у випарних апаратах з натуральною циркуляцією можливий низхідний рух рідини в кип'ятильних трубах при наявності значної теплової нерівномірності обігріву труб, шару рідини над ними і значення комплексу  $K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} < 0,75$ , коли настає напівперекинутий режим, і  $K\left(\frac{\rho''}{\rho'}\right)^{0,2} \leq 0,1$ , коли настає низхідний рух рідини без кипіння.**

При наявності шару рідини над верхньою трубною решіткою апарата і виникненні напівперекинутого руху не відбувається оголення поверхні нагріву верхньої частини труби за рахунок затікання рідини із верхнього об'єма. Бажано на останніх корпусах випарної станції використовувати плівкові апарати.

#### Список використаних джерел

1. Тобилевич Н.Ю. Исследование режимов движения жидкости в кипящих трубах выпарных аппаратов и испарителей. Н.Ю. Тобилевич, Ю.Г. Поржезинский, Б.А. Матвиенко.-М. : Энергетика. Известия высших учебных заведений, № 8, 1971, С. 76-81.

2. Тобилевич Н.Ю. Нисходящее движение плёнки жидкости в вертикальных трубах в противотоке с воздухом и паром. Н.Ю. Тобилевич, И.И. Сагань, Ю.Г. Поржезинский. – М. : Инженерно-физический журнал, т. XV № 5, 1968, С. 855-861.

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