

УДК 664.1: 641.1

О.С. Марценюк, докт. техн. наук,

П.М. Немирович, канд. техн. наук,

М.М. Жеплінська, канд. техн. наук,

Л.М. Хомічак, докт. техн. наук

Національний університет харчових технологій

І.М. Пастушенко,

Український науково-дослідний інститут цукрової промисловості

А.М. Матияшук, канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТІВ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ І ПАРОКОНДЕНСАЦІЙНОЇ КАВІТАЦІЇ У ЦУКРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Проаналізована можливість застосування гідродинамічної і пароконденсаційної кавітації в цукровій промисловості з поясненням фізико-хімічних ефектів, які виникають під час кавітації і сприяють очищенню дифузійних соків і клеровок, підвищенню реакційної здатності водно-вапняних суспензій, прискорення процесів відстоювання, фільтрування, деамонізації конденсатів.

Ключові слова: *активація, водно-вапняна суспензія, гідродинамічна кавітація, дифузійний сік, пароконденсаційна кавітація.»*

© О.С. Марценюк, П.М. Немирович, М.М. Жеплінська, Л.М. Хомічак, І.М. Пастушенко, А.М. Матияшук, 2011

Одним із напрямів підвищення ефективності цукрового виробництва є оброблення рідких технологічних продуктів різними способами, які підвищують їх реакційну активність, внаслідок чого збільшується швидкість перебігу процесів і зростає глибина технологічних перетворень. До таких

способів відносяться: гідродинамічна кавітація (ГДК) і пароконденсаційна кавітація (ПКК).

ГДК — це викликані зниженням тиску розподілені в об'ємі місцеві розриви суцільності течії з утворенням порожнин (бульбашок, каверн), заповнених паром, газом або їх сумішшю, які згодом захоплюються (колапсують) в імпульсному режимі, створюючи в місцях захоплення гідроудари. Основним діючим фактором ГДК є інтенсивні імпульси, створювані під час захоплення великої кількості дрібних бульбашок. Потужні мікроімпульси стискання рідини з виділенням газу, іонізацією і перебудовою структури рідини, створюють сприятливі умови для інтенсифікації гідромеханічних, теплових, масообмінних і хімічних процесів [1].

Аналогічні до ГДК явища виникають під час вдування струменя водяної пари через сопло в турбулізований рідкий потік з меншим ніж пара тиском і нижчою температурою. Бульбашки перегрітої відносно рідини пари подрібнюються, а потім швидко конденсуються і захоплюються, створюючи мікрогідроудари з аналогічними до ГДК кавітаційними ефектами — це пароконденсаційна кавітація (ПКК).

Для реалізації ГДК потрібно дещо складніше обладнання з гідродинамічними кавітаційними пристроями і обов'язковою установкою нагнітальних насосів, які створюють тиск 0,3...1,3 МПа, для ПКК вистачає наявності пари (1...3 % мас. до витрати рідини) потрібних параметрів, яка вдувається в потік через сопло і створює більш м'які інтенсифікуючі фактори.

Обидва види кавітації (ГДК і ПКК) можуть бути використані у цукровому виробництві для прискорення технологічних операцій та поліпшення властивостей реагентів та напівпродуктів, зокрема для інтенсифікації миття буряків і відмивання забруднень від твердої поверхні, підвищення ефективності фільтрування і промивання фільтрувальних осадів, для насичення рідин газом і дегазації рідин, прискорення освітлення і озонування стічних вод, аерації стічних вод перед фільтруванням, аерації і деаерації води, деамонізації конденсату, інтенсифікації нагрівання соку, прискорення процесів розчинення і

кристалізації цукру, подрібнення частинок суспензії, активації водно-вапняної суспензії з метою підвищення її реакційної активності. Розглянемо деякі з цих процесів.

Найбільш відомим є застосування ГДК для інтенсифікації технологічних процесів очищення дифузійного соку та супутніх операцій, зокрема активації водно-вапняної суміші [2, 3]. Інтенсифікація процесу попередньої дефекації дифузійного соку полягає в прокачуванні соку через кавітаційний пристрій, у якому відбувається ретельніше змішування реагентів за рахунок ударно-хвильової дії під час колапсу кавітаційних бульбашок. ГДК оброблення водно-вапняної суспензії скорочує її витрати на очищення дифузійного соку та підвищує технологічні показники соку на стадії очищення [4].

Підвищення реакційної здатності водно-вапняної суспензії автори пояснюють збільшенням ступеня диспергування твердих частинок суспензії та зростанням їх поверхневої енергії, а також зміною фізичних властивостей води. Ступінь активації вапна залежить в основному від кількості і розмірів кавітаційних бульбашок, що утворюються за суперкавернами. За розрахунками швидкість кумулятивних мікроструменів, при якій захоплюються бульбашки, визначається переважно їх початковим розміром і тиском в оточуючій рідині і може досягати 550 – 1000 м/с. Кумулятивні струмені не тільки подрібнюють частинки суспензії, що приводить до збільшення їх поверхневої енергії, а й, очевидно, розривають водневі зв'язки води, про що свідчить підвищення її електропровідності.

Зміною розміщення кавітатора в дифузорі за допомогою штока можна регулювати розміри кавітаційних бульбашок і, відповідно, ступінь активації вапна. В оптимальному режимі ГДК досягнуто підвищення реагентної здатності вапняного молока на 18...21 % і така ж економія його витрати.

Попереднє кавітаційне оброблення дифузійного соку [5] сприяє кращому його дефекосатураційному очищенню, зменшенню забарвленості і вмісту солей кальцію в соку першої сатурації, підвищенню доброякісності соку. Відсатурований сік швидше відстоюється і краще фільтрується.

Поєднання кавітаційного і аераційного оброблення соку попередньої дефекації перед апаратом основної дефекації дозволяє зменшити вміст солей кальцію, знизити забарвленість соку та сиропу на 10...20 %, збільшити розкладання редукуючих речовин приблизно на 10 % внаслідок додаткової активації реагуючих компонентів.

Відзначається також ефективність використання ГДК для інтенсифікації процесу попередньої дефекації з поверненням 30 % нефільтрованого соку першої сатурації. Але при неправильному дозуванні енергії кавітаційного впливу може спостерігатись погіршення седиментаційно-фільтраційних властивостей соку. Крім того, створюються певні труднощі в організації потоків у необхідному співвідношенні, дозуванні реагентів та дотриманні їх витрат для забезпечення необхідної для створення кавітаційних режимів швидкості потоків.

Для дефекації соків цукробурякового виробництва потрібний кумулятивний ефект створюють кавітаційні бульбашки радіусом 200...300 мкм, що утворюються при м'яких режимах кавітації з початковими швидкостями кумулятивних струменів не більше 150...500 м/с.

З метою прискорення хімічних реакцій в рідких середовищах, подрібнення твердих частинок при активації водно-вапняної суспензії, стерилізації живильної води для дифузії рекомендуються режими жорсткої кавітації з великою енергією і швидкістю кумулятивних струменів більше 1000 м/с.

Для запобігання негативним впливам кавітації, зокрема руйнуванню сформованих частинок осаду, слід підбирати такі режими кавітації, які відповідають їх технологічному призначенню. Ці режими підбирають здебільшого експериментально, оскільки методи їх розрахунку з достатньою точністю ще не розроблені.

Оскільки під час захоплення бульбашок у разі використання ГДК і ПКК спостерігаються аналогічні явища, то для активації водно-вапняної суспензії може бути використана і ПКК. Такі дослідження проведені [5] з використанням ПКК пристрою, показаного на рис. 1.

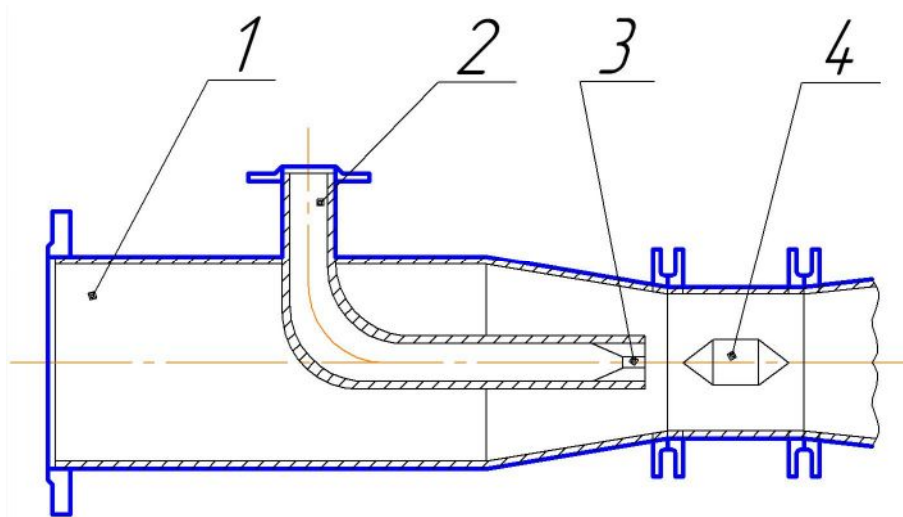


Рис. 1. Пароконденсацийний кавітаційний пристрій: 1 — трубопровід вапняного молока; 2 — патрубок для підведення пари; 3 — сопло; 4 — розподільна вставка.

У водно-вапняну суспензію з температурою 30 °С вдувалась різна кількість водяної пари тиском 0,12...0,24 МПа. Встановлено, що найбільше підвищення реакційної активності водно-вапняної суспензії на 8...10 % досягається при використанні пари тиском не нижче 0,18 МПа і її витраті 1,75...2,0 % мас. до маси суспензії (0,2 % до маси буряків).

Активація водно-вапняної суспензії пояснюється тим, що суспензія є пересиченим колоїдним розчином гідроксиду кальцію з його агломератами, що утворюються в результаті коагуляції колоїдних частинок. Крім того, у суспензії є частинки нерозгашеного CaO , покриті шаром нерозчинених частинок Ca(OH)_2 , які заважають їх переходу у розчинений стан у вигляді Ca(OH)_2 . Гідродинамічна енергія колапсу парових бульбашок руйнує агломерати, а виділена теплова енергія сприяє додатковому розчиненню подрібнених частинок, збільшуючи кількість іонів Ca^{2+} і підвищуючи реакційну активність суспензії.

Порівнювався вплив ГДК і ПКК на ефективність очищення дифузійного соку на стадії дефекосатурації. Витрату пари в дослідях з ПКК регулювали таким чином, щоб нагрівання соку не перевищувало 4...5 °С. В обох випадках дифузійний сік очищували за однаковою схемою і порівнювали показники для соку попередньої дефекації та соку першої сатурації.

Швидкість седиментації соку попередньої дефекації після ПКК зростала на 15,6 %, після ГДК — на 21,8 %, об'єм осаду в обох випадках зменшувався на 12,9 %. У соку першої сатурації швидкість відстоювання після ПКК зростала на 21,8 %, після ГДК — на 25 %, об'єм осаду зменшувався відповідно на 15,3 % та 18,6 %. Вміст солей кальцію в соку другої сатурації зменшувався відповідно на 28,2 % та 46,2 %. Дещо кращі показники соків, отриманих після ГДК, на думку дослідника [5] свідчать про більш рівномірний розподіл бульбашок у гідродинамічному кавітаційному пристрої, де була вищою турбулентність потоку у проточній частині пристрою.

Збільшення різниці температур пари і рідини сприяє зростанню ефектів ПКК внаслідок більшого накопичення енергії, яка при захопленні бульбашок передається рідині у вигляді імпульсів тиску і температури. Кавітаційні ефекти зростають зі зменшенням початкового радіуса бульбашок менше 1 мм.

Збільшення швидкості відстоювання соку попередньої дефекації внаслідок ПКК оброблення пояснюється схемою моделі взаємодії кавітаційних бульбашок з частинками речовин колоїдної дисперсності (РКД) — рис. 2.

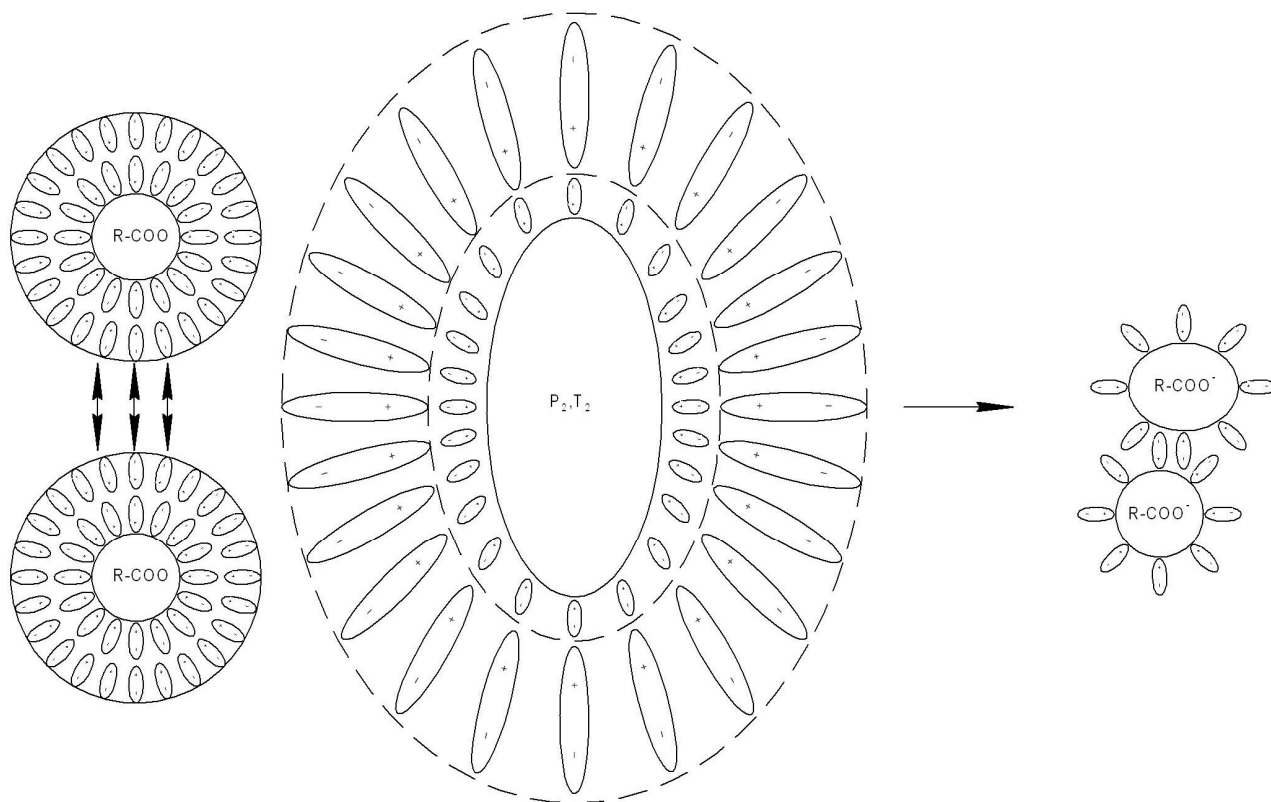


Рис. 2. Схема ущільнення частинок РКД внаслідок взаємодії з кавітаційними бульбашками

Кавітація супроводжується електричними явищами, тому бульбашки, протилежні боки яких мають різні заряди, приймають дещо сплюснену лінзоподібну форму. Внаслідок взаємодії зарядів з молекулами води, що оточує бульбашки, на поверхні бульбашок утворюється подвійний електричний шар. Частинки РКД також мають на поверхні подвійний електричний шар з від'ємним зарядом. Контактвання частинок РКД і бульбашок приводить до зниження заряду РКД, стисненню сольватних оболонок і об'єднання частинок у більш крупні, які швидше осідають. Мікрофотографії частинок осаду соків без ПКК обробки і з обробкою підтверджують зростання розмірів частинок осаду і підвищення вмісту частинок осаду з більшими розмірами (3,0...4,5 мкм) в обробленому дифузійному соку. Новоутворені агрегати частинок РКД мають менший об'єм заповнених водою прошарків і менш стисливу структуру. Коагуляція дегідратованих частинок РКД приводить до зменшення об'єму осаду.

Досліджувався вплив ГДК активації очищеної водно-вапняної суспензії (вапняного молока) на ефективність очищення клеровок цукру-сирцю [6] обробкою в активаторі, що виготовляється ЗАТ НПО «Технопром», у якому внаслідок «багаточисельних ударів робочих органів і гідродинамічної кавітації» відбувається підвищення дисперсності гідроксиду кальцію і його реакційної здатності. Після активації розчинність гідроксиду кальцію у вапняному молоці підвищувалась на 15...30 %, відповідно повніше відбувались реакції розкладання редукуючих речовин та інших нецукрів на стадії дефекації. Внаслідок цього підвищувалась ефективність очищення клеровок цукру-сирцю та їх термостійкість.

Промислові дослідження на цукрозаводі «Кристалл-2» показали, що в результаті кавітаційного оброблення активність вапняного молока зросла з 90,4 % до 93,8 %, а витрата вапняного каменя знизилась з 6,04 % до 5,23 % до маси цукру-сирцю. Ефект очищення збільшувався на 16...18 %, чистота клеровок

зростала на 0,5...0,6 %. Припинилось зниження чистоти клеровок після підварювання, а це свідчить про зниження неврахованих втрат сахарози від її термічного розкладання і підвищення термостійкості очищених клеровок.

Запропоновано [7] спосіб очищення дифузійного соку, який передбачає попереднє одночасне ПМК оброблення соку при витраті пари 0,8...1,0 % до маси буряку та хімічне оброблення дифузійного соку суспензією соку другої сатурації. Суспензія соку другої сатурації містить осад у вигляді частинок кристалічного карбонату кальцію та невелику кількість розчиненого іона Ca^{2+} . Під час кавітаційного оброблення підвищується адсорбційна здатність карбонату кальцію внаслідок подрібнення його агломератів.

При введенні суспензії у дифузійний сік відбувається нейтралізація вільних кислот без місцевого перелуження. Частинки карбонату кальцію мають позитивний поверхневий заряд і активно адсорбують утворені солі. Крім цього, частинки РКД дифузійного соку, що зазнають перетворень під дією кавітаційних ефектів, також активно взаємодіють з іоном кальцію і за механізмом хемосорбції закріплюються на поверхні частинок CaCO_3 . Результати промислових досліджень на Слущкому цукро-рафінадному заводі та Лохвицькому цукровому заводі підтвердили перспективність впровадження цього способу у цукрову промисловість.

Досліджувалось використання ГДК для інтенсивного контактування газів і рідин в теплообмінних та абсорбційних процесах [8]. На рис. 3 подана конструктивна схема контактної камери суперкавітуючого теплообмінника, випробуваного на стадії охолодження і очищення сатураційного газу Маківського цукрового заводу. Особливістю запропонованої конструкції є кільцеподібні кавітатори.

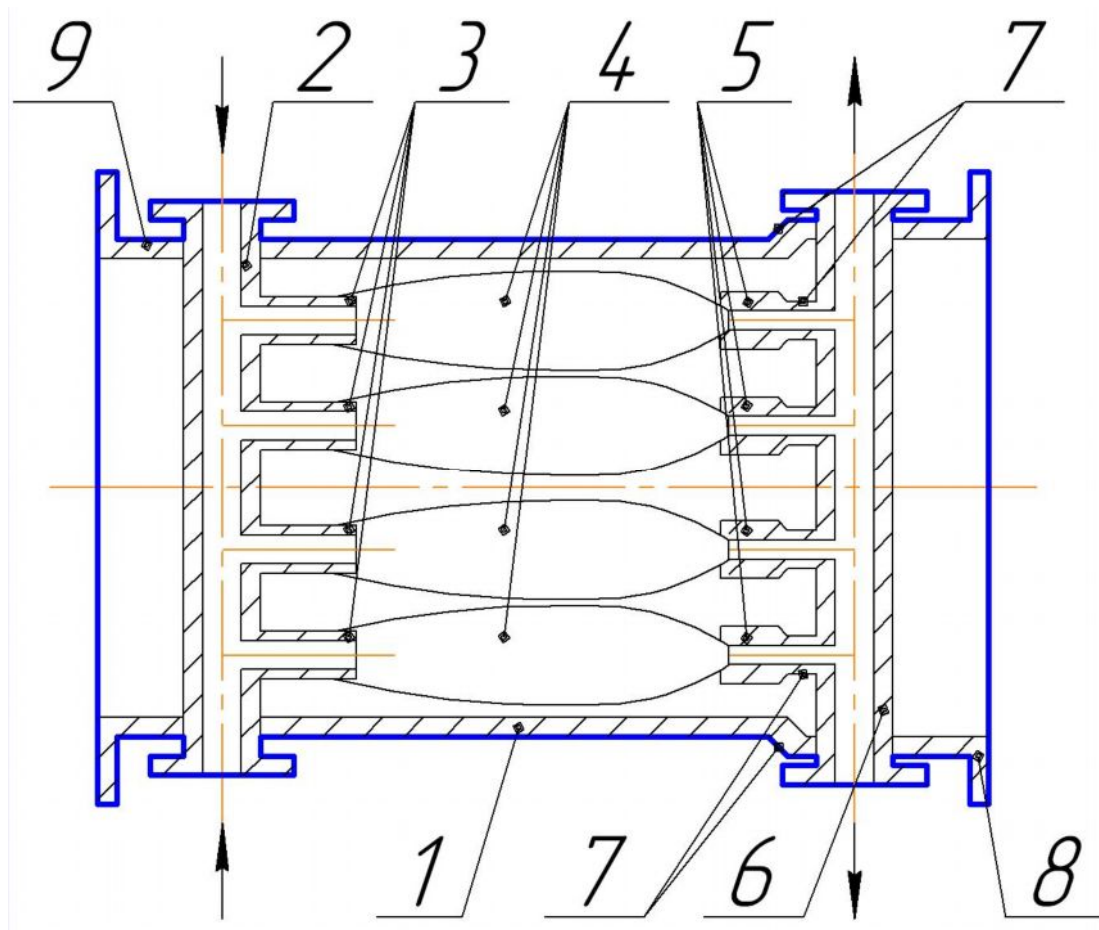


Рис. 3. Схема контактної камери суперкавітуючого газорідного теплообмінника

Теплообмінник складається з циліндричного корпусу 1, колектора 2, на якому у вигляді концентричних трубних кілець закріплені патрубки 3 подачі гарячого сатураційного газу (теплоносія). На патрубках подачі газів замикаються каверни 4, які утворюються при обтіканні охолодною водою кавітаторів 5. Кавітатори виконані у вигляді концентричних труб з загнутими передніми кромками і встановлені за патрубками відведення теплоносія. При цьому патрубки подачі газоподібного теплоносія і кавітатори спрямовані назустріч один одному таким чином, що теплоносій із кільцевого простору патрубків 3 потрапляє в кільцевий простір відповідних кавітаторів 5 і за допомогою колектора 6, на якому закріплені кавітатори, відводиться з теплообмінника.

На вході в контактну камеру розміщений конфузор 7, з'єднаний з патрубком 8 охолодної рідини. Нагріта вода відводиться через патрубок 9.

Кавітатор працює так. Охолодна вода при температурі 20...25 °С під тиском 5...20 атм подається через патрубок 8 і, прискорюючись у конфузорі до 10...20 м/с, натікає на кавітатори 5, при обтіканні яких виникає суперкавітуюча течія і утворюються каверни 4.

Регулюючи швидкість натікання води на кавітатори, отримують режими, при яких каверни замикаються на концентричні патрубки 3 подачі теплоносія (сатураційного газу температурою 150...300 °С). При цьому теплоносії через колектор 2 і патрубки 3 потрапляє в порожнину каверни, на межі якої з водою відбувається інтенсивний теплообмін.

Охолоджений сатураційний газ відводиться з теплообмінника через колектор 6, а нагріта вода через патрубок 9.

Дослідно-промислові випробування показали, що контактний кавітаційний теплообмінник порівняно з застосовуваними у цукровій промисловості лаверами типу ПСГ має менші габарити (внаслідок збільшення коефіцієнта тепловіддачі у 2...3 рази) та менші на 30 % витрати енергії на прокачування газу і рідини через контактну камеру.

Такі результати досягаються завдяки інтенсивній турбулізації газорідного потоку в цілому, а особливо на межі газової фази каверн із рідким середовищем. Турбулізація міжфазної поверхні створює сприятливі умови для тепло- і масообміну.

Суперкавітуючий дегазатор з кавітатором у вигляді крильчатки з лопатями суперкавітуючого профілю [8] був випробуваний для деамонізації конденсатів сокової пари на Яготинському експериментальному цукровому заводі, оскільки технічні засоби, що використовуються для деамонізації конденсатів, працюють малоефективно з великими енергетичними витратами.

Проведені у виробничих умовах випробування показали, що впродовж незначного часу циркуляційної обробки (20...30 с) аміачного конденсату в робочій зоні кавітатора навіть при великих числах кавітації вдається досягнути відчутного зниження вмісту аміаку (з 79,4 до 58 мг/л). Зі зменшенням числа

кавітації ступінь дифузії аміаку в каверну зростає і його вміст може бути зменшений до 0,5...1,0 мг/л.

Аналогічні результати отримані і при деамонізації фільтрованого соку першої сатурації, причому зменшується не лише вміст аміаку в соку, а й вміст загального азоту та α -амінів.

Відомі також спроби інтенсифікації за допомогою ГДК процесу сатурації подачею сатураційного газу в каверну потоку дефекованого соку.

Розроблені кавітаційні розпилювальні пристрої, які підвищують рівномірність розподілу промивної води на поверхні фільтраційного осаду і простіше регулюються [9]. Вихровий струменево-кавітаційний розпилювач, що самоочищується, являє собою циліндричний корпус із боковим патрубком і вихрову камеру (сопло) у вигляді втулки із тангенційними вхідними каналами, оснащену верхнім фланцем з кільцевою відборткою, що має загострену кромку. Пристрій оснащено циліндричним штоком співвісним до вихрової камери.

Вихровий струменево-кавітаційний розпилювач працює так. Вода під тиском поступає через боковий штуцер до корпусу, проходить через тангенційні вхідні канали у вихрову камеру, де потік закручується, і розпилюється через сопло. При обтіканні гострих кромок на центральному штоці та кільцевих відбортках перед вхідними каналами в потоці рідини виникають кавітаційні порожнини, хвостові частини яких розпадаються на велику кількість мікробульбашок. Потрапляючи в зону підвищеного тиску на виході із сопла, кавітаційні бульбашки захоплюються з утворенням високошвидкісних мікроструменів. Кумулятивна дія мікроструменів сприяє однорідному дрібнодисперсному розпилюванню плівки рідини у формі конуса, що виходить із сопла. Каверни на гострих кромках викликають деформацію закрученого потоку у вихровій камері, що веде до більш рівномірного заповнення циліндричної вихрової камери рідиною, а також до більш рівномірного розподілу краплин рідини у факелі розпилювання.

Дисперсність розподілу рідини відповідає умовам зрошення сатураційного осаду на поверхні барабанного вакуум-фільтра, забезпечує високу якість промивання, дозволяє знизити витрати цукру з осадом до 0,5...0,7 % до маси осаду й зменшити витрати промивної води до 70 % від нормативної величини.

Висновки. Таким чином, застосування ефектів ГДК і ПКК є перспективним напрямком інтенсифікації технологічних процесів у цукровому виробництві. У багатьох випадках кавітаційні процеси ще недостатньо вивчені і не встановлені кількісні зв'язки для розрахунку отримуваних ефектів, проте впровадження випробуваних рішень може сприяти підвищенню ефективності виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Кнэпп Р.* Кавитация / *Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф.* — М.: Мир, 1974. — 687 с.
2. *Немчин А.Ф.* Опыт применения суперкавитирующих аппаратов в сахарной промышленности: Обзорная информация / *Немчин А.Ф.* — М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1986. — Вып. 1. — 32 с.
3. *Гидродинамические* методы интенсификации процессов очистки диффузионного сока / *Немчин А.Ф., Аникеев Ю.В., Жижина Р.Г. и др.* // Обзорная информация. — М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1984. — Вып. 8. — 28 с.
4. *Немчин А.Ф.* Кавитационно-кумулятивное диспергирование известковых суспензий / *Немчин А.Ф., Савченко О.А., Анистратенко В.А.* // Новое в технике сахарного производства: Сб. науч. тр. — М.: Агропромиздат, 1986. — С. 63-67.
5. *Застосування* пароконденсатійної кавітації в бурякоцукровому виробництві / *П.М. Немирович, М.М. Жеплінська, А.М. Матияшук, Л.М. Хомічак* // Вібрації в техніці та технологіях. — 2008. — № 2. — С. 102-104.
6. *Савостин А.В.* Эффективность очистки и термоустойчивость клеровок сахара-сырца / *А.В. Савостин* // Сахар. — 2011. — № 6. — С. 46-47.
7. *Спосіб* очищення дифузійного соку. Патент України № 18177 А від 01.07.97р. *Жеплінська М.М., Хомічак Л.М., Немирович П.М., Матияшук А.М., Петриченко І.Б., Козіцька М.Є.*

8. Федоткин И.М. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. — К.: «Арктур-А», 1998. — 134 с.

9. Барабанов П.М. Розробка процесів і струменево-кавітаційних апаратів для промивання осадів цукрового виробництва: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Київ, 1994. — 24 с.

Одержана редколегією 11.11.2011 р.

А.С. Марценюк, П.М. Немирович, М.М. Жеплинская, Л.М. Хомичак, И.Н. Пастушенко, А.Н. Матияшук,

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И ПАРОКОНДЕНСАЦИОННОЙ КАВИТАЦИИ В САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проанализирована возможность применения гидродинамической и пароконденсационной кавитации в сахарной промышленности с объяснением физико-химических эффектов, возникающих при кавитации и содействующих очистке диффузионных соков и клеровок, повышению реакционной способности водно-известковых суспензий, ускорению процессов отстаивания, фильтрования, деаммонизации конденсатов.

Ключевые слова: активация, водно-известковая суспензия, гидродинамическая кавитация, диффузионный сок, пароконденсационная кавитация.

A. Martsenyuk, P. Nemyrovych, M. Zheplinska, L. Homichak, I. Pastushenko, A. Matyashyuk

THE APPLY OF EFFECTS OF HYDRODYNAMIC AND VAPOR- CONDENSATION CAVITATION IN THE SUGAR INDUSTRY

The possibility of the use of hydrodynamic and vapor-condensation cavitation is analyzed in the sugar industry, explaining the physical and chemical effects that occur during cavitation and facilitate clearing of diffusion juices and claires, increasing reactivity of water and lime suspension, accelerating sedimentation, filtering, deamonization of condensates.

Key words: *activation, water and lime suspension, hydrodynamic cavitation, diffusion juice, vapor-condensation cavitation.*