

УДК 664.1

ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНЕ ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ЯК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Ободович О.М.¹, д.т.н., Хоменко В.О.², Сидоренко В.В.³, к.т.н., Степанова О.Є.⁴, к.т.н.

¹професор, завідувач відділу Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>, e-mail: tdsittf@ukr.net

²гол. конструктор Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, e-mail: xbo1959@gmail.com

³с.н.с., старший дослідник Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-7719>, e-mail: vrangel08@i.ua

⁴с.н.с. Інституту технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст 2а, Київ, 03057, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7179-7251>, e-mail: super-olesya2807@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2024.3>

В статті наведено техніки та технології вітчизняного цукрового виробництва, технології отримання і наступного очищення дифузійного соку. Запропоновано використання дискретно-імпульсного введення енергії для підвищення ефективності та вдосконалення очищення дифузійного соку.

The article describes techniques and technologies of domestic sugar production, technologies for obtaining and subsequent purification of diffusion juice. The use of discrete-pulse energy input is proposed to increase the efficiency and improve the purification of the diffusion juice.

Бібл. 13, табл. 1.

Ключові слова: дискретно-імпульсне введення енергії, дифузійний сік, роторно-пульсаційний апарат, інтенсифікація тепломасообмінних процесів, енергозберігаючі теплотехнології, цукрове виробництво.

К – коефіцієнт, що враховує вплив інтенсивності пульсаційних впливів на швидкість процесу поглинання;
Ф – фактор прискорення абсорбції хімічною реакцією;
 N_x – швидкість поглинання;
 C_p – розчинність CO_2 у клеровці;

C_o – концентрація газу в основній масі рідини, кмоль/м³;
F – площа поверхні розділу фаз, м²;
 β_j – коефіцієнт масовиддачі в рідкій фазі, м/с;
ДІВЕ – дискретно-імпульсне введення енергії;
РПА – роторно-пульсаційний апарат.

Вступ.

Ефективність переробки цукробурякової сировини у значній мірі залежить від його якості, технології отримання і наступного очищення дифузійного соку. Сучасний стан техніки та технології вітчизняного цукрового виробництва не забезпечує достатньої повноти вилучення сахарози з буряків, високоефективне вапняно-вуглекислотне очищення, внаслідок чого не може досягнути середньосвітових показників. Вирішенням цих проблем є вдосконалення існуючих та створення інноваційних технологій переробки цукрових буряків з застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) [1-3].

У технологічному процесі цукрового виробництва гідроксид кальцію та діоксид вуглецю є основними ре-

агентами, застосовуваними для очищення дифузійного соку. Саме очищення дифузійного соку з використанням гідроксиду кальцію та діоксиду вуглецю є одним з найважливіших процесів цукробурякового виробництва, що значною мірою визначає ефективність використання сировини, паливно-енергетичних та матеріальних ресурсів, а також кінцеві результати роботи заводу. В даний час витрата гідроксиду кальцію, що додається до дифузійного соку в процесі очищення становить до 1,5-2,0 % CaO до маси буряків, що не можна вважати оптимальним, оскільки він значно перевищує теоретично необхідний для проведення реакцій осадження не цукрів. Також, середня величина витрати умовного палива за кордоном тривалий час знаходиться на рівні 3,0-3,3 % до маси буряків, тоді як на ряді підприємств України він сягає 4,8-4,9 %.

Теоретична кількість реагентів, потрібних для проведення вапняно-вуглекислотного очищення, розраховується виходячи з чистоти дифузійного соку. Відомо, що дифузійний сік цукробурякового виробництва є полікомпонентною системою, до складу якої входить сахароза та супутні речовини (нецукри), представлені розчинними білками, пектиновими сполуками та продуктами їх розкладання, редукуючими цукрами, амінокислотами, азотистими сполуками, солями органічних та неорганічних кислот. При знецукровуванні бурякової стружки за типовою (дифузійною) технологією з неї в дифузійний сік переходить 95-98 % сахарози та близько 80 % розчинних нецукрів.

Всі нецукри більшою чи меншою мірою перешкоджають отриманню кристалічної сахарози і збільшують вихід меляси, тому одним із основних завдань технології цукрового виробництва є максимальне видалення нецукрів з виробничих цукромістких розчинів (напівпродуктів). Враховуючи це, кожна технологічна операція цукробурякового виробництва повинна забезпечувати проведення очищення напівпродуктів від нецукрів.

Отже, для зниження ресурсомісткості цукробурякового виробництва необхідно вже на стадії вилучення сахарози проводити процес таким чином, щоб отримувати дифузійний сік із чистотою вище чистоти клітинного соку, перешкоджаючи переходу в нього нецукрів, за мінімально можливої величини його відбору. Дотри-

мання цих двох критеріїв дозволить збільшити ефект очищення на дифузії та знизити потреби паливно-енергетичних ресурсів на стадії згущення очищеного соку до сиропу. Іншою складовою високоефективної технології переробки цукрових буряків є вапняно-вуглекислотне очищення дифузійного соку, що забезпечує низьку витрату вапнякового каменю, вугілля на його випал, допоміжних матеріалів та інших супутніх витрат. Це дозволить скоротити собівартість товарного цукру, тобто підвищить його конкурентоспроможність [4].

Метою роботи є довести можливість підвищення ефективності очищення дифузійного соку при використанні методу ДІВЕ.

Порівняльні показники якості очищених соків, одержаних за типовою та вдосконаленою технологіями отримання дифузійного соку та його очищення, представлені в таблиці 1 [4].

З представлених даних видно, що отриманий по удосконаленій технології очищений сік має більш високу якість. Так, ефект розкладання редукуючих речовин у удосконаленій технології (91,4 %) вище, порівняно з типовою технологією (81,5 %), а ефект переходу високомолекулярних сполук та колоїдних речовин у очищений сік нижче – 37,9 та 30,6 % відповідно. Вміст солей кальцію в соку, отриманому по удосконаленій технології, нижче на 0,016 % СаО до маси соку ніж у соку, очищеному за типовою технологією, або на 22,5 % (абсолютних). Зрештою, удосконалена технологія забезпечує збільшення ефекту очищення дифузійного соку на 5,8 %.

Табл. 1. Порівняльні показники якості очищених соків, одержаних за типовою та вдосконаленою технологіями отримання дифузійного соку та його очищення

Найменування показника	Значення показника	
	Технологія отримання та очищення	
	типова	вдосконалена
Реакція середовища (pH)	9,2	9,2
Вміст солей кальцію, % СаО до маси соку	0,071	0,055
Вміст солей кальцію, % до маси сухих речовин	0,696	0,391
Вміст високомолекулярних сполук, % до маси сухих речовин	3,97	3,20
Ефект переходу високомолекулярних сполук, % до маси сухих речовин	37,9	30,6
Вміст редукуючих речовин, % до маси соку	0,1131	0,0511
Вміст редукуючих речовин, % до маси сухих речовин	1,0775	0,5009
Ефект руйнування редукуючих речовин, %	81,5	91,4
Чистота, %	88,43	89,30
Збільшення чистоти, %	-	0,87
Ефект очищення, %	30,6	36,4

В результаті проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень розроблено високоефективну технологію двостадійного вилучення дифузійного соку та його очищення, що дозволяє:

- зменшити відбір дифузійного соку на 10-15 % до маси буряків;
- знизити вміст солей кальцію в очищеному соку на 0,015-0,017 % CaO до маси соку;
- знизити ефект переходу високомолекулярних сполук в очищений сік на 7,0-7,5 %;
- підвищити ефект розкладання редуруючих речовин на 9,5-10,5 %;
- підвищити чистоту очищеного соку на 0,8-0,9 %.

Одним з основних напрямків інтенсифікації процесів очищення цукрових розчинів є розробка таких теоретично обґрунтованих методів, які дозволяють скоротити витрату вапна й сатураційного газу на здійснення технологічних процесів. Все більшого значення набуває можливо повне використання CO_2 і SO_2 з сатураційного та сульфатаційного газу в умовах цукрового виробництва, як з погляду інтенсифікації тепломасообмінних процесів, так і з точки зору зменшення шкідливих викидів в атмосферу [5].

Одним із методів інтенсифікації тепломасообмінних процесів є метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), який реалізується за рахунок роторно-пульсаційних апаратів (РПА). В цукровій промисловості є декілька технологічних процесів, які можуть бути проведені в РПА. Такі апарати вигідно відрізняються від відомих простотою конструкції, можуть працювати в широкому діапазоні зміни параметрів газу, дозволяють легко регулювати робочий процес, мають низьку металоємкість, високу інтенсивність тепломасообмінних процесів. Крім того, при таких перевагах вони також можуть бути виготовлені в майстернях цукрових заводів за власні кошти.

До процесів, що можуть бути здійснені в цукровій промисловості в РПА, можуть бути віднесені:

- активація вапняного молока;
- змішування компонентів фаз (цукрового соку та вапняного молока) для проведення наступного процесу дефекації цукрового розчину;
- проведення процесу першої сатурації;
- проведення процесу другої сатурації.

З метою інтенсифікації змішування дифузійного соку та вапняного молока з активацією останнього, запропоновано використовувати РПА, що дозволяють ви-

користати ефекти кавітації для подрібнення нерозчиненого вапна, його активації та інтенсивного змішування.

В випадку використання РПА можливо значно спростити конструкцію обладнання для змішування, розчинення, диспергування та використати ефекти гідродинамічної взаємодії потоків.

Відома також проблема цукрового заводу, що стосується необхідності зменшення витрат вапнякового молока на процес дефекації. Вона витікає з того, що в процесах хімічного очищення соку від нецукрів основну роль відіграє хімічно активне вапнякове молоко. А в вапняковому молоці, яке подається на дефекацію, крім розчиненого вапна знаходиться деяка кількість вапна і в вигляді нерозчинених грудочок, з'єднань з нецукрами. При цьому частина вапна не приймає участі в очищенні цукрового розчину, а витрати його великі. Для активації запропоновані РПА [6], принцип дії яких оснований на явищах ДІВЕ.

Активація вапнякового молока в таких апаратах досягається завдяки явищам ударної хвилі, міжфазної турбулентності, мікрокавітації, протікаючих кумулятивних мікроструменів та вихорів, які викликають на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея-Гейлора або Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсивного подрібнення дисперсних включень, значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз та інтенсифікації процесів тепломасопереносу.

Найбільш ефективним може бути застосування РПА для інтенсифікації технологічних процесів очищення дифузійного соку та супутніх операцій, зокрема активації водно-вапняної суміші [7, 8]. Інтенсифікація процесу попередньої дефекації дифузійного соку полягає в прокачуванні соку через робочі органи РПА, у якому відбуваються одночасно процеси диспергування, розчинення та змішування реагентів за рахунок ударно-хвильової дії під час колапсу кавітаційних бульбашок. Оброблення водно-вапняної суспензії в РПА призводить до скорочення її витрати на очищення дифузійного соку та підвищить технологічні показники соку на стадії очищення [9].

Підвищення реакційної здатності водно-вапняної суспензії буде проходити за рахунок збільшення ступеня диспергування твердих частинок суспензії та зростання їх поверхневої енергії, а також зміни 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.

За рахунок зміни конструктивних особливостей РПА та режимів обробки можна регулювати розміри кавітаційних бульбашок і, відповідно, ступінь активації вапна.

Попереднє оброблення дифузійного соку в РПА [10] сприятиме кращому його дефекосатураційному очищенню, зменшенню забарвленості і вмісту солей кальцію в соку першої сатурації, підвищенню доброякісності соку. Відсатурований сік швидше відстоюється і краще фільтрується.

Підвищення ефективності сатурації також можуть бути здійснені у РПА, в якому хімічній реакції взаємодії в рідкому середовищі іонів кальцію Ca^{2+} з вугільною кислотою та утворення карбонату кальцію



передуює масоперенесення CO_2 з газової фази в реакційну систему, що підпорядковується законам масопередачі при абсорбції. Швидкість утворення CaCO_3 , тобто процесу сатурації, обумовлена реакцією, що протікає з мінімальною швидкістю. Як показано, швидкість фізичної абсорбції (розчинення) вуглекислого газу в соці з подальшим утворенням вугільної кислоти порівняно невелика, залежить від величини рН середовища та концентрації сахарози, що присутня в розчині, і тому є лімітуючою стадією всього багатостадійного процесу сатурації [11].

Отже, поряд з кінетикою масообміну при абсорбції CO_2 і наступних хімічних реакцій, на швидкість процесу сатурації істотно впливає гідродинамічна обстановка в РПА, яка залежить від частоти пульсацій потоку середовища, що оброблюється, кількості циклів обробки, швидкості зсуву потоку і т.п.

Технологічні результати перевірки способу сатурації в РПА підтвердили, що при однакових енергетичних витратах, що виражаються турбулентною енергією, що дисипується, пульсаційні впливи є більш ефективними, ніж стаціонарний процес. При цьому частина енергії йде на утворення поверхні дисперсій і, головним чином, її відновлення, що компенсує коалесценцію, а інша частина йде на деформацію цієї поверхні під дією турбулентних пульсацій.

Швидкість поглинання N_x діоксида вуглецю розчином клеровки можна визначити за формулою

$$N_x = K \cdot \Phi \cdot \beta_{\text{ж}} \cdot F \cdot (C_p - C_o), \quad (2)$$

де K – коефіцієнт, що враховує вплив інтенсивності пульсаційних впливів на швидкість процесу поглинання; Φ – фактор прискорення абсорбції хімічною реакцією; $\beta_{\text{ж}}$ – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, м/с; F – площа поверхні розділу фаз, м^2 ; C_p – розчинність CO_2 у клеровці; C_o – концентрація газу в основній масі рідини, кмоль/м^3 .

Відомо, що при постійних фізико-хімічних властивостях дисперсної системи “рідина – газ” об’ємний коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при турбулізації залежить від потужності перемішування та газовмісту. Виходячи з аналізу процесу сатурації, було зроблено акцент на підвищенні потужності механічного перемішування в РПА, який пропорційний швидкості дисипації енергії – чим вона більша, тим вища швидкість розсіювання енергії в апаратах.

Використання активованого вапняного молока підвищує чистоту очищеного соку в порівнянні з типовою схемою на 0,7-0,8 %, при активації соку після холодної defeкації – на 1,5-1,6 %, а при одночасному використанні обох варіантів – на 1,8-1,9 %. Відомо, що збільшення чистоти очищеного соку на 1 % збільшує вихід цукру на 0,25 %.

При обробці в активаторі соку після холодної defeкації за рахунок гідродинамічної кавітації та механічної дії робочих органів виникають такі явища [12-13]:

1) Збільшення ступеня дисоціації молекул води та інших органічних та неорганічних сполук, що призводить до прискорення хімічних реакцій за іонним типом.

2) Гомолітичний розпад води на вільні радикали з утворенням перекису водню та озону, які розкладаються з виділенням надзвичайно реакційно-здатного атомарного кисню



Під впливом останнього відбувається окислення редуруючих речовин до органічних кислот з різною довжиною вуглецевих ланцюжків, органічних речовин (у тому числі гумінових) до вуглекислого газу та води, солей двохвалентного заліза (у тому числі пофарбованих комплексів фенолів з катіонами заліза) до нерозчинних сполук, високомолекулярних пофарбованих речовин (у тому числі і меланоїдинів) з утворенням нерозчинних

сполук, розрив пептидних зв'язків у білкових молекулах, а також розкладання амінокислот і переведення меланінів – барвників – у безбарвні сполуки.

3) Гомолітичний розпад органічних речовин на вільні радикали з подальшою рекомбінацією та утворенням сполук з меншою довжиною вуглецевих ланцюжків – фракціонування. При цьому утворюються кислоти, кальцієві солі яких малорозчинні або нерозчинні, що є причиною отримання очищених цукромістких розчинів з меншим вмістом солей кальцію.

4) Швидке і рівномірне змішування цукромістких розчинів з вапняним молоком, що сприяє підвищенню швидкості хімічних реакцій на дефекації.

5) Подрібнення частинок вапна, при якому підвищується їх розчинність та реакційна здатність на дефекації; на сатурації збільшується швидкість її розчинення і нейтралізації, а так само питома поверхня карбонату кальцію, що утворюється.

Всі ці процеси тією чи іншою мірою впливають на підвищення ефективності очищення дифузійних соків.

Висновки.

Високоєфективна технологія та обладнання вапняно-вуглекислотного очищення дифузійного соку дозволить скоротити собівартість товарного цукру та підвищити його конкурентоспроможність.

Для цього може бути використаний метод ДІВЕ – принципово новий спосіб інтенсифікації гідродинамічних та тепломасообмінних процесів.

Застосування методу ДІВЕ та РПА для його реалізації у цукровій промисловості дозволяє проводити процеси перемішування, диспергування, розчинення, нагрівання, гомогенізації одночасно в одному апараті. Роторно-пульсаційні апарати можуть замінити кавітаційні пристрої, гомогенізатори, диспергатори, тому що проходячи через їх робочі органи (статор-ротор) рідина піддається не тільки кавітації, але і дії ударних хвиль, міжфазної турбулентності, проникаючим кумулятивним мікрострумам, вихорам, що викликає на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея-Тейлора або Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсивного дроблення дисперсних включень, збільшення сумарної поверхні контакту фаз та підвищення процесів тепломасоперенесення. Подібні ефекти є недосяжними при використанні традиційних кавітаційних пристроїв.

Використання методу ДІВЕ і роторно-пульсаційних апаратів, в яких він реалізується, можливо на етапах активації вапняного молока, змішування цукрового соку та вапняного молока, сатурації та ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Oleksandr Obodovych, Vitalii Sydorenko, Bohdan Tselen, Olesya Stepanova, Tetyana Rezakova. Application of discrete-pulse energy input for intensification of preparation of drinking and process water by aeration oxidation. Scientific research in modern conditions of instability '2023. Monographic series «European Science». Karlsruhe, Germany. Book 24. Part 1. 2023. pp. 59-67. DOI: 10.30890/2709-2313.2023-24-01-001.
2. Obodovych O., Sabliy L., Sydorenko V., Pereiaslavitseva O., Khomenko V. Discrete-pulsed energy input in wastewater treatment technologies. Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News. 2023. Vol. 34, No. 3. P.45-56. <https://doi.org/10.20535/2218-930032022266601>.
3. Ободович О., Сидоренко В., Булій Ю., Степанова О. Застосування метода дискретно-імпульсного введення енергії в технологіях обробки крохмалевмісної сировини. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: collective monograph / International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. 461 p. ISBN – 979-8-88992-703-7. DOI – 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.6.5.
4. Городецкий В.О., Семенихин С.О., Люсьй И.Н., Даишева Н.М., Котляревская Н.И., Усманов М.М. Инновационная технология двухстадийного получения диффузионного сока свеклосахарного производства и его очистки // Научный журнал КубГАУ. 2017. № 132 (08). Doi: 10.21515/1990-4665-132-073.
5. Вискребцов В.Б., Пономаренко В.В. Інтенсифікація технологічних процесів в цукровій промисловості на основі ежекційних методів // Харчова наука і технологія. 2011. № 3 (16). С. 87-90.
6. Штангеев В.О., Корбер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства / под ред. В.О. Штангеева. Ч.1 – К: Цукор України, 2003. С. 334-341.
7. Немчин А.Ф. Опыт применения суперкавитирующих аппаратов в сахарной промышленности: Обзорная информация / Немчин А.Ф. – М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1986. Вып. 1. 32 с.
8. Немчин А.Ф., Аникеев Ю.В., Жижина Р.Г. и др. Гидродинамические методы интенсификации процессов очистки диффузионного сока // Обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1984. Вып. 8. 28 с.
9. Немчин А.Ф., Савченко О.А., Анистратенко В.А. Кавитационно-кумулятивное диспергирование известковых суспензий // Новое в технике сахарного производства: Сб. науч. тр. – М.: Агропромиздат, 1986. С. 63-67.

10. *Немирович П.М., Жеплінська М.М., Матіяшук А.М., Хомічак Л.М.* Застосування пароконденсаційної кавітації в бурякоцукровому виробництві. Вібрації в техніці та технологіях. 2008. № 2. С. 102-104.

11. *Бугаєнко И.Ф.* Общая технология отрасли: научные основы технологии сахара / И.Ф. Бугаєнко, В.И. Тужилкин. – Ч. I. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 512 с.

12. *Савостин А.В., Литош А.Н.* Совершенствование способов очистки сахарсодержащих растворов. Сахарная пром-сть. 2005. № 3. С. 44-46.

13. *Савостин А.В., Литош А.Н.* Способ очистки сахарсодержащих растворов. Сахарная пром-сть. 2004. № 2. С. 40-42.

DISCRETE-PULSE INPUT OF ENERGY AS INCREASE IN THE EFFICIENCY OF SUGAR PRODUCTION

Obodovych O.M.¹, Khomenko V.O.², Sydorenko V.V.³, Stepanova O.E.⁴

¹Dr. Sci. (Engin.), Professor, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7213-3118, e-mail: tdsittf@ukr.net

²Chief designer, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, e-mail: xbo1959@gmail.com

³PhD (Engin.), Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7735-7719, e-mail: vrangel08@i.ua

⁴PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-7179-7251, e-mail: super-olesya2807@ukr.net

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2024.3>

The article describes techniques and technologies of domestic sugar production, technologies for obtaining and subsequent purification of diffusion juice. The use of discrete-pulse energy input is proposed to increase the efficiency and improve the purification of the diffusion juice.

The efficiency of sugar beet raw material processing largely depends on its quality, production technology and subsequent purification of the diffusion juice. The current state of equipment and technology of domestic sugar production does not ensure the sufficient completeness of sucrose extraction from beets, highly effective lime-carbonic acid purification, as a result of which it does not ensure the achievement of world average indicators. The solution to these problems is the improvement of the existing and the creation of innovative technologies for sugar beet processing using the method of discrete-pulse energy input (DPEI).

The technological results of the verification of the method of saturation in the RPA confirmed that with the same energy consumption, expressed by the turbulent dissipated energy, the pulsating effects are more effective than the stationary process. At the same time, part of the

energy goes to the formation of the dispersion surface and, mainly, its recovery, which compensates for coalescence, and the other part goes to the deformation of this surface under the action of turbulent pulsations.

The application of the DPEI and RPA method for its implementation in the sugar industry allows the processes of mixing, dispersion, dissolution, heating, and homogenization to be carried out simultaneously in one apparatus. Rotor-pulsation devices can replace cavitation devices, homogenizers, dispersers, because when passing through their working organs (stator-rotor), the liquid is exposed not only to cavitation, but also to the action of shock waves, interphase turbulence, penetrating cumulative microcurrents, eddies, which causes interphase Rayleigh-Taylor or Kelvin-Helmholtz instability surfaces, which leads to intense crushing of dispersed inclusions, an increase in the total contact surface of the phases, and an increase in heat and mass transfer processes. Similar effects are unattainable when using traditional cavitation devices.

Key words: discrete-pulse energy input, diffusion juice, rotary-pulsation apparatus, intensification of heat and mass exchange processes, energy-saving heat technologies, sugar production.

References 13, tables 1.

1. Oleksandr Obodovych, Vitalii Sydorenko, Bohdan Tselen, Olesya Stepanova, Tetyana Rezakova. (2023). Application of discrete-pulse energy input for intensification of preparation of drinking and process water by aeration oxidation. Scientific research in modern conditions of instability '2023. Monographic series «European Science». Karlsruhe, Germany. Book 24. Part 1. 2023. pp. 59-67. DOI: 10.30890/2709-2313.2023-24-01-001.

2. Obodovych O., Sabliy L., Sydorenko V., Pereiaslavl'tseva O., Khomenko V. (2023). Discrete-pulsed energy input in wastewater treatment technologies. Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News. Vol. 34, No. 3. pp. 45-56. <https://doi.org/10.20535/2218-930032022266601>.

3. Obodovych O., Sydorenko V., Buliy YU., Stepanova O. (2023). Zastosuvannya metoda dyskretno-impul'snoho vvedennya enerhiyi v tekhnolohiyakh obrobky krokhmalevmisnoyi syrovyny [Application of the method of discrete-pulse energy input in technologies for processing starch-containing raw materials]. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: collective monograph / International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2023. 461 p. ISBN 979-8-88992-703-7. DOI 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.6.5. (in Ukr.)

4. Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Lyusy I.N., Daisheva N.M., Kotlyarevskaya N.I., Usmanov M.M. (2017). Innovatsionnaya tekhnologiya dvukhstadiynogo polucheniya diffuzionnogo soka sveklosakharnogo proizvodstva i yego ochistki [Innovative technology for two-stage production of diffusion juice from beet sugar production and its purification]. Nauchnyy zhurnal KubGAU. № 132 (08). Doi: 10.21515/1990-4665-132-073. (in Rus.)
5. Viskrebtsov V.B., Ponomarenko V.V. (2011). Intensyfikatsiya tekhnolohichnykh protsesiv v tsukroviy promyslovosti na osnovi ezheksiyinykh metodiv [Intensification of technological processes in the sugar industry based on ejection methods]. Food science and technology. № 3 (16). pp. 87-90. (in Ukr.)
6. Shtangeyev V.O., Korber V.T., Belostotskiy L.G. i dr. (2003). Sovremennyye tekhnologii i oborudovaniye sveklosakharnogo proizvodstva [Modern technologies and equipment for beet sugar production]. Ch.1 – K: Tsukor Ukrayiny. pp. 334-341. (in Rus.)
7. Nemchin A.F. (1986). Opyt primeneniya superkavitiruyushchikh apparatov v sakharney promyshlennosti: Obzornaya informatsiya [Experience in using supercavitating devices in the sugar industry: Overview information] – M.: TsNIITEIPishcheprom. 1. 32 p. (in Rus.)
8. Nemchin A.F., Anikeyev YU.V., Zhizhina R.G. i dr. (1984). Gidrodinamicheskiye metody intensifikatsii protsessov ochistki diffuzionnogo soka [Hydrodynamic methods for intensifying diffusion juice purification processes]. Overview information. – M.: TsNIITEIPishcheprom. 8. 28 p. (in Rus.)
9. Nemchin A.F., Savchenko O.A., Anistratenko V.A. Kavitatsionno-kumulyativnoye dispergirovaniye izvestkovykh suspenziy [Cavitation-cumulative dispersion of lime suspensions]. New in sugar production technology: Sb. nauch. tr. – M.: Agropromizdat, 1986. pp. 63-67. (in Rus.)
10. Nemyrovych P.M., Zheplinska M.M., Matyyashchuk A.M., Khomichak L.M. (2008). Zastosuvannya paro-kondensatsiynoyi kavitatsiyi v buryakotsukrovomu vyrobnytstvi [Application of vapor condensation cavitation in beet sugar production]. Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. 2. pp. 102-104. (in Ukr.)
11. Bugayenko I.F. (2007). Obshchaya tekhnologiya otrasli: nauchnyye osnovy tekhnologii sakhara [General industry technology: scientific basis of sugar technology]. Ch. I. – SPb.: GIORD. 512. (in Rus.)
12. Savostin A.V., Litosh A.N. (2005). Sovershenstvovaniye sposobov ochistki sakharsoderzhashchikh rastvorov [Improving methods for purifying sugar-containing solutions]. Sakhar naya prom-st'. 3. pp. 44-46. (in Rus.)
13. Savostin A.V., Litosh A.N. (2004). Sposob ochistki sakharsoderzhashchikh rastvorov [Method for purifying sugar-containing solutions]. Sakhar naya prom-st'. 2. pp. 40-42. (in Rus.)

Отримано 08.07.2024
Received 08.07.2024

Прийнято до друку 14.11.2024
Accepted for publication 14.11.2024