

Інтенсифікація масообміну в трубопроводах за рахунок сил інерції

Соколенко А.І., Піддубний В.А., Хоменко М.Д., Васильківський К.В.,
Національний університет харчових технологій
Підлісний В.В.,
Подільський державний аграрно-технічний університет

Однією з важливих технологічних складових виробництва цукру з буряків є очищення дифузійного соку, який є багатокomпонентною системою з розчиненими у воді сахарозою та нецукрами і завислими частинками біологічних домішок. В умовах постійних змін якості цукросировини має місце безперервне удосконалення способів очищення та окремих технологічних процесів на основі інтенсифікації тепло- та масообміну.

Спеціалісти [1-3] вбачають значний резерв у підвищенні ефективності очищення дифузійного соку за рахунок попереднього вапнування та І-ої сатурації, які сприяють підвищенню ступеня вилучення нецукрів та покращенню седиментаційних і фільтраційних властивостей осаду. З останнім пов'язують відомий у цукровому виробництві ефект пересатування. Активізація вапнування найчастіше досягається гідродинамічними методами змішування соку основного потоку з лужними реагентами за рахунок використання струменевих змішувачів або змішувачів на основі використання потенціальної енергії потоку соку.

Взаємодія між матеріальними потоками або їх фазами є причиною зміни стану їх руху і характеризується сукупністю внутрішніх і зовнішніх силових дій. Відомо, що в русі масового потоку перехід від криволінійних до прямолінійних ділянок (і навпаки) супроводжується миттєвою стрибкоподібною появою (або зникненням) нормального прискорення і відцентрової сили,

результатом чого є м'який удар. Зі зміною напрямку потоку за впливу земного тяжіння в потоці відбувається додатковий перерозподіл сил і фаз в поперечному перерізу. Оцінка впливів гідродинамічних ударів і перспектив використання подібних перехідних процесів є завданням цього дослідження.

Попередній аналіз, пов'язаний з рухом потоків газів і рідин, показують можливість суттєвого впливу на їх гідродинамічний стан і масообмін.

Останнє має особливі перспективи стосовно газорідинних систем. Раніше відмічалось, що з точки зору інтересів впливу на міжфазну поверхню і збільшення рівня дисперсності газової фази необхідно досягати зростання силових взаємодій останньої з рідинною фазою. Досягнення подібної інтенсифікації можливе як за рахунок зовнішніх впливів на потік, що достатньо часто використовується, так і за рахунок створення інерціальних впливів, передумовою яких є переміщення потоків. При цьому впливи досягаються за рахунок сполучення потенціального поля сил тяжіння і потенціальних полів сил інерції різних величин і орієнтацій в просторі силових дій.

Припустимо, що масообмінний трубопровід відповідає послідовному сполученню криволінійних ділянок зі сталими радіусами кривини r (рис. 1). В точках перегину цієї кривої 1, 2, 3, 4 і 5 мають місце м'які удари, а у точках 2, 3 і 4 м'які удари є у вигляді подвоєної сили інерції F_i .

На ділянках 1–2, 2–3... зі сталими радіусами кривини сили інерції у своїй дії на одиничні маси залишаються сталими за величиною і напрямками, однак в точках перегину їх напрями змінюються на 180° , що приводить до перерозподілу у дії сил

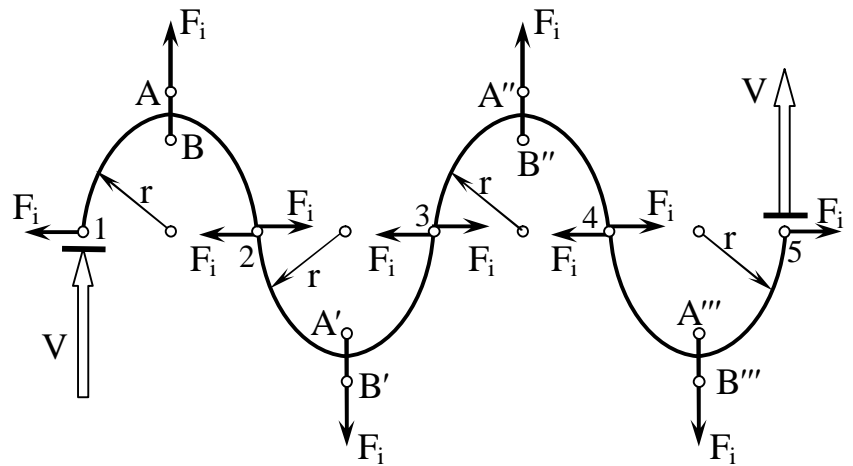


Рис. 1. Схема до визначення інерційних силових впливів за криволінійної ділянки транспортної системи з точками перегину траєкторії

тертя між потоком і трубопроводом і до змін гідродинамічного режиму. Зміна напрямку сил інерції відносно потоку відіграє роль фактора інтенсифікації, що особливо стосується газорідних потоків.

Вибір траси трубопроводу у формі, наприклад, синусоїди приводить до змінних радіусів кривини.

Відомо, що загальній синусоїдальній залежності відповідає рівняння

$$y = A \sin(\omega_0 x + \varphi_0),$$

де амплітуда $A > 0$ і кругова частота $\omega_0 > 0$.

Це періодична функція з періодом $T = 2\pi$ (рис. 2), графік якої перетинає вісь Ox в точках з координатами $(n\pi; 0)$ (n – всяке ціле число). Вказаним координатам відповідають точки перегину кривої. Дотичні в цих точках утворюють з додатнім напрямом осі Ox кути $\pi/4$ або $-\pi/4$.

Значення радіуса кривини у цьому випадку визначаються формулою

$$r = \frac{\left(1 + A^2 \omega_0^2 \cos^2 \omega_0 x\right)^{3/2}}{-A \omega_0^2 \sin \omega_0 x}.$$

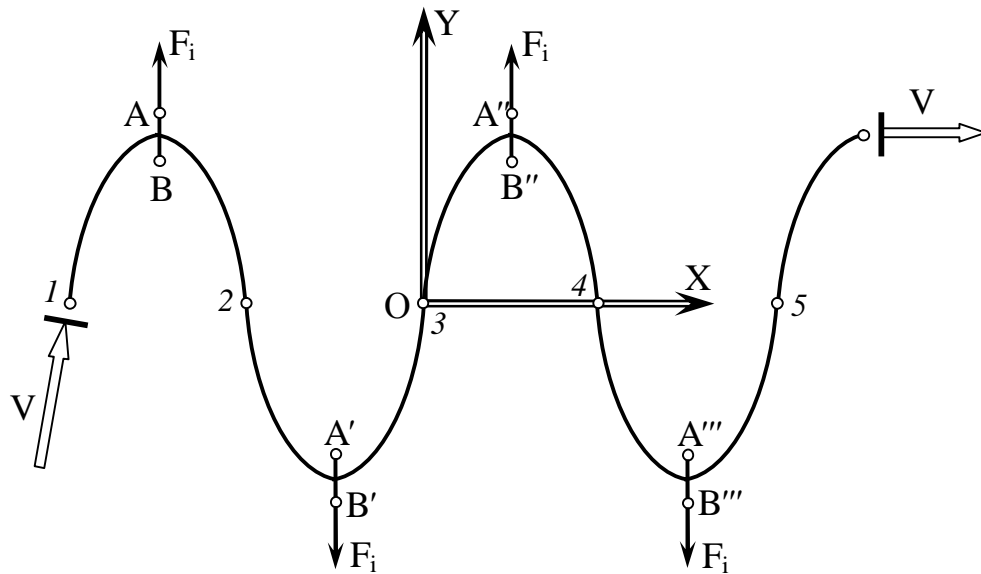


Рис. 2. Схема до визначення силових параметрів щодо синусоїдальної траси

Визначимо значення радіусів кривини в точках перегину і в екстремумах. При цьому відмітимо, що комплекс у чисельнику останньої залежності буде додатнім за всяких значень x , оскільки функція косинуса входить до неї у квадраті. Це означає залежність знака радіуса кривини тільки від знака синуса, а саме: у першому та другому квадрантах радіус від'ємний, а у третьому та четвертому – додатній.

Відмітимо, що поняття додатного і від'ємного значення радіуса кривини стосуються опуклої і ввігнутої частин синусоїди відносно обраної системи координат, хоча з фізичної точки зору радіус кривини від'ємним бути не може.

Таким чином, за випадку синусоїдальної траси трубопроводу сила інерції, що діє на одиничну масу m

$$F_i = m \frac{-V^2 A \omega_0^2 \sin \omega_0 x}{(1 + A^2 \omega_0^2 \cos^2 \omega_0 x)^{3/2}}$$

є змінною за величиною і напрямом.

Отримані залежності дають основу для конструктивного виконання апаратів в буряко-цукровому виробництві з надзвичайно високим ступенем інтенси-

фікації процесів змішування систем: дифузійного, дефекованого, сатураційного соків, вапняного молока та інших рідинних, газових і багатокomпонентних систем.

Як приклад до використання автори пропонують триступеневу систему обробки технологічних потоків дифузійного соку у цукровому виробництві (рис. 3).

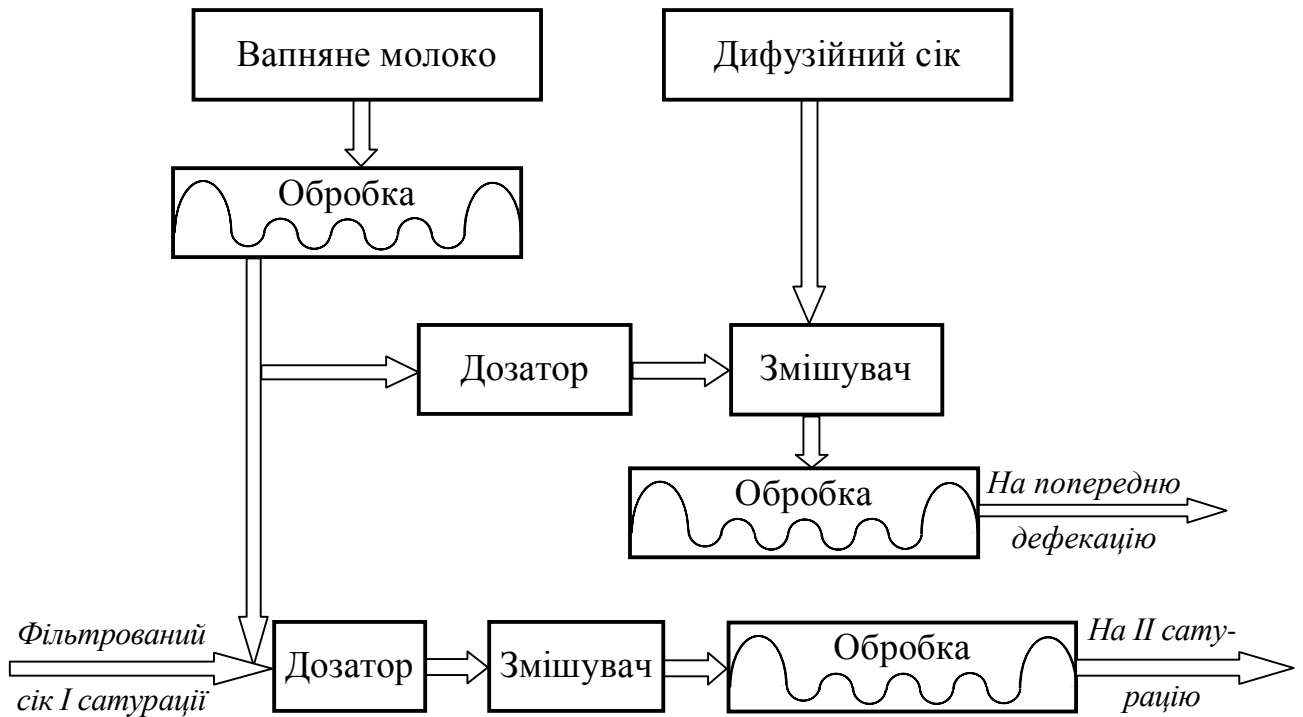


Рис. 3. Схема триступеневої обробки дифузійного соку у цукровому виробництві: I ступінь – вапняне молоко; II ступінь – сирий дифузійний сік; III ступінь – фільтрований сік I сатурації

Висновки. 1. Ступінь змішування рідинних, газових або газорідинних потоків суттєво залежить від траси трубопроводу. Переходи від прямолінійних до криволінійних ділянок траси супроводжується динамічними явищами на рівні м'яких ударів.

2. Змінна кривина траси трубопроводу забезпечує змінні за величиною і напрямом силові дії у вигляді сил інерції. Наявність перегинів осі траси

приводить до зміни на 180° орієнтації сил інерції відносно потоку. За випадку траси у формі комбінацій з послідовних півкіл зі сталими радіусами кривини стрибкоподібна зміна сили інерції подвоюється.

3. Екстремумам синусоїдальної форми траси трубопроводу відповідають найменші радіуси кривини і найбільші відцентрові сили. Зміна напрямів відцентрових сил є важливим фактором інтенсифікації масообміну в потоках.

Література

1. Штангеев В.О., Кобер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. Часть 1. – К.: Цукор України. – 2003. – 352 с.

2. Логвин В.М., Симахина Г.А., Рева Л.П. и др. Новый аппарат прогрессивной преддефекации марки А2-ППР. // Сахарная промышленность. – 1987. – № 3. – С. 38-41.

3. Логвин В.М. Наукові основи та розроблення високоефективних технологічних процесів очищення дифузійного соку. Автореф. дис. на здобуття ступеня докт. техн. наук. – К.: НУХТ. – 2006. – 47 с.

4. Соколенко А.И., Украинец А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевых производств. Книга 1. Механика. – К.: АртЭк, 2001. – 304 с.