

УДК 664.123.4:621.374

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE DIFFUSION JUICE PURIFICATION PROCESS USING NANO-SIZED ALUMINUM-CONTAINING COAGULANT

V. Olishevskyi, E. Babko, M. Tsiurpyta*National University of Food Technologies***Key words:**

Diffusion juice,
Preliminary liming,
Nanocoagulant,
Cleaning

Article history:

Received 02.12.2023
Received in revised form
18.12.2023
Accepted 18.12.2023

Corresponding author:

babkoe@ukr.net

ABSTRACT

The existing traditional methods of intensification of diffusion juice purification, which are used in most plants of the beet processing industry of Ukraine, have a number of disadvantages, as they do not use the potential of the physicochemical properties of calcium compounds. Therefore, the improvement of existing technological methods and devices for the purification of diffusion juice is urgent.

A promising direction for the removal of the main mass of non-sugars before the main defecation and carrying out the saturation process is the use of chemical reagents and sorbents with new molecular-kinetic and electro-surface properties.

In this work, a study was conducted on the use of the inorganic nano-sized aluminum-containing coagulant "Alyukol" of the new generation.

The purpose of the study is to improve the sedimentation and filtration properties of lime carbonated juice suspensions using a nano-sized aluminum-containing coagulant.

A method of processing diffusion juice with the simultaneous introduction of lime and nano-sized aluminum-containing coagulant is proposed. The results show that the processing of diffusion juice with the simultaneous introduction of lime and aluminum nanoparticles into the juice improves the sedimentation and filtration properties of suspensions and the quality indicators of carbonated juices.

Purification of diffusion juice using the aluminum-containing nanocoagulant "Alyukol" allows to improve the sedimentation and filtration properties of suspensions by 28.1—54.4%, to increase the purity of pre-liming and II saturation juices, while the overall effect of cleaning increases by 4.4—13, 2%, reduce the color of the purified juice by 7.8—23.1 units. ICUMSA, turbidity by 6.6—8.5 units. ICUMSA is comparable to a traditional cleaning scheme.

DOI: 10.24263/2225-2916-2023-33-34-12

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОРОЗМІРНОГО АЛЮМІНІЙВМІСНОГО КОАГУЛЯНТУ

В. В. Олішевський, д-р технічних наук,

Є. М. Бабко, канд. техн. наук

М. Є. Цюрпита

Національний університет харчових технологій

Представлені результати підвищення ефективності процесу очищення дифузійного соку та його апаратурного оформлення з використанням нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту.

Наведено теоретичні передумови підвищення седиментаційно-фільтраційних властивостей суспензії соку в умовах прогресивного попереднього вапнування, а також шляхи підвищення агрегації та флокуляції речовин колоїдної дисперсності.

Отримані результати свідчать, що додавання нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту при попередньому вапнуванні сприяє додатковій коагуляції та осадженню частинок суспензій вапнокарбонізованих соків. При цьому підвищується дисперсність та однорідність частинок осаду соку і сатурації, покращуються його адсорбційні властивості.

Ключові слова: дифузійний сік, попереднє вапнування, нанокоагулянт, очищення.

Постановка проблеми. Підвищені вимоги до виробництва білого цукру з низьким вмістом золи, низькою каламутністю та кольоровістю як в Україні, так і країнах Європейської економічної зони, постійний ріст вартості енергоресурсів, вапняку й допоміжних матеріалів потребують постійного підвищення ефективності технологічного процесу очищення дифузійного соку та його апаратурного оформлення. Станція дефекосатураційного очищення дифузійного соку повинна бути гнучкою для переробки сировини різної технологічної якості, забезпечувати максимальне видалення нецукрів із нього, які в основному представлені високомолекулярними сполуками (ВМС) та речовинами колоїдної дисперсності (РКД) [1—5]. Від зазначеної величини залежить якість цукру, величина його втрат у виробництві внаслідок розкладання та вміст цукрози в мелясі.

Існуючі традиційні способи інтенсифікації вапнокарбонізованого очищення дифузійного соку, що застосовується на більшості заводах бурякопереробної галузі України, має низку недоліків, оскільки не використовує потенціал фізико-хімічних властивостей кальцієвих сполук. Унаслідок цього для переробки цукрових буряків потрібна значна витрата оксиду кальцію на очищення — до 1,5—2,0% СаО до їх маси, що значно перевищує теоретично необхідну для проведення реакцій осадження нецукрів за відносно низького ефекту очищення дифузійного соку, що досягається. Тому проблема розроблення нових і подальше удосконалення існуючих технологічних способів та апаратів для очищення дифузійного соку є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

Перебіг фізико-хімічних процесів під час вапнокарбонізованого очищення ускладнюється нестабільним складом РКД дифузійного соку, які залежать як від якості бурякової сировини, так і від умов проведення процесу екстрагування сахарози в дифузійному апараті. Контактні взаємодії між частинками дисперсних фаз у суспензіях вапнокарбонізованих соків тісно пов'язані з електрокінетичними характеристиками.

ками традиційного адсорбенту у виробництві цукру — карбонату кальцію. Дослідженню його електрокінетичних властивостей присвячено праці [6,7].

Одним із перспективних напрямлень з видалення основної маси нецукрів до основної defeкації та проведення процесу сатурації в гомогенному середовищі рідина—рідина є використання хімічних реагентів і сорбентів з новими молекулярно-кінетичними й електроповерхневими властивостями.

З огляду на це проведено дослідження з використання економічно та технологічно доцільного неорганічного нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту «Алюкол» нового покоління [8, 9], що дасть змогу вирішити питання підвищення ефективності очищення вапнокарбонізованих соків, і як результат, знизити собівартість товарного цукру, збільшити його конкурентоспроможність і прибуток підприємства, що є актуальним для вітчизняної бурякопереробної галузі.

Метою дослідження є підвищення седиментаційно-фільтраційних властивостей суспензій вапнокарбонізованих соків з використанням нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати доцільність використання нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту для інтенсифікації процесів очистки дифузійного соку;

- дослідити за типовою технологічною схемою вплив нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту на седиментаційно-фільтраційні властивості суспензій та якісні показники вапнокарбонізованих соків.

Матеріали і методи. Для вивчення впливу розробленого неорганічного нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту «Алюкол» (рис. 1, табл. 1) [10] на седиментаційно-фільтраційні властивості суспензій та якісні показники вапнокарбонізованих соків було проведено лабораторні дослідження за чотирма схемами (рис. 2):

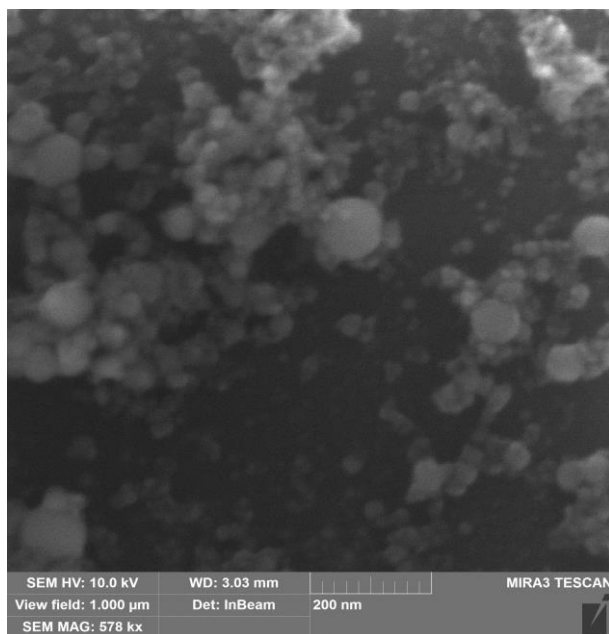


Рис. 1. Алюмінійвмісний нанокоагулянт «Алюкол», який одержано електроіскровим способом [12, 13]

Таблиця 1. Характеристика алюмінійвмісного нанокоагулянта «Алюкол», який одержано електроіскровим способом [10,11]

Показник	Значення показників
Концентрація Al в розчині, г/дм ³	2,2
Електрокінетичний потенціал, мВ	+ 32,3
Електропровідність, мСм/см	0,089
Розмір частинок твердої фази, нм	55—100
pH ₂₀	5,1
Питома поверхня твердої фази, м ² /г	22,2

- *перша схема очищення* — типова з теплим попереднім вапнуванням за температури 60 °С, відділенням осаду після попереднього вапнування, тепло-гарячим (60 і 85 °С) основним вапнуванням, I сатурація, відділенням осаду після I сатурації, II сатурація;

- *друга схема очищення* — типова з теплим попереднім вапнуванням за температури 60 °С і введенням 0,0001% до м.с. коагулянту «Алюкол» в зону рН 9,1 з відділенням осаду після попереднього вапнування, тепло-гарячим (60 і 85 °С)

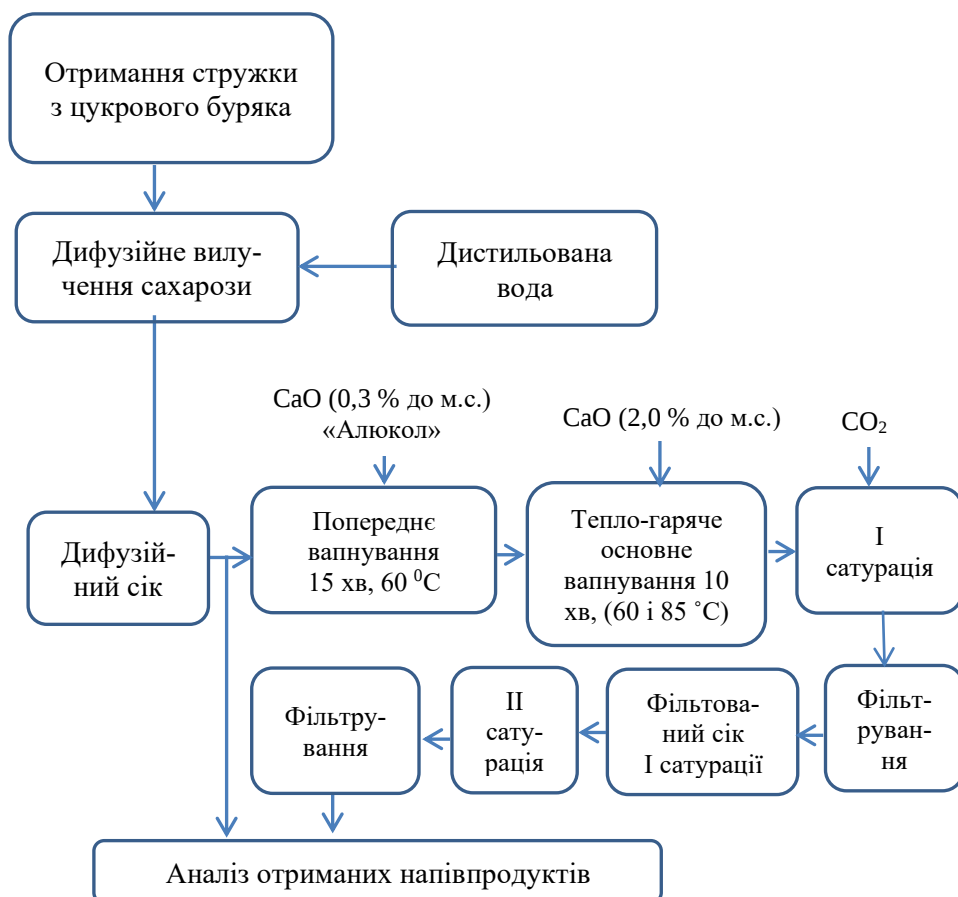


Рис. 2. Блок-схема проведення вапнокарбонізованого очищення дифузійного соку

основним вапнуванням, I сатурація, відділенням осаду після I сатурації, II сатурація;

- *третьа схема очищення* — типова з теплим попереднім вапнуванням за температури 60 °C і введенням 0,001% до м.с. коагулянту «Алюкол» в зону рН 9,1 відділенням осаду після попереднього вапнування, тепло-гарячим (60 і 85 °C) основним вапнуванням, I сатурація, відділенням осаду після I сатурації, II сатурація;

- *четверта схема очищення* — типова з теплим попереднім вапнуванням за температури 60 °C і введенням 0,005% до м.с. коагулянту «Алюкол» в зону рН 9,1 з відділенням осаду після попереднього вапнування, тепло-гарячим (60 і 85 °C) основним вапнуванням, I сатурація, відділенням осаду після I сатурації, II сатурація.

За допомогою лабораторної установки [12] отримували бурякову стружку із заданими геометричними параметрами, близькими до виробничих показників. Від загальної кількості отриманої стружки відбирали задану кількість порцій по 200 г, кожен з яких відважували на лабораторних вагах і поміщали в ємкість 500 см³, в кожен з яких доливали по 200 см³ дистильованої води, нагрітої до температури 72 °C з наступним їх розміщенням в водній бані автоматичного термостатування. Дифундування сахарози здійснювали при температурі 73 °C та постійному перемишуванні протягом 60 хв. Після закінчення часу дифундування розділяли нецукрену бурякову стружку та дифузійний сік, який термостатували при температурі 20 °C і аналізували. Далі сік відповідно до вищеописаних схем досліджень піддавали фізико-хімічній очистці. Отримані напівпродукти аналізували за методиками [13, 14].

Результати досліджень. На основі теоретичних відомостей та отриманих експериментальних даних запропоновано спосіб оброблення дифузійного соку з одночасним введенням вапна та нанорозмірного алюмінійвмісного коагулянту. За описаними вище схемами очищення в умовах цукрового заводу ТОВ «Наркевицький цукровий завод» агропромхолдингу «Астарт-Київ» були проведені дослідження, з результатів яких з'ясовано, що оброблення дифузійного соку з одночасним введенням вапна і наночастинок алюмінію в соці покращує седиментаційно-фільтраційні властивості суспензій та якісні показники вапнокарбонізованих соків (табл. 2). Доданий ефект пояснюється тим, що наночастинок алюмінію мають високу іонообмінну здатність до негативно заряджених ВМС та РКД за рахунок високої дисперсності та нанорозмірності твердої фази алюмінію (55—100 нм). Додавання наночастинок алюмінію в дифузійний сік позитивно впливає на процес коагуляції ВМС та РКД за рахунок їх дегідратації, а ймовірність зіткнення більш рухомих потенціалотворюючих іонів Al^{3+} з реакційними групами ВМС та РКД підвищується. При цьому нецукри дифузійного соку після взаємодії з іоном Ca^{2+} мають можливість адсорбуватися на макромолекулах коагулянта алюмінію з утворенням частинок більших розмірів, які швидше осаджуються під дією сил тяжіння і менше стискаються, що в кінцевому результаті сприяє покращенню процесу фільтрації (рис. 3—5).

Такий механізм комплексного агрегатоутворення іонів Al^{3+} та Ca^{2+} з нецукрами при додаванні нанокоагулянта «Алюкол» в умовах попереднього вапнування підтверджується аналізом елементного складу осадів соків, де вміст Са в осаді попередньої дефекації збільшується на 30% (рис.3) та на 19% в осаді I сатурації (рис. 5).

Як показали мікрофотографічні дослідження соків попередньої дефекації та I сатурації, частинки осаду, отриманого при додаванні нанокоагулянта «Алюкол» в зону рН₂₀=9,1 в умовах попереднього вапнування, відрізняються більш щільною, компактною структурою (рис. 4—5) порівняно з осадом, отриманим за типовою схемою очищення.

Таблиця 2. Порівняльна оцінка якості очищеного соку при додаванні додаткового алюмінійвмісного нанокоагулянта «Алюкол» під час проведення попереднього вапнування

Показник	Значення показників			
	Способи вапняково-вуглецевої очистки дифузійного соку			
	схема 1	розроблений (з додаванням «Алюкол»)		
		схема 2	схема 3	схема 4
Буряковий сік				
Чистота, %	88,0	88,0	88,0	88,0
pH ₂₀	6,4	6,4	6,4	6,4
Дифузійний сік				
Вміст сухих речовин (СР), %	11,5	11,5	11,5	11,5
Чистота, %	90,4	90,4	90,4	90,4
Ефект очищення на дифузії, %	22,1	22,1	22,1	22,1
Попереднє вапнування дифузійного соку				
Зона додавання «Алюкол», pH ₂₀	9,1	9,1	9,1	9,1
Швидкість відстоювання (S ₅), см/хв	3,1	3,8	4,6	5
% до типової	—	22,6	48,4	61,3
Об'єм осаду (V ₂₅), %	29,4	20,4	15,3	13,4
% до типової	—	30,6	48,0	54,4
Вміст Ca ²⁺ в осаді, ум.од.	3,0	9,2	—	—
% до типової	—	208,1	—	—
Коефіцієнт фільтрації (Fk)	5,7	4,1	3,1	2,6
% до типової	—	28,1	45,6	54,4
Чистота, %	91,1	91,4	91,5	91,7
% до типової	—	0,3	0,4	0,7
Локальний ефект очищення відносно дифузійного соку, %	8,0	11,4	12,5	14,8
% до типової	—	42,4	56,5	84,5
Фільтрований сік (сік II сатурації)				
Вміст РКД, г/100 г СР	0,485	0,415	0,358	0,292
% до типової	—	14,4	26,2	39,8
Вміст Ca ²⁺ в осаді, ум.од.	30,3	36,0	—	—
% до типової	—	18,8	—	—
Каламутність, од. ICUMSA	61	57,0	47,0	43,0
% до типової	0,0	6,6	17,5	8,5
Кольоровість, од. ICUMSA	941	868	826	741
% до типової	—	7,8	12,2	21,3
Вміст солей Ca ²⁺ , г на 100 г СР	0,252	0,197	0,154	0,137
% до типової	—	21,8	38,9	45,6
Чистота, %	92,3	92,5	92,8	92,9
% до типової	0,0	0,2	0,5	0,7
Загальний ефект очищення, %	38,8	40,5	43,1	44,0
% до типової	—	4,4	11,0	13,2

Очищення дифузійного соку з використанням алюмінійвмісного нанокоагулянта «Алюкол», який одержано електроіскровим способом, що подається на попередню дефекацію, дає змогу покращити седиментаційно-фільтраційні властивості суспензій за рахунок структури осаду та підвищення коефіцієнту фільтрації, на 28,1—54,4%, підвищити чистоту соків в умовах попереднього вапнування та II сатурації, відпо-

відно, на 0,3—0,7% та 0,2—0,7%, при цьому загальний ефект очищення підвищується на 4,4—13,2 %, знизити кольоровість очищеного соку на 7,8—23,1 од. ICUMSA, каламутність на 6,6—8,5 од. ICUMSA, вміст солей Ca^{2+} на 21,8—45,6% порівняно з традиційною схемою очищення.

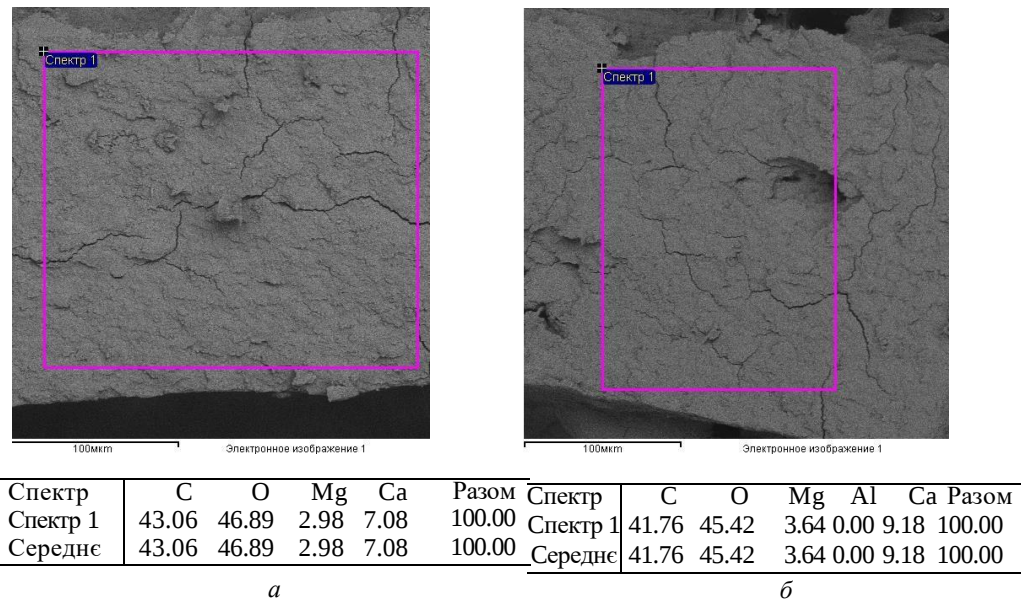


Рис. 3. Електронно-мікроскопічне зображення (SEM) та елементний склад осаду прогресивного попереднього вапнування дифузійного соку: *a* — за типовою схемою очищення дифузійного соку; *б* — при додаванні в зону $\text{pH}_{20}=9,1$ нанокоагулянта «Алюкол» в кількості 0,005% до м.с.

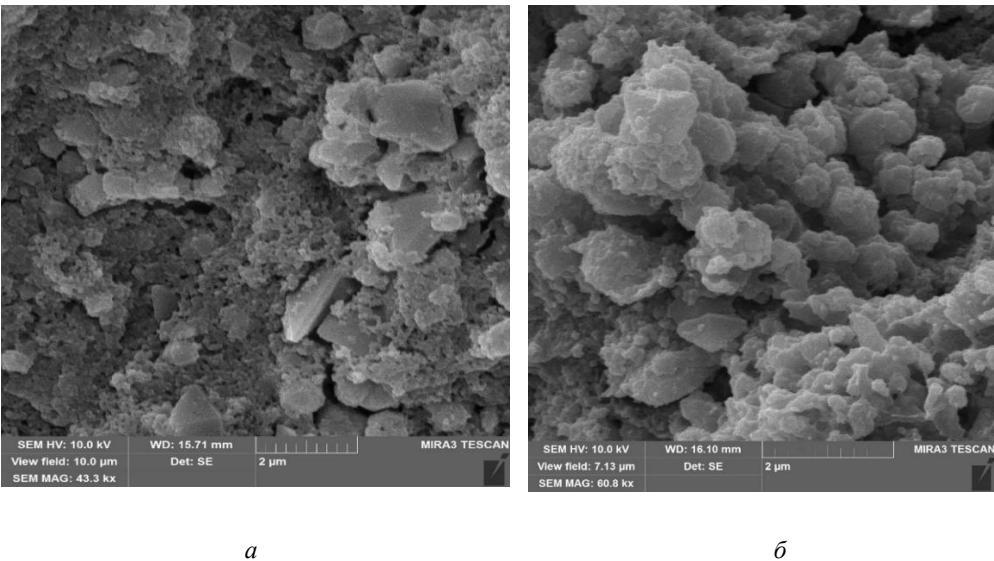
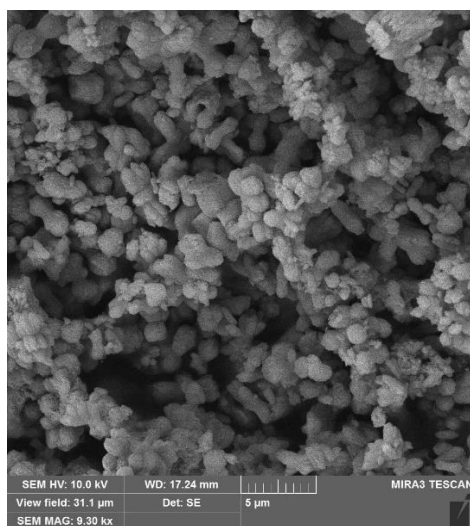
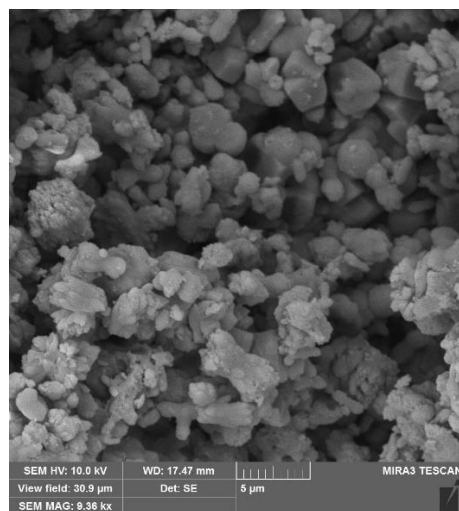


Рис. 4. Фотографії осаду прогресивного попереднього вапнування дифузійного соку одержаного: *a* — за типовою схемою очищення дифузійного соку; *б* — при додаванні в зону $\text{pH}_{20}=9,1$ нанокоагулянта «Алюкол» в кількості 0,005% до м.с.



Спектр	С	О	Са	Разом
Спектр 1	21.77	47.93	30.29	100.00
Среднє	21.77	47.93	30.29	100.00

а



Спектр	С	О	Al	Са	Разом
Спектр 1	18.11	45.91	0.00	35.98	100.00
Среднє	18.11	45.91	0.00	35.98	100.00

б

Рис. 5. Електронно - мікроскопічне зображення осаду 1-ї сатурації процесу карбонатно-вуглецевої очистки дифузійного соку: *а* — за типовою схемою очищення дифузійного соку; *б* — при додаванні в зону $pH_{20}=9,1$ прогресивного попереднього вапнування дифузійного соку нанокоегулянта «Алюкол» в кількості 0,005% до м.с.

Висновки. На основі проведених досліджень застосування нанокоегулянта «Алю- кол» у технологічному процесі очищення дифузійного соку виявлено коагулюючу й адсорбційну здатність до нецукрів, в результаті чого спостерігається комплексне агрегатоутворення іонів Al^{3+} та Ca^{2+} з нецукрами. При цьому частинки осаду, отриманого при додаванні в зону $pH_{20}=9,1$ прогресивного попереднього вапнування дифузійного соку нанокоегулянта «Алюкол» відрізняються більш щільною, компактною структурою порівняно з осадом, отриманим за типовою схемою очищення.

Очищення дифузійного соку з використанням алюмінієвмісного нанокоегулянта «Алюкол», який одержано електроіскровим способом, що подається на попередню дефекацію, дає змогу покращити седиментаційно-фільтраційні властивості суспензій за рахунок структури осаду та підвищення коефіцієнта фільтрації, на 28,1—54,4%, підвищити чистоту соків в умовах попереднього вапнування та II сатурації, відповідно, на 0,3—0,7% та 0,2—0,7%, при цьому загальний ефект очищення підвищується на 4,4—13,2%, знизити кольоровість очищеного соку на 7,8—23,1 од. ICUMSA, каламутність на 6,6—8,5 од. ICUMSA, вміст солей Ca^{2+} на 21,8—45,6% порівняно з традиційною схемою очищення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Asadi, Mosen. Beet-sugar handbook / Includes bibliographical references and index// Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007. 868 p.
2. Mosen, A. Beet-sugar handbook. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2007. 868 p.
3. Рева, Л. П. *Фізико-хімічні основи технології процесів очищення дифузійного соку у виробництві цукру*: монографія. Київ, НУХТ, 2012. 371 с.

4. Логвін, В. М. Наукові основи та розроблення високоефективних технологічних процесів очищення дифузійного соку: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.05. Київ, 2006. 48 с.
5. Гусятинська, Н. А. Наукове обґрунтування та розроблення фізико-хімічних методів інтенсифікації вилучення сахарози з цукрових буряків: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.05. Київ, 2008. 627 с.
6. Олянская, С. П., Цирульнікова, В. В. Використання флокулянтів як способів підвищення ефективності очищення дифузійного соку. *Цукор України*. 2016. № 6—7. С. 18—26.
7. Хомічак, Л. М. Наукове обґрунтування та розроблення способів очищення дифузійного соку: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.05. Київ, 2003. 40 с.
8. ТУ У 20.1-2799900706-001:2020 коагулянт АЛЮКОЛ(алюміній колоїдний).
9. Олішевський, В. В. Науково-технічні засади застосування наноматеріалів для інтенсифікації масообмінних процесів харчових виробництв: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Київ, 2021. 499 с.
10. ТУ У 20.1-2799900706-001:2020 коагулянт АЛЮКОЛ(алюміній колоїдний).
11. Пристрій для отримання колоїду металу: патент на корисну модель 130939 Україна. №u201809540; заявл. 21.09.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24. 3 с.
12. Люлька, О. М. Удосконалення робочих органів бурякорізальних машин цукрового виробництва: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2015. 140 с.
13. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики (ПУП) 15.83-37-106:2007 / розроб.: Ярчук М., Калініченко М., Чупахіна В., Галацан Л. та ін. Київ: Цукор України, 2007. 420 с.
14. Спосіб очищення дифузійного соку: патент 104338 Україна. №a201204314; заявл. 06.04.2012; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2. 3 с.