

УДК 664.1.038

Л.П. Рева, д-р. тех. наук

О.О. Петруша

Національний університет
харчових технологій

В.О. Мірошник, канд. техн. наук

Національний університет
біоресурсів і природокористування
України

СТВОРЕННЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОГРЕСИВНОГО ПРОТИТЕЧІЙНОГО ПЕРЕДДЕФЕКТОРА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДДЕФЕКАЦІЇ

Однією із важливих технологічних стадій бурякоцукрового виробництва є процес попередньої дефекації дифузійного соку, під час якого намагаємось досягти максимального ступеня осадження із розчину ряду нецукрів та отримати осад з хорошими седиментаційно-фільтрувальними показниками. На основі фізичного моделювання була створена фізична модель апаратного оформлення кращого варіанта прогресивної протитечіної переддефекації за принципом Брігеля-Мюллера. Фізична модель базується на відомому вертикальному реакторі прогресивної протитечіної переддефекації (з деякими удосконаленнями) для забезпечення раціонального наростання рН соку по секціям.

Ключові слова: переддефекація, фізична модель, моделювання, критерій подібності, реактор.

One of the important stages of sugar beet production is a process of predefecation prior diffusion juice bowel movements, which are strive to achieve the maximum degree of deposition of a number of solutions nonsugars and get good sedimentation from sediment-filtering parameters. Based on the physical simulation model was established physical apparatus design a better option for progressive predefecation Brihel-Muller principle. Physical model based on the known vertical reactor progressive predefecation (with some improvements) to ensure the rational increase of juice pH by section.

Key words: predefecation, physical models, the similarity criterion, reactor.

В технології очищення дифузійного соку складовими стадіями хіміко-технологічних процесів очищення є (інтенсифіковані необхідною турбулізацією систем) процеси масопереносу в рідку фазу: 1) лужного реагента розчиненням частинок твердої фази гідроксиду кальцію з його дисоціацією до іонів Ca^{2+} і OH^- (на переддефекації дифузійного соку та основній дефекації); 2) діоксиду вуглецю в результаті абсорбції CO_2 рідкою фазою соку. З наступними хімічними реакціями лужної гідратації розчиненого CO_2 до аніонів CO_3^{2-} і утворенням ефективного адсорбента розчинних нецукрів — CaCO_3 (сатурації дефекованого соку).

Попередня дефекація, як технологічний процес оброблення дифузійного соку відносно невеликою кількістю вапна (до оптимальних величин рН і лужності) для максимального видалення із розчину деяких нецукрів (ВМС і аніонів кислот у формі малорозчинних солей кальцію) в осад, який був би достатньо стійким до умов високого вмісту розчиненого вапна і температури гарячого ступеня комбінованої основної дефекації в сучасній схемі очищення соку і мав би хороші седиментаційно-фільтрувальні показники, є одним із ефективних технологічних процесів очищення дифузійного соку.

Причому, однією із додаткових технологічних вимог для досягнення високого ступеня осадження нецукрів в умовах переддефекації (окрім оптимізації колоїдно-хімічних реакцій) є забезпечення необхідного змішування добавленого до дифузійного соку вапняного молока та турбулізації системи в режимі роботи прогресивного секціонованого реактора з урахуванням швидкостей потоків в раціональній конструкції апарата [1]. Ця вимога виражається, також такою характеристикою процесу, як тривалість перебування реакційної суміші в кожній секції та в цілому у прогресивному переддефекаторі для забезпечення раціональної динаміки підвищення pH і лужності соку (від дифузійного до оптимально переддефекованого), узгоджуючи з гідродинамікою процесу.

Загалом вимоги до апаратурного оформлення прогресивної попередньої дефекації дифузійного соку, можна сформулювати так:

1) найефективніше проведення процесу, за умови отримання найвищого ступеня перетворення цільового компонента, що для процесу попередньої дефекації відповідатиме максимальному ступеню осадження деяких нецукрів (ВМС — білків та пектинів, а також аніонів кислот у формі малорозчинних солей кальцію);

2) підтримання такої динаміки підвищення pH та лужності соку по секціям переддефекатора, яка б забезпечувала отримання після проведення процесу (окрім максимального ступеня осадження нецукрів), також структури осаду, що був би достатньо стійким до умов високого вмісту розчиненого вапна та температури під час основної дефекації.

Найкращим на сьогоднішній день апаратурним оформленням процесу попередньої обробки дифузійного соку невеликою кількістю вапна є проведення у вертикальному апараті прогресивної протитечійної переддефекації за принципом Брігель-Мюллера [2]. Цей апарат у порівнянні з горизонтальним прогресивним протитечійним апаратом Брігель-Мюллера, має певні переваги, а саме меншу поверхню контакту соку з повітрям, значно меншу металоємність та займає меншу виробничу площу, конструкція перегородок надає можливість організації раціонального протитечійного руху потоків, нескладне та швидке регулювання зміни pH та лужності по секціям апарата, з відсутністю байпаса частково обробленого дифузійного соку, що має місце в самій нижній частині горизонтального переддефекатора.

Але до недоліків вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора [2] можна віднести дещо невіддале конструктивне рішення рухомої заслінки на верхній кромці всмоктувального патрубку, верхня частина якого розміщена над конусною перегородкою. В результаті цього в кожній секції апарата між верхньою частиною всмоктувального патрубку та поверхнею конусної перегородки можуть мати місце застійні зони. А це в свою чергу призведе до тривалого, неконтрольованого перебування певної частини підлуженого дифузійного соку з утвореним переддефекаційним осадом. Також недосконалим є сам варіант рухомої заслінки, яка складається із двох напівдисків, що ускладнює її конструкцію, промислову експлуатацію та проведення ремонтних робіт.

Нами було запропоновано варіант удосконалення вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора для усунення його деяких недоліків, забезпечення раціональної динаміки підвищення pH та лужності по секціям апарата і отримання високого ефекту осадження нецукрів та необхідної структури осаду за седиментаційно-фільтрувальними показниками [3].

Загальний вигляд апарата із запропонованими змінами представлений на *рис.*

1. Прогресивний протитечійний переддефекатор складається із вертикальної ємності (з патрубками для підведення дифузійного соку, вапняного реагенту, осаду карбонату кальцію та відведення переддефекованого соку), поділеної конічними перегородками з вирізаними сегментами на шість секцій з встановленими у кожній секції (на всмоктувальних патрубках) заслінками та турбінками на валу, які одночасно вико-

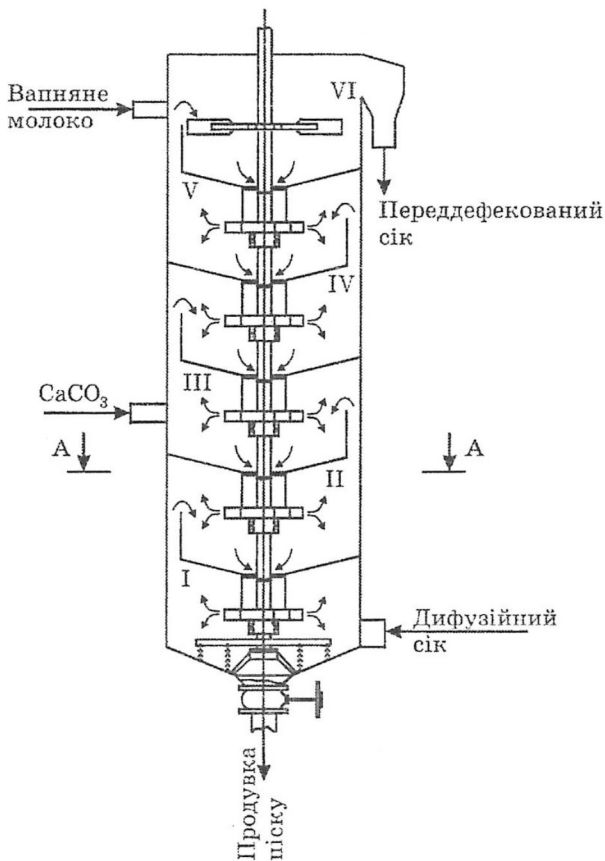


Рис. 1. Загальний вигляд удосконаленого вертикального апарата для попередньої прогресивної протитечійної обробки дифузійного соку вапняним реагентом [3]

протитечійної рециркуляції більш лужного соку здійснюється прогресивне наростання лужності соку секціях знизу уверх.

Недоліки вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора [2] усуваються за рахунок видозміни рухомих заслінок на п-подібну форму, що здійснюють зворотно поступальний рух для регулювання площі перетину вхідного отвору всмоктувального патрубку, до того ж вони закріплені на нижній кромці конусних перегородок, що практично дозволяє виключити можливі у застійні зони [2]. У верхній частині всмоктувального патрубку, що знаходиться під конусною перегородкою розміщено нерухомий клин 2 (рис. 2.), який перешкоджає неконтрольованому переходу соку із секції з більшою лужністю у секцію з меншою лужністю, при повному закритті рухомою п-подібною заслінкою перетину всмоктувального патрубку.

В результаті видалення верхньої частини всмоктувального патрубку, що був розміщений над конічною перегородкою у переддефекаторі [2] та відповідно переміщення рухомої заслінки на нижню кромку конусної перегородки, практично виключаються застійні зони у самій нижній частині конусних перегородок, які погіршують гідродинаміку руху потоків у переддефекаторі. Це сприятиме більш контрольованому руху потоків в апараті та забезпеченню раціональної зміни рН та лужності соку по секціям з досягненням високих якісних та седиментаційно-фільтрувальних показників соку.

Для проведення досліджень гідродинаміки потоків у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі було розрахована і виготовлена фізична

нують функції як насоса для перекачування (рециркуляції) необхідного об'єму більш лужного соку із розміщеної вище секції, так і ефективної мішалки для швидкого змішування рециркульованого соку з соком основного потоку, що надходить в секцію через сегментний канал. Дифузійний сік надходить в нижню частину апарата, заповнюючи I секцію. Через сегментний канал у конусній перегородці сік із I секції надходить у II секцію, і т.д. аж до VI секції. В останню секцію подається вапняне молоко у необхідній кількості для забезпечення $pH_{\text{опт}}$ і оптимальної лужності переддефекованого соку. При відкритті рухомої заслінки частина соку із VI секції через патрубок у конічній перегородці надходить у турбінку і викидається в V секцію, де змішується із менш лужним соком. Із V секції частина соку повертається в IV секцію і т.д., забезпечуючи при цьому раціональне наростання рН та лужності від I до VI секції переддефекатора. Таким чином, за рахунок

модель такого переддефекатора. Перед тим, як безпосередньо приступити до процесу створення фізичної моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора потрібно було чітко сформулювати основні вимоги, які допомогли б адекватно наблизити цю фізичну модель до реально існуючого реактора.

По-перше, створена фізична модель повинна відтворювати в собі, той же хіміко-технологічний процес, що протікає у прогресивному протитечійному реакторі [3], тобто модель повинна забезпечувати геометричну, часову та фізичну подібності реального переддефекатора.

По-друге, для більшої наочності, фізичну модель необхідно виготовити з прозорого матеріалу. Це дасть змогу спостерігати за перебігом процесу по секціям вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора.

По-третє, процес прогресивної переддефекації для підтримання раціональної динаміки підвищення рН і лужності соку по секціям повинен здійснюватись за умови забезпечення необхідних величин рециркуляції більш лужного соку турбінками та інтенсивного перемішування ними у кожній секції рециркульованого соку і соку основного потоку, тобто фізична модель повинна мати (регульований за кількістю обертів) двигун і турбінки на вертикальному валу в кожній секції, які виконують роль як насоса, так і перемішувача пристрою.

По-четверте, конструкція фізичної моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора, повинна бути виконана таким чином, щоб установку можна було в будь-який момент доповнити деякими елементами та деталями.

Для лабораторного дослідження процесу попередньої обробки дифузійного соку вапняним реагентом у вертикальному прогресивному протитечійному апараті виробничою продуктивністю 3000 т буряків на добу у фізичній моделі було обрано значення геометричного симплексу: $\Gamma \approx 3,5$ з 20-кратним зменшенням від реально існуючого прототипу. При цьому внутрішній діаметр корпусу фізичної моделі зменшився до 140 мм, висота секції до 80 мм, а нахил конусних перегородок обрали тотожний.

Корпус фізичної моделі вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора було виготовлено із поліметилметакрилату (ПММА) — синтетичного полімера метилметакрилата, термопластичного, прозорого пластика, що виготовляється під назвою — *Plexiglass*.

Одним з визначальних функціональних елементів вертикального переддефекатора (повторений у фізичній моделі), завдяки яким досягаємо проведення процесу прогресивної протитечійної попередньої дефекації, є турбіна мішалка закритого типу, яка встановлена таким чином, що при обертанні створюється насосний ефект для повернення соку із розташованої вище секції з більшою лужністю у нижчу секцію з меншою лужністю. Для розрахунку продуктивності пристрою, за рахунок якого здійснюється ця рециркуляція, тобто, ступеня насосного ефекту, необхідно встановити, геометричні розміри даної конструкції та розрахувати необхідну швидкість обертання насосної турбінки, а також знайти зв'язок та співвідношення між цими величинами.

При моделюванні вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора основним критерієм гідродинамічної подібності було обрано критерій Рейнольдса, що визначає характер руху рідкої фази:

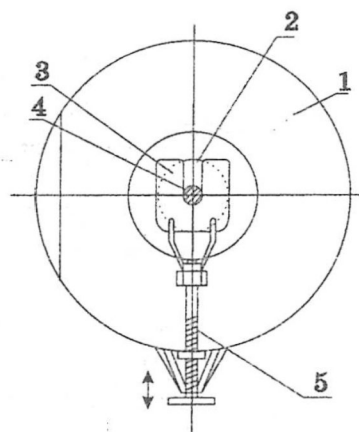


Рис. 2. Розріз А-А вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора (рис. 1.):

- 1 — конусна перегородка;
- 2 — нерухомий клин;
- 3 — рухома заслінка;
- 4 — вал;
- 5 — пристрій регулювання руху заслінки

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot l}{\mu} = \frac{u \cdot l}{\nu} \quad (1)$$

де ρ — густина рідкої фази, кг/м^3 ; u — швидкість руху рідкої фази, м/с ; l — характерний лінійний геометричний розмір, м ; μ — коефіцієнт динамічної в'язкості, $\text{Па} \cdot \text{с}$; ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$.

Критерій Рейнольдса в реальному прогресивному протитечіному переддефекаторі склав $0,37 \cdot 10^3$ і для фізичної його моделі $0,36 \cdot 10^3$.

Було вирішено при розрахунках відповідності процесу у фізичній моделі та реальному апараті використати також критерій Пекле, що характеризує подібність полів концентрації та швидкостей в турбулентних потоках [4]:

$$Pe = \frac{u \cdot l}{D} \quad (2)$$

де D — коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$.

В результаті проведення розрахунків величина критерія Пекле для реального переддефекатора склала $2,8 \cdot 10^{-9}$ та для його моделі — $2,76 \cdot 10^{-9}$.

Для детального дослідження гідродинаміки потоків у вертикальному прогресивному протитечіному переддефекаторі та зміни pH соку по секціям у кожній секції фізичної моделі вмонтовані крани для відбору проб.

Перші дослідження показали, що фізична модель в достатньому ступені відтворює гідродинамічні умови процесу в реальному вертикальному прогресивному протитечіному переддефекаторі, що дозволяє проводити дослідження в наближеному до заводських умов технологічному процесі. Тому подальші дослідження варіантів проведення процесу у фізичній моделі нададуть можливість одержання результатів, які відповідатимуть технологічному процесу у промисловому апараті прогресивної протитечіної переддефекації.

За даними Брігель-Мюллера [5] найкращою формою підвищення pH по секціям прогресивного протитечіного переддефекатора, є така, за якою в перших секціях pH повинно зростати досить повільно, а в останніх більш стрімко до кінцевого оптимального значення і таке проведення процесу буде якомога повніше відповідати меті, поставлений перед попередньою дефекацією дифузійного соку.

На фізичній моделі були проведенні відповідні дослідження (з модельними розчинами) зміни величин значень pH по секціям апарата шляхом регулювання площі перетину вхідного отвору всмоктувального патрубку від секції « n » до секції « $n-1$ », та отримана відповідна гістограма *рис. 3*, що може розглядатись як кращий варіант зміни pH та лужності по секціям висоти апарату.

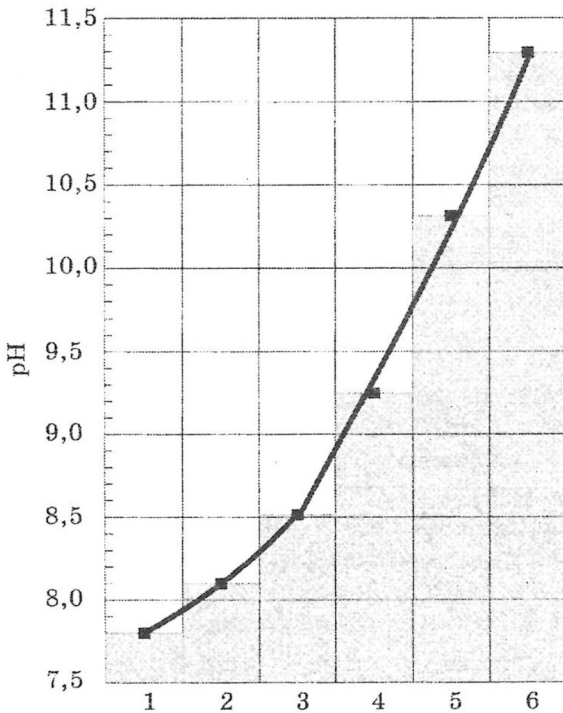


Рис. 3. Динаміка підвищення pH по секціям вертикального прогресивного протитечіного переддефекатора

У подальшому планується вивчення (на основі фізичної моделі) гідродинаміки потоків у вертикальному прогресивному протитечійному переддефекаторі з одержанням відповідних гідродинамічних моделей, а також проведення технологічних досліджень очищення дифузійних соків різної якості для встановлення оптимальних режимних параметрів роботи даного апарата.

Висновок. Виконані відповідні розрахунки і створена фізична модель вертикального прогресивного протитечійного переддефекатора для очищення дифузійного соку. Фізичне моделювання базувалося на критеріях подібності, завдяки чому створена лабораторна установка виявилась наближеною до умов експлуатації кращого варіанта прогресивного переддефекатора, що в свою чергу надає можливість в детально вивчати процес прогресивної протитечійної переддефекації дифузійного соку в оптимальному технологічному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Берлин Ал.Ал., Прут Э.В., Химические реакторы//Соросовский образовательный журнал. — 2000. — № 4. — С. 30–36.
2. Рева Л.П., Пишняк В.В., Малюк. В.Ф. Устройство для предварительной прогрессивной дефекации диффузионного сока. А.с. № 536229, БИ № 43, 1976.
3. Рева Л.П., Мірошник В.О., Петруша О.О., Апарат для попередньої прогресивної протитечійної обробки дифузійного соку вапняним реагентом, ПУ №50226, Бюл. № 10, 2010.
4. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. — Новосибирск: Наука, 1986. — 297 с.
5. Бргель-Мюллера А. Методы очистки свекловичного сока// *Zeitschrift für die Zuckerindustrie*. — 1959. — № 11. — P. 557–564.