

Гідродинамічна структура потоків при проведенні попередньої дефекації дифузійного соку у вертикальному протитечійному апараті

Л.П. Рева, доктор технічних наук, професор кафедри цукру та підготовки води, Національний університет харчових технологій

О.О. Петруша, аспірант кафедри цукру та підготовки води, Національний університет харчових технологій

В.О. Мірошник, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та робото-технічних систем ім. академіка І.І. Мартиненка, Національний Університет біоресурсів і природокористування України

В процесі попередньої дефекації дифузійного соку, одним з головних показників є гідродинамічна структура потоків у апараті, що суттєво впливає на технологічні аспекти процесу. На основі фізичної моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора було досліджено функції розподілу часу перебування частинок основного та рециркуляційного потоків в апараті, які стали базою для створення математичної секційно-рециркуляційної моделі, що адекватно описує експериментальні дані.

Ключові слова: гідродинамічна структура, моделювання, секційна модель, секційно-рециркуляційна модель.

При проведении процесса предварительной дефекации диффузионного сока одним из главных показателей является гидродинамическая структура потоков в аппарате, что существенно влияет на технологические аспекты процесса. На основе физической модели вертикального прогрессивного противоточного преддефекатора были исследованы функции распределения времени пребывания частиц основного и рециркуляционного потоков в аппарате, что стали базой для создания математической секционно-рециркуляционной модели, которая адекватно описывает экспериментальные данные.

Ключевые слова: гидродинамическая структура, моделирование, секционная модель, секционно-рециркуляционная модель.

When performing pre-defecation of diffusion juice, one of the major indicators is the hydrodynamic structure of flows in the device, which significantly affects the technological aspects of the process. On the basis of a physical model of progressive vertical counter flow pre-defecator there were determined the distribution function of particle time residence of main and recirculating flows in the machine, provided the basis for the purpose of creating a mathematical model of the partitioned recirculation, which describes experimental data.

Keywords: hydrodynamic structure, modeling, partitioned model, section-recycle model.

У хімічній технології, для створення нового технологічного процесу, а також інтенсифікації існуючого і ефективного апаратного його оформлення треба, перш за все, виконати умови:

1. досягнення максимальної швидкості процесу;
2. забезпечення майже однакового часу перебування елементів потоку у апараті, що відповідатиме заданому ступеню перетворення цільового компонента.

Одним із визначальних етапів очищення соку в бурякоцукровому виробництві є про-

цес попередньої дефекації, що передбачає оброблення дифузійного соку відносно невеликою кількістю вапна для досягнення максимального ефекту осадження розчинних нецукрів (коагуляцією ВМС – білків, пектинів і осадженням деяких аніонів кислот у формі малорозчинних солей кальцію). Окрім цього утворений переддефекаційний осад повинен бути досить стійким в жорстких умовах гарячого ступеня комбінованої основної дефекації типової схеми.

Процес переддефекації ще нерідко проводиться в односекційних апаратах типу ПР, в яких має місце значний байпас (проскок час-

тини недостатньо обробленого вапном дифузійного соку), а також застійні зони, що перешкоджають досягненню необхідного ступеня осадження розчинних нецукрів дифузійного соку.

Іншим варіантом є прогресивна протитечійна переддефекація дифузійного соку за принципом Брігель-Мюллера у горизонтальному секціонованому апараті, в якому підтримується поступове наростання рН та лужності соку по секціях за рахунок рециркуляції підлуженого соку від останньої секції до першої.

Кращим варіантом апаратурного оформлення попередньої прогресивної протитечійної переддефекації за принципом Брігель-Мюллера можна вважати вертикальний переддефекатор РЗ-ППА [1], який у порівнянні з горизонтальним апаратом Брігель-Мюллера, має суттєві переваги: значно меншу поверхню контакту соку з повітрям (лише в останній секції), конструкції перегородок, рухомих заслінок та насосних турбінок надають можливість організації більш упорядкованого протитечійного руху потоків і оперативного регулювання зміни рН та лужності по секціям апарата практично без байпаса частково обробленого дифузійного соку, що має місце в самій нижній частині горизонтального переддефекатора.

Окрім переваг (у порівнянні із горизонтальним переддефекатором), вертикальний апарат все ж має деякі конструктивні недоліки: дещо невдале конструктивне рішення рухомих заслінок на верхніх кромках всмоктувальних патрубків, в результаті чого, в кожній секції апарата між верхньою частиною всмоктувального патрубка та поверхнею конусної перегородки можуть мати місце застійні зони, що будуть сприяти неконтрольованому перебуванню деякої частини підлуженого соку з уже утвореним переддефекаційним осадом. Дещо невдалим є сам варіант рухомої заслінки, яка складається із двох напівдисків, що ускладнює промислову експлуатацію та проведення ремонтних робіт.

Тому було змінено форму заслінок на п-подібну форму, що здійснюють зворотно-поступальний рух для регулювання площі перетину вхідних отворів всмоктувальних патрубків, до того ж патрубки закріплені на нижній кромці конусних перегородок, що знижує можливість утворення застійних зон. Такі зміни сприяють більш контрольованому руху потоків в апараті та забезпеченню раціонального наростання рН та лужності соку по секціям для досягнення високих якісних та седиментаційно-фільтрувальних показників соку.

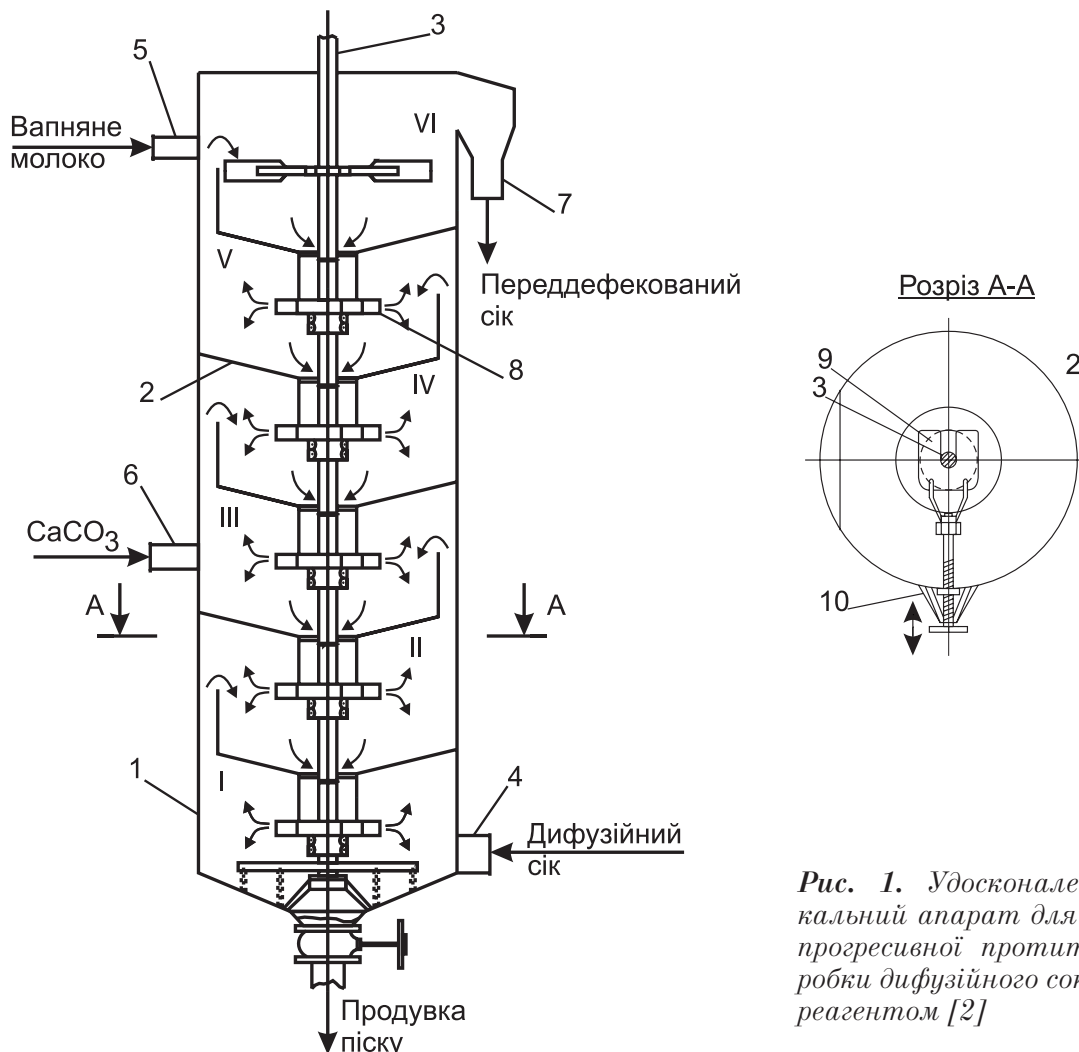


Рис. 1. Удосконалений вертикальний апарат для попередньої прогресивної протитечійної обробки дифузійного соку вапняним реагентом [2]

Загальний вигляд удосконаленого вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора [2] представлений на **рис. 1**. Він складається з вертикальної ємності 1 (з патрубками для підведення дифузійного соку 4, вапняного реагенту 5, осаду карбонату кальцію 6 та відведення переддефекованого соку 7), яка поділена конічними перегородками 2 на шість секцій. У центрі ємності змонтовано вал 3 на якому в кожній секції закріпленні турбінки 8, що виконують одночасно функції, як насосу для рециркуляції необхідного об'єму підлуженого соку із вище розміщеної секції в нижчу, так і мішалки для швидкого змішування рециркульованого соку з соком основного потоку, що надходить в кожну секцію через сегментні канали. Дифузійний сік через патрубків 4 надходить в нижню частину апарату, заповнюючи I секцію. Через сегментний канал у конусній перегородці сік із I секції надходить у II і т.д. до останньої секції. Через патрубків 5 в останню секцію подається вапняне молоко у необхідній кількості для забезпечення оптимальних величин рН і лужності переддефекованого соку. При відкритті рухомою заслінкою 9, з використанням регулюючого механізму 10, перетину рециркуляційного каналу із останньої секції частина соку за допомогою турбінки 8 повертається з VI в секцію V, де змішується з менш лужним соком, що надходить з IV секції, в результаті чого рН та лужність соку в V секції підвищується по відношенню до IV секції, і т.д. Таким чином, за рахунок протитечійного повернення більш лужного соку із VI секції в I забезпечується прогресивне підвищення рН та лужності соку в секціях апарату знизу вгору.

Для вивчення гідродинамічної структури потоків у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі була виготовлена фізична модель такого апарату [3], яка розраховувалась за критеріями подібності Рейнольдса та Пекле у відповідності із параметрами вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора виробничою потужністю 3000 т буряків на добу.

Теоретичний аналіз структури потоків у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі дає можливість виділити два визначальні гідродинамічні потоки: основний потік дифузійного соку, що рухається знизу вгору від першої секції до останньої, проходячи прогресивну обробку вапняним молоком, та рециркуляційний лужний потік, що рухається протитечійно від останньої до першої секції переддефекатора для забезпечення раціональної кривої рН та лужності по секціям.

Тому, на першому етапі було поставлено завдання дослідити основний потік (дифузій-

ного соку), що рухається знизу вгору по висоті апарату. Для цього у фізичній моделі переддефекатора заслінками повністю закривали рециркуляційні канали, в результаті чого виключали рециркуляційні потоки, а турбінки у секціях виконували роль лише перемішуючих пристроїв. За такого варіанту фізична модель працювала в режимі секційної моделі із послідовно з'єднаних реакторів змішування.

В результаті отриманих експериментально (на імпульсне введення в систему індикатора) функцій розподілу часу перебування елементів основного потоку в апараті із різною кількістю секцій були розраховані щільності розподілу часу перебування частинок потоку у таких секційних моделях та основні їх статистичні характеристики, такі як моменти розподілу, дисперсія та інші [4, 5].

Так перший момент розподілу $\bar{\tau}_M$ визначає реальний середній час перебування елементів потоку у апараті (в хв) та розраховується:

$$\bar{\tau}_M = \frac{\int_0^{\infty} \tau \cdot C_{ind}(\tau) \cdot d\tau}{\int_0^{\infty} C_{ind}(\tau) \cdot d\tau} \quad (1)$$

де C_{ind} – концентрація індикатора в пробі, кг/м³; τ – час відбору проби на виході з системи від початку імпульсного введення індикатора, хв.

За експериментальними даними можна також визначити дисперсію часу перебування за формулою:

$$\sigma^2(\bar{\tau}) = \frac{\int_0^{\infty} \tau^2 \cdot C_{ind}(\tau) \cdot d\tau}{\bar{\tau}^2 \cdot \int_0^{\infty} C_{ind}(\tau) \cdot d\tau} - 1 \quad (2)$$

де $\bar{\tau} = V/v$ – середній час (в хв), розрахований за об'ємом апарату V м³ і витратами v м³/хв основного потоку (дифузійного соку). Дисперсія характеризує розкид даних відносно середнього значення. Чим більша величина дисперсія, тим сильніше проявляється повздовжнє перемішування рідкої фази в апараті (так для режиму витіснення $\sigma^2 \rightarrow 0$, а для змішування $-\sigma^2 \rightarrow 1$).

Для оцінки гідродинамічної структури потоків в реальній секційній моделі із різною кількістю секцій, скористаємось коефіцієнтом повздовжнього перемішування D і, відповідно, безрозмірним критерієм Пекле повздовжнього перемішування Pe :

$$Pe = \frac{u \cdot l}{D} \quad (3)$$

де u – лінійна швидкість основного потоку, м/хв; l – лінійна величина апарату, м; D – кое

фіцієнт повздовжнього перемішування, м²/хв.

За методикою [5] були розраховані основні статистичні характеристики часу перебування частинок основного потоку (дифузійного соку) в переддефекторі з різною кількістю секцій **табл. 1**.

де $\bar{\tau}_M$ – середній час перебування елементів потоку в апараті, розрахований за першим моментом розподілу, хв; σ^2 – дисперсія часу перебування; D – коефіцієнт повздовжнього перемішування, м²/хв; Pe – критерій Пекле повздовжнього перемішування; $\bar{\tau}$ – середній час, розрахований за об’ємом V м³ та витратам v м³/хв основного потоку u (дифузійного соку), хв.

Аналізуючи розраховані статистичні характеристики, можна стверджувати, що розподіл часу перебування в основному потоку у секційній моделі переддефектора із шести секцій наближається до розподілу для реактора ідеального витіснення. При цьому дисперсія в секційній моделі від однієї до шести секцій змінюється від 0,8 до 0,1, також підвищується величина критерію Пекле від 2 до 12 одиниць та зменшується коефіцієнт повздовжнього перемішування від 0,015 до 0,002 м²/хв. Середній час $\bar{\tau} = V/v$ зі збільшенням кількості секцій в секційній моделі наближається до розрахованого середнього часу за першим моментом $\bar{\tau}_M$.

Математичний опис функцій розподілу часу перебування частинок потоку в секційній моделі із n секціями змішування представимо формулою [4]:

$$C_n = C_0 \cdot \frac{1}{(n-1)!} \cdot \left(\frac{\tau \cdot n}{\bar{\tau}}\right)^{n-1} \cdot \exp\left(\frac{-\tau \cdot n}{\bar{\tau}}\right), \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

$$C_n = C_0 \cdot \frac{1}{\left(\frac{Pe}{2} - 1\right)!} \cdot \left(\frac{\tau \cdot Pe}{2\bar{\tau}}\right)^{\frac{Pe}{2}-1} \cdot \exp\left(\frac{-\tau \cdot Pe}{2\bar{\tau}}\right), \text{ кг/м}^3 \quad (5)$$

Аналізуючи графічно вигляд та характер співпадання кривих щільностей розподілу, отриманих експериментально – крива 1 та згідно секційної моделі (5) – крива 2 (**рис. 2.**), можемо стверджувати, що математичний опис секційної моделі (5) з достатньою точністю характеризує гідродинамічну структуру основного потоку (дифузійного соку) в фізичній моделі вертикального переддефектора.

У другій частині роботи було досліджено гідродинамічну структуру рециркуляційного потоку підлуженого соку, що рухається від останньої до першої секції в переддефекторі. Фізична модель функціонувала у режимних співвідношеннях для промислового вертикального прогресивного протитечійного переддефектора, що працює за принципом Брігель-Мюлера. Саме за рахунок протитечійного руху підлуженого соку у апараті попередньої дефекації забезпечується раціональна крива зміни рН та лужності по секціям переддефектора: повільне підвищення рН у перших трьох секціях (із рН у третій секції на рівні 8,5...9,0) та стрімке у наступних секціях до кінцевого оптимального рН та лужності.

Гідродинамічне дослідження рециркуляційного потоку проводилось за постійного введення індикатора у потік подачі вапняного реагенту у апарат (тобто в VI секцію пе-

Таблиця 1

Основні статистичні характеристики руху основного потоку в секційній моделі переддефектора з різною кількістю секцій

Кількість секцій в секційній моделі переддефектора	$\bar{\tau}_M$ хв.	σ^2	D , м ² / хв.	Pe	$\bar{\tau}$ хв.
1	5,5	0,8	0,015	2,013	2,5
2	7,0	0,6	0,006	4,803	5,0
3	8,6	0,5	0,004	6,67	7,5
4	8,0	0,4	0,0037	8,118	10,0
5	9,6	0,3	0,0026	11,243	12,5
6	11,0	0,1	0,002	12,807	15,0

де C_0 , C_n , – концентрація індикатора відповідно початкова та на виході з реактора, кг/м³; n – кількість секцій в ньому.

Отримані функції розподілу часу перебування елементів основного потоку у фізичній моделі переддефектора та розраховані їх основні статистичні характеристики стали базою для розрахунку критерію Pe , що в свою чергу враховується у складовій $n = Pe/2$ (кількість секцій) моделі (4), і математичне вираження секційної моделі (4) перетворюється у формулу:

реддефектора) та визначалась концентрація індикатора по секціях у часі.

Одним із важливих показників для такого технологічного режиму проведення процесу переддефекації є коефіцієнт рециркуляції f [6]:

$$f = w/u \quad (6)$$

де w – лінійна швидкість протитечійного потоку, м/хв; u – лінійна швидкість основного потоку (дифузійного соку), м/хв.

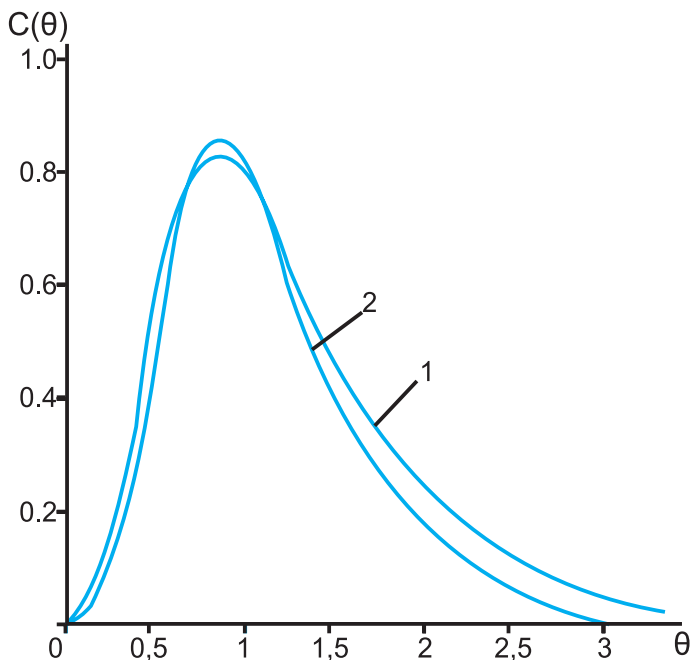


Рис. 2. Криві щільностей розподілу безрозмірного часу перебування елементів основного потоку (дифузійного соку) в 6-ти секційній моделі переддефекатора: 1 – отримана експериментально; 2 – за математичним описом для секційної моделі (5)

Були проведені дослідження на фізичній моделі переддефекатора по уточненню залежності коефіцієнта рециркуляції f від m – кількості обертів валу (об/хв), в результаті чого підтверджена формула для розрахунку величини об'ємного рециркуляційного потоку W , $\text{м}^3/\text{хв}$ [7]:

$$W = 0,5 \cdot m \cdot d^3 \quad (7)$$

де 0,5 – коефіцієнт насосного ефекту турбінки, отриманий експериментальними дослідженнями; d – діаметр турбінки, м.

Зі збільшенням обертів валу фізичної моделі переддефекатора відповідно підвищується об'ємний рециркуляційний потік підлуженого соку до коефіцієнту рециркуляції 2,0...2,5 за рекомендаціями А. Брігель-Мюлера [8], що вносить зростаючу дисперсію у розподіл часу перебування окремих елементів потоку в апараті і відповідне відхилення від заданої для даного апарата раціональної величини тривалості перебування частинок потоку (наприклад $\tau = 15\text{хв}$ для $t=60^\circ\text{C}$).

Математичний опис гідродинамічної структури потоків у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі потребує уточнення коефіцієнта повздовжнього перемішування, величина якого підвищується за рахунок рециркуляційного потоку. Розрахунок коефіцієнта повздовжнього перемішування D для секційно-рециркуляційної моделі переддефекатора проводили за формулою [6]:

$$D = Hw = \frac{L}{n} w = \frac{u \cdot l}{Pe}, \quad (8)$$

де H – висота однієї секції, м; L – висота апарату, м;

Так, зі збільшенням кількості обертів валу та відповідно величин коефіцієнта рециркуляції f коефіцієнт повздовжнього перемішування D зростає (табл. 2).

Із табл. 2. видно, що зі збільшенням числа обертів валу 6-ти секційного переддефекатора зростає об'єм рециркуляційного потоку підлуженого соку (коефіцієнта рециркуляції f) та величини коефіцієнта повздовжнього перемішування D .

Математичний опис структури потоків в вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі за використанням секційно-рециркуляційної моделі повинен відображати реальну картину потоків в секціонованому реакторі з протитечійним рухом соку між секціями, причому у кожній секції за рахунок перемішування відбувається вирівнювання концентрації, а між секціями існує рециркуляція підлуженого соку.

Для створення математичної моделі гідродинамічної структури потоків в апараті прогресивної протитечійної переддефекації, який є технологічним об'єктом з розподіленими параметрами, умовно апарат розбивається на шість секцій. При цьому окрема секція розглядається, як об'єкт із зосередженими параметрами, тобто секція – це апарат ідеального змішування, в якому концентрація CaO однакова в усіх точках. Розподіл технологічних потоків у секції зображено на рис. 3.

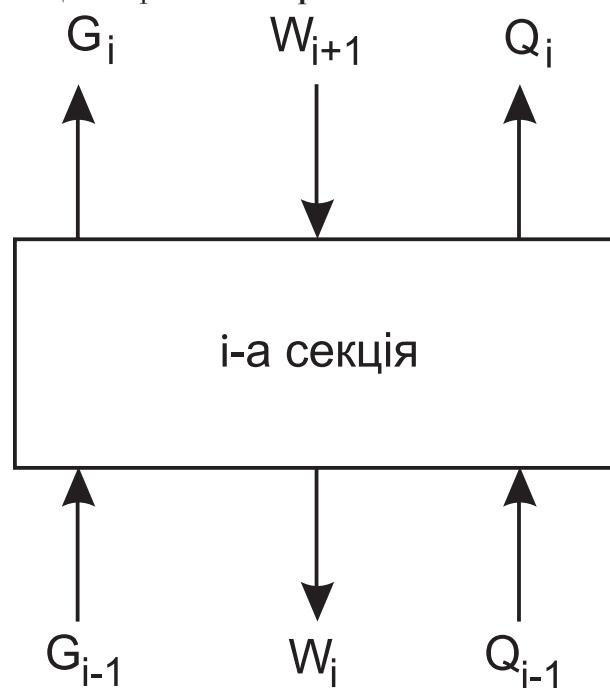


Рис. 3. Схема потоків в i -секції у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі (G_i, G_{i-1} – витрати основного потоку, $\text{м}^3/\text{хв}$; W_{i+1}, W_i – витрати рециркуляційного потоку, $\text{м}^3/\text{хв}$; $Q_i = W_{i+1}, Q_{i-1} = W_i$ – витрати потоку, що додатково створюється при за рахунок рециркуляційного потоку в напрямку основного, $\text{м}^3/\text{хв}$)

Залежність величин коефіцієнтів рециркуляції f та повздовжнього перемішування D в системі секційно-рециркуляційної моделі переддефекатора за різних обертів валу апарату

Кількість обертів валу m , об/хв.	50	60	70	80	90	100
Коефіцієнт рециркуляції f	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Коефіцієнт повздовжнього перемішування D_p , м ² /хв	0,007	0,008	0,009	0,011	0,012	0,013

Математична модель вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора описується системою диференціальних рівнянь матеріального балансу по шести секціях:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_1}{d\tau} &= \frac{1}{V_1}((G_0 - DG_0) + K_2W_2 - (G_1 - DG_1) - K_2Q_1) \\ \frac{dC_2}{d\tau} &= \frac{1}{V_2}((G_1 - DG_1) + K_2Q_1 + K_3W_3 - (G_2 - DG_2) - K_2Q_2 - K_3W_2) \\ \frac{dC_3}{d\tau} &= \frac{1}{V_3}((G_2 - DG_2) + K_3Q_2 + K_4W_4 - (G_3 - DG_3) - K_3Q_3 - K_4W_3) \\ \frac{dC_4}{d\tau} &= \frac{1}{V_4}((G_3 - DG_3) + K_4Q_3 + K_5W_5 - (G_4 - DG_4) - K_4Q_4 - K_5W_4) \\ \frac{dC_5}{d\tau} &= \frac{1}{V_5}((G_4 - DG_4) + K_5Q_4 + K_6W_6 - (G_5 - DG_5) - K_5Q_5 - K_6W_5) \\ \frac{dC_6}{d\tau} &= \frac{1}{V_6}((G_5 - DG_5) + K_6Q_5 + G_6 - (G_6 - DG_6) + K_6W_6) \end{aligned} \right\} (9)$$

де K_n – величина відкриття – закриття рециркуляційного каналу рухомою заслінкою, що змінюється в межах 1...0; G_v – витрати у м³/хв вапняного молока (з густиною $\rho = 1,18$ кг/м³) на попередню дефекацію.

Для динамічного моделювання гідродинамічної структури потоків в часі у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі за рівняннями (9) використовуючи для їх вирішення пакет прикладних програм MATLAB 6. Графічна адекватність вище вказаної моделі подана на рис. 4.

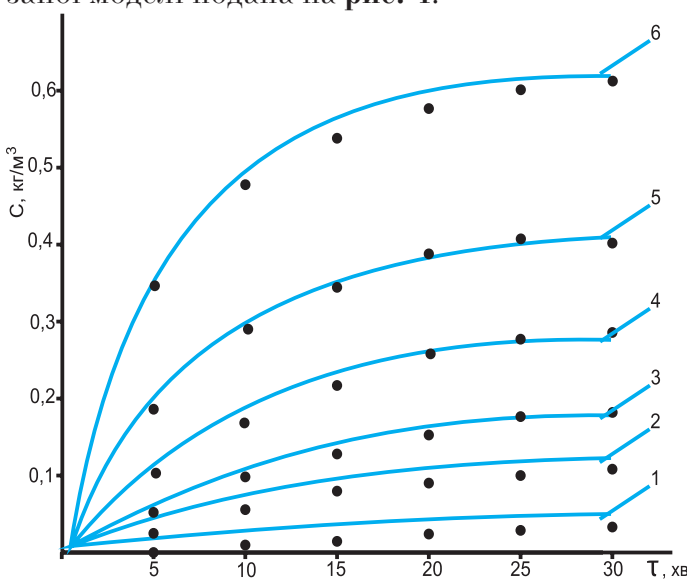


Рис. 4. Функції розподілу часу перебування частинки потоку в секційно-рециркуляційній моделі переддефекатора для I, II, III, VI, V та VI секцій («—» – за математичною моделлю; «●» – отримані експериментально)

Близьке розташування експериментальних точок до ліній отриманим із розрахункових функцій розподілу часу перебування елементів потоку у секційно-рециркуляційній моделі переддефекатора вказує на достатню подібність реального процесу з його математичним описом (9). Однак для повного підтвердження адекватності розробленої математичної моделі для реального процесу секційно-рециркуляційної переддефекації слід підтвердити це розрахунковим критерієм адекватності Фішера: максимальне розраховане значення критерію Фішера у моделі із 6-ти секцій склало $F_p = 3,67$, табличне ж значення цього критерію за рівнем значущості $\alpha = 0,05$ становить $F_{табл} = 9,28$. Оскільки виконується умова адекватності $F_p < F_{табл}$, тому можна вважати, що обрана математична секційно-рециркуляційна модель достовірно описує гідродинамічну структуру потоків у фізичній моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора [9].

Були проведені експериментальні дослідження для встановлення залежності зміни рН соку в секціях переддефекатора від різного числа обертів валу та відповідно коефіцієнтів рециркуляції, що визначає технологічні умови проведення процесу для досягнення найбільш

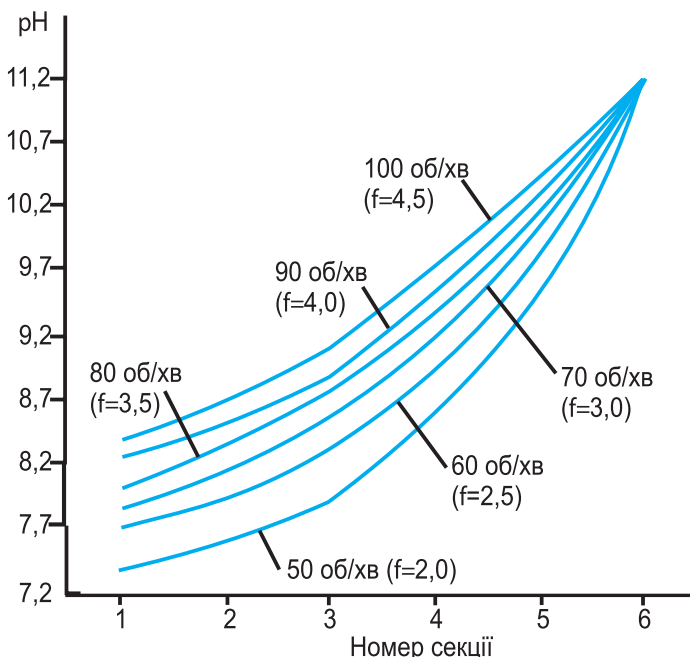


Рис. 5. Криві зміни рН соку по секціях секційно-рециркуляційного переддефекатора при різних кількостях обертах валу та коефіцієнта рециркуляції f

Таблиця 3.

Основні статистичні характеристики секційно-рециркуляційної моделі переддефектора (за $\bar{\tau} = 15$ хв. для варіанту теплої переддефекції)

Статистичні характеристики за кривими відгуку	$\bar{\tau}$, хв	σ^2	D , м ² /хв	Pe	K_z
Секційна модель із 6-ти секцій без рециркуляційного потоку	11,0	0,1	0,002	12,80	0,03
Секційно-рециркуляційна модель за коефіцієнта рециркуляції:					
$f \approx 1,5$	11,2	0,184	0,004	7,6	0,34
$f \approx 2,0$	11,4	0,32	0,006	5,0	0,36
$f \approx 2,5$	12,6	0,44	0,008	3,8	0,39
$f \approx 3,5$	19	0,57	0,011	2,8	0,42
$f \approx 4,5$	23	0,64	0,013	1,9	0,44

де K_z – коефіцієнт застійних зон (розрахунок за [3])

повного ступеня видалення розчинних нецукрів осадженням їх в оптимальних умовах переддефекції (рис. 5).

Із рис. 5. видно, що підвищення кількості рециркуляційного потоку при коефіцієнті рециркуляції більше 3,5 не дозволяє підтримувати раціональну криву зростання рН та лужності соку по секціям переддефектора і відповідно ефективного проведення процесу.

Також були проведені дослідження на імпульсне введення індикатора в основний потік (дифузійний сік) секційно-рециркуляційної моделі, отримані функції розподілу часу перебування елементів потоку в переддефекторі, розраховані щільності розподілу безрозмірного часу перебування частинок потоку в реакторі і їх основні статистичні характеристики. Для секційно-рециркуляційної моделі переддефектора за різних величини коефіцієнтів рециркуляції основні статистичні характеристики представлені в табл. 3.

Із табл. 3. видно, що з підвищенням витрат протитечійного потоку підлуженого соку (для забезпечення прогресивного підвищення рН та лужності соку по секціям переддефектора), збільшується величина дисперсії часу перебування частинок потоку соку від 0,32 до 0,44 відповідно для значень коефіцієнта рециркуляції від 2,0 до 2,5. При підвищення коефіцієнтів рециркуляції від 3,5 до 4,5 величина дисперсії збільшується до 0,64. Розрахована зростаюча величина коефіцієнту застійних зон від 0,36 до 0,44 для коефіцієнта рециркуляції підлуженого соку відповідно від 2,0 до 4,5 в переддефекторі, що, з точки зору класичної хімічної технології, не є кращим варіантом для забезпечення максимального ступеня осадження деяких розчинних нецукрів дифузійного соку на попередній дефекації.

Про це також свідчить значення критерію Пекле, що за величини коефіцієнта рециркуляції $f \approx 4,5$ дорівнює $1,9$ ($Pe \rightarrow 0$ для реактора ідеального змішування і $Pe \rightarrow \infty$ для реактора

ідеального витіснення). Із таблиці 3. також видно, що для секційно-рециркуляційної моделі зі збільшенням кількості рециркульованого потоку від $f = 1,5$ до 4,5 погіршуються основні статистичні характеристики у порівнянні з секційною моделлю з послідовно з'єднаних реакторів повного змішування.

Одним із методів оцінки гідродинамічної структури потоків у фізичній моделі секційно-рециркуляційно переддефектора може бути порівняння кривих щільностей розподілу часу перебування елементів потоку в апараті із теоретичною щільністю розподілу за законом Гауса (і правилом 3σ) [10].

Із рис. 6. видно, що характер експериментальних щільностей розподілу часу перебуван-

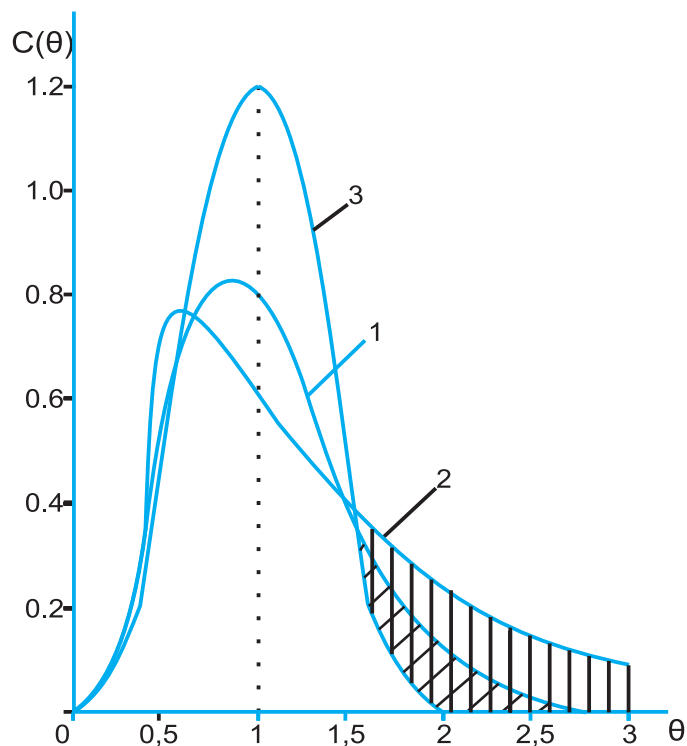


Рис. 6. Криві щільностей розподілу безрозмірного часу перебування елементів потоку у моделі секційного реактора: 1 – в секційному реакторі з секціями повного змішування; 2 – в секційно-рециркуляційному переддефекторі; 3 – теоретична щільність розподілу за законом Гауса

ня елементів потоку для моделі секційного реактора та секційно-рециркуляційного переддефекатора практично виключає наявність байпасу, оскільки ліві гілки кривих майже співпадають з теоретичною кривою 3, однак не повністю ліквідовані застійні зони в апаратах, про що свідчить деякий хвіст правої частини експериментальної кривої щільності розподілу для секційного реактора – показано заштрихованою площею між кривими 3 і 1 [10]. Для секційно-рециркуляційного переддефекатора цей хвіст суттєво збільшується, як показано заштрихованою площею між кривими 3 і 2.

Подальший розвиток математичного моделювання процесу попередньої дефекації дифузійного соку буде доцільно шляхом визначення повноти осадження нецукрів на основі їх кінетичної моделі та функцій розподілу часу перебування частинок потоку в даному апараті. За такого підходу та комплексної оптимізації стане можливою інтенсифікація попередньої дефекації з подальшою розробкою нового високоєфективного апаратурного оформлення та модернізацією існуючого.

ВИСНОВОК

Проведені дослідження гідродинамічної структури основного та рециркуляційного потоків у фізичній моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора. Отримані функції розподілу часу перебування стали базою для розрахунку щільностей розподілу безрозмірного часу перебування і основних статистичних характеристик з метою створення спочатку секційної моделі із секціями повного змішування (для руху основного потоку – дифузійного соку) та секційно-рециркуляційної моделі (для руху основного та протитечійного потоків), що адекватно описують експериментальні дані. Дослідження показали, що зростання кількості протитечійного потоку за коефіцієнта рециркуляції більше 3,5 не дозволяє підтримувати раціональну криву підвищення pH та лужності по секціям переддефекатора та ефективного проведення процесу переддефекації. Збільшення величини протитечійного потоку підлуженого соку із останньої секції до першої вносить зростаючу дисперсію часу перебуван-

ня елементів потоку в апараті. Подальше моделювання гідродинамічної структури потоків надасть змогу, при поєднанні із кінетикою визначальних хімічних реакцій переддефекації запропонувати заходи по інтенсифікації процесу із розробкою нового апаратурного оформлення та підвищення ефективності існуючого.

Список використаних джерел

1. Рева Л.П., Пышняк В.В., Малюк В.Ф. Устройство для предварительной прогрессивной дефекации диффузионного сока. А.с. № 536229. – 1976. – БИ № 43. Рева Л.П., Мірошник В.О., Петруша О.О., Апарат для попередньої прогресивної протитечійної обробки дифузійного соку вапняним реагентом, ПУ №50226. – 2010. – Бюл. № 10.
2. Рева Л.П., Петруша О.О., Мірошник В.О. Створення фізичної моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора для підвищення ефективності процесу переддефекації // Наукові праці НУХТ, – 2011. – № 35.
3. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов: М.: Химия. 1969. – 624 с.
4. Холоднов В.А. Системный анализ и принятие решений. Математическое моделирование гидродинамической структуры однофазных потоков в химических реакторах. [Текст]: учебное пособие / В.А. Холоднов, В.П. Решетиловский, Е.С. Боровинская, В.П. Андреева, СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2009. 35 с.
5. Гельперин Н.И., Пebaлк В.Л., Костанян А.Е. Структура потоков и эффективности аппаратов химической промышленности. М., «Химия», 1977. – 264 с.
6. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками, Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А. Л., «Химия», 1975. – 384 стр.
7. McGinnis K.A. Beet-Sugar Technology — Third ed. — New York, 1982.
8. Боровков А.А. Теория вероятностей: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. 1986. — 432 с.
9. Шостаковский В.А., Рева Л.П., Шостаковский А.В., Мірошник В.О. Гидродинамика непрерывнодействующих аппаратов очистки диффузионного сока. // Сахар. – 2009. – 5. – с.42-47.

ЦІКАВІ НОВИНИ

До 2050 року чверть усього палива у світі буде біологічною

До 2050 року використання біопалива для транспортних потреб досягне 27%. Такий прогноз оприлюднило Міжнародне енергетичне агентство. Зараз доля такого пального не перевищує двох відсотків. Росту його споживання сприятиме розвиток нових технологічних процесів. Як вважають фахівці, в найближчому майбутньому біопаливо добуватимуть з целюлози і органічних відходів. Це приведе до значну зниженню викидів вуглекислого газу, а також ефективного знищенню сміття. Інвестиції в цю сферу повинні скласти 11-13 трильйонів доларів.