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 незхідного руху соку при перекиданні циркуляції у випарних апаратах з натуральною циркуляцією цукрових заводів.
Ключові слова: випарний апарат, перекидання циркуляції, режим, напівперекинутий 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^2, 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 незхідного руху рідини в слабо обігріваємих трубах (перекиданню циркуляції).

При перекиданні циркуляції в кип’ятильних трубах випарних апаратів виникають наступні режими незхідного руху: стійкий незхідний рух при відсутності пароутворення в трубі, нестійкий незхідний при неінтенсивному кипінні і зносу бульбашок пари вниз і напівперекинутий рух, коли по стінкам труби тече плівка рідини вниз, а пара рухається вверх. 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* φ, *де* $K=\frac{\omega''\sqrt{\rho''\cdot g}}{\sqrt[4]{g^3\cdot\sigma\cdot(\rho'-\rho'')}}$ - критерій стійкості двофазного потоку, що враховує відношення динамічного напору та сил тяжіння,що діють на плівку рідини в кип'ятильній трубі;

w″ - середня швидкість пари, м/с;

ρ', ρ″ - густини рідини та пари, кг/м^3;

σ – поверхневий натяг рідини, Н/м;

g – прискорення земного тяжіння, м/с^2.

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 обігріваємих трубах можливе виникнення напівперекинутого руху. Напівперекинутий рух існує у вузькому інтервалі теплових потоків і не залежить від висоти набухання над верхньою трубною решіткою. Щільність зрошування для напівперекинутого руху є функцією наступних величин:

Гv = f (d, ρ', ρ″, w″, σ), де d - діаметр кип'ятильної труби.

Гv підвищується із збільшенням діаметра труби і густини розчину і зменшується із збільшенням швидкості пари і його густини [2]. Щільність зрошування при напівперекинутому русі можливо порахувати по рівнянням, отриманим при узагальненні дослідних даних в системі критеріїв

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

Для $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2}<0,17$

$$Гv_1=0,404\,d^{1,5}\exp^{-8,054\cdot\frac{w''\cdot(\rho'')^{0,7}}{\sigma^{0,25}\cdot(\rho'-\rho'')^{0,25}\cdot(\rho')^{0,2}}},\ м^2/с,$$

для $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2}>0,17$

$$Гv_1=0,404\,d^{1,5}\exp^{-5,717\cdot\frac{w''\cdot(\rho'')^{0,7}}{\sigma^{0,25}\cdot(\rho'-\rho'')^{0,25}\cdot(\rho')^{0,2}}},\ м^2/с.$$

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 α_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 α_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 (теплового 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 незхідний рух рідини без кипіння можливий тільки через напівперекинутий рух і наступає при значенні комплекса $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2} \leq 0,1$ 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 вверх, 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 $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2} \geq 0,75$.

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

При перекиданні циркуляції у випарних апаратах з натуральною циркуляцією можливий незхідний рух рідини в кип'ятильних трубах при наявності значної теплової нерівномірності обігріву труб, шару рідини над ними і значення комплексу $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2} < 0,75$, **коли наступає напівперекинутий режим, і** $K(\frac{\rho''}{\rho'})^{0,2} \leq 0,1$, **коли настає незхідний 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. Иследование режимов движения жидкости в кипятильных трубах выпарных аппаратов и испарителей. Н.Ю. Тобилевич, Ю.Г. Поржезинский, Б.А. Матвиенко.-М.:Енергетика. Известия высших учебных заведений, № 8, 1971, с.76-81.
2. Тобилевич Н.Ю. Нисходящие движение плёнки жидкости в вертикальних 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.