

# Застосування додаткових реагентів під час вапнокарбонізаційного очищення дифузійного соку

**Н.А. Гусятинська**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техногенно-екологічної безпеки, Національний університет Державної податкової служби України

**А.А. Ліпсу**, доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій

**Д.В. Братюк**, науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут цукрової промисловості

*Встановлено ефективність застосування основного сульфату алюмінію під час очищення дифузійного соку. Встановлено оптимальні витрати та спосіб введення коагулянту при переробленні буряків різної якості. Досліджено вплив застосування ОСА на показники технологічної якості очищеного соку.*

*Установлена эффективность применения основного сульфата алюминия во время очистки диффузионного сока. Установлены оптимальный расход и способ добавления коагулянта при переработке свеклы разного качества. Исследовано влияние применения ОСА на показатели технологического качества очищенного сока.*

*Efficiency of coagulant hydroksosulfate of aluminium for the purification of diffusion juice is determined. An optimum expense and method of addition of coagulant is set at processing of beet of different quality. Influence of application is investigational OSA on the indexes of technological quality of the cleared juice.*

Серед галузей агропромислового комплексу України бурякоцукрове виробництво посідає особливо важливе місце, оскільки має стратегічне значення у забезпеченні споживчого ринку та стабільності роботи підприємств харчової промисловості. На сьогоднішній день пріоритетним завданням галузі є збільшення обсягів промислового виробництва цукру за рахунок підвищення його виходу з одиниці сировини. Поставлене завдання може бути вирішене шляхом технічного переоснащення підприємств галузі, впровадження нових ефективних ресурсо- та енергозберігаючих технологій.

Підвищення ефективності бурякоцукрової галузі ґрунтується на удосконаленні основних технологічних процесів виробництва, розробленні та впровадженні нового прогресивного устаткування.

Вапняно-вуглекислотна очистка є однією з найважливіших стадій в технології виробництва цукру з буряків, що за-

безпечує видалення нецукрів з дифузійного соку. Від ступеня вилучення нецукрів на цьому етапі залежить ефективність проведення подальших операцій і, в кінцевому результаті, вихід білого цукру високої якості [1]. Значні коливання технологічної якості цукрових буряків, що надходять на перероблення призводять до необхідності інтенсифікації процесу очищення дифузійного соку, тому питання удосконалення технології очистки є актуальними для виробників цукру.

Дифузійний сік є полікомпонентною системою, яка, окрім сахарози та води, вміщує ряд нецукрів – різних за своєю хімічною природою та властивостями. Оскільки метою очистки є видалення якнайбільшої кількості нецукрів при раціональних витратах реагентів, очевидно, що саме фізико-хімічні властивості різних груп нецукрів та їх співвідношення, до загальної їх кількості, визначають технологію очищення дифузійного соку. В свою чергу, кількісний

та якісний склад нецукрів дифузійного соку у значній мірі залежить від сорту буряків, ґрунту, клімату, стиглості, умов та строку зберігання, процесу екстрагування [2, 3]. Тому технологія очищення дифузійного соку, як комплекс механічних, хімічних та фізико-хімічних процесів видалення нецукрів дифузійного соку, не може представляти собою незмінну систему, вона повинна бути динамічною у відповідності до зміни фізико-хімічних характеристик дифузійного соку, що надходить на очищення [4, 5, 6].

Однією з найбільш важливих технологічних операцій в схемі вапнокарбонізаційного очищення дифузійного соку є попереднє вапнування. Від його ефективності, в значній мірі, залежить робота всього сокоочисного відділення, вихід і якість білого цукру. Мета попереднього вапнування полягає не лише в максимальному осадженні речовин колоїдної дисперсності, ВМС, нерозчинних солей кальцію деяких органічних кислот, а й в утво-

ренні коагуляту, структура якого повинна бути достатньо стійкою до руйнуючої дії іонів кальцію в умовах високої лужності та температури на основному вапнуванні [7].

Відомо [8, 9], що одним з основних критеріїв оцінки ефективності попереднього вапнування є ступінь видалення високомолекулярних сполук (ВМС) та речовин колоїдної дисперсності (РКД) з дифузійного соку. Лише невелика частина цих речовин гідрофобна і досить легко може коагулювати під час попереднього вапнування з утворенням дрібнодисперсного осаду. Більшість колоїдів дифузійного соку, а саме білки, пектинові речовини, сапонін, арабан, галактан та інші відзначаються великою гідрофільністю, що зумовлює їх агрегативну стійкість [8]. Коагуляція таких колоїдів відбувається значно важче, а осад, що утворився, має драглисту структуру, займає більший об'єм та досить легко пептизується в умовах основного вапнування. Оскільки значна частина гідрофільних колоїдів, в результаті неповної коагуляції, все ж залишається в соку, то в наступних стадіях очистки вони зумовлюють підвищення в'язкості та забарвленості продуктів, збільшують пінення.

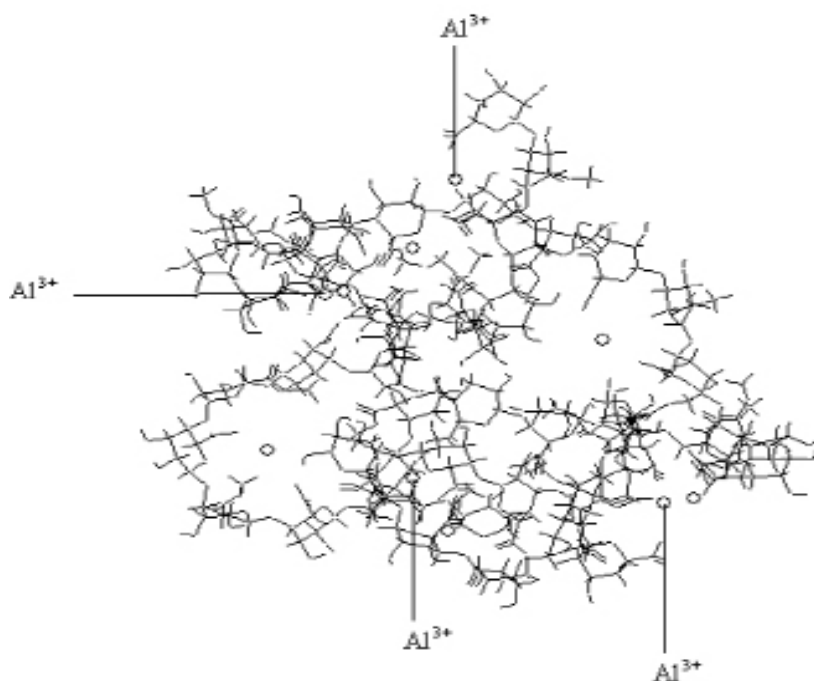
Літературні джерела [10] вказують на те, що збільшення ефекту видалення ВМС та РКД, покращення седиментаційно-фільтраційних властивостей соку попереднього вапнування та соку I карбонізації, а також підвищення показників якості соку II карбонізації, можна досягти використовуючи додаткові хімічні реагенти – коагулянти або флокулянти [1, 11, 12]. Внаслідок коагуляції колоїднодисперсних речовин відбувається процес утворення більш крупних агрегатів з втратою седиментаційної стійкості та наступним розділом фаз. В ліофільних системах структура коагулянтів та їх стійкість в значній мірі залежить від ступеня сольватації, який може змінюватись в досить широкому діапазоні.

Сучасні методи комп'ютерного моделювання дозволяють прогнозувати ефективність застосування додаткових хімічних реагентів на основі вивчення механізму їх взаємодії з нецукрами дифузійного соку. В наших дослідженнях була використана комп'ютерна програма **HyperChem** для моделювання впливу додаткових хімічних реагентів на високомолекулярні сполуки дифузійного соку, а саме пектинові речовини. Під

час моделювання в якості коагулянту було обрано катіонну основу найбільш поширених реагентів – солей алюмінію та флокулянту – полігексаметиленгуанідину.

Оскільки, молекули пектину дифузійного соку представляють собою гідрофільні ланцюжки, згорнуті у рихлий клубок, то їх агрегативна стійкість пояснюється розвиненою гідратною оболонкою. При застосуванні, окрім гідроксиду кальцію, для очищення дифузійного соку коагулянту основного сульфату алюмінію спостерігається хімічна коагуляція з утворенням крупних агрегатів-пластівців, що формують осад (**рис. 1**). Формуванню крупних пластівців осаду сприяє властивість основного сульфату алюмінію утворювати димерні або тетрамерні аквагідроксокомплекси із зарядом міцел +4 та +6 і більше. Аквагідроксокомплекси сорбуються дискретно на різних активних ділянках поверхні міцелярних агрегатів, внаслідок чого утворюється мозаїчна структура зарядженої поверхні, на яких можлива сорбція інших іонів неорганічних та органічних сполук.

Дія полімерного реагенту на основі полігексаметиленгуанідину обумовлена його структурою та хімічною будовою. При дисоціації макромолекули у водному розчині утворюється позитивно заряджений катіон ПГМГ за рахунок присутніх груп  $>C=NH_2^+$ . При введенні полімерних сполук, а саме ПГМГ до дисперсної системи дифузійного соку в процесі попереднього вапнування, одна макромолекула може зв'язуватись різними своїми частинами одночасно на декількох часточках дисперсної фази, утворюючи між ними «містки». При флокуляції зв'язування часточок дисперсної фази відбувається через макромолекули флокулянтів, що призводить до утворення об'ємного осаду з розгалуженою структурою, який добре фільтрується та відстоюється.



**Рис. 1.** Система, що складається з 4 макромолекул пектину ( $n=12$ ), 6 катіонів кальцію та 4 катіонів алюмінію після їх взаємодії

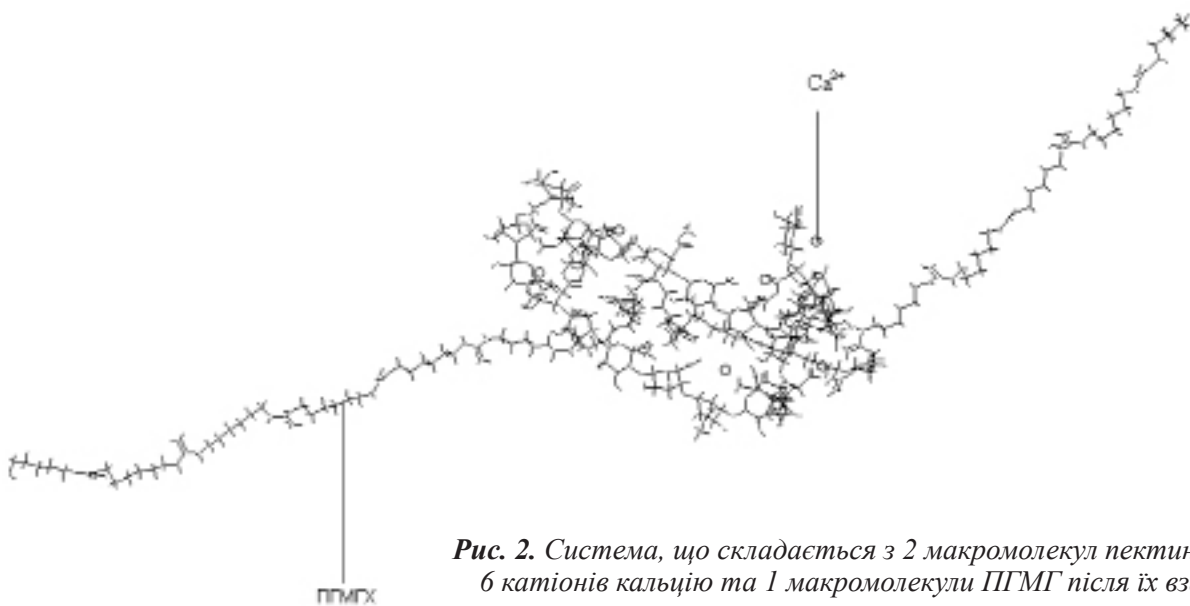


Рис. 2. Система, що складається з 2 макромолекул пектину ( $n=12$ ), 6 катіонів кальцію та 1 макромолекули ПГМГ після їх взаємодії

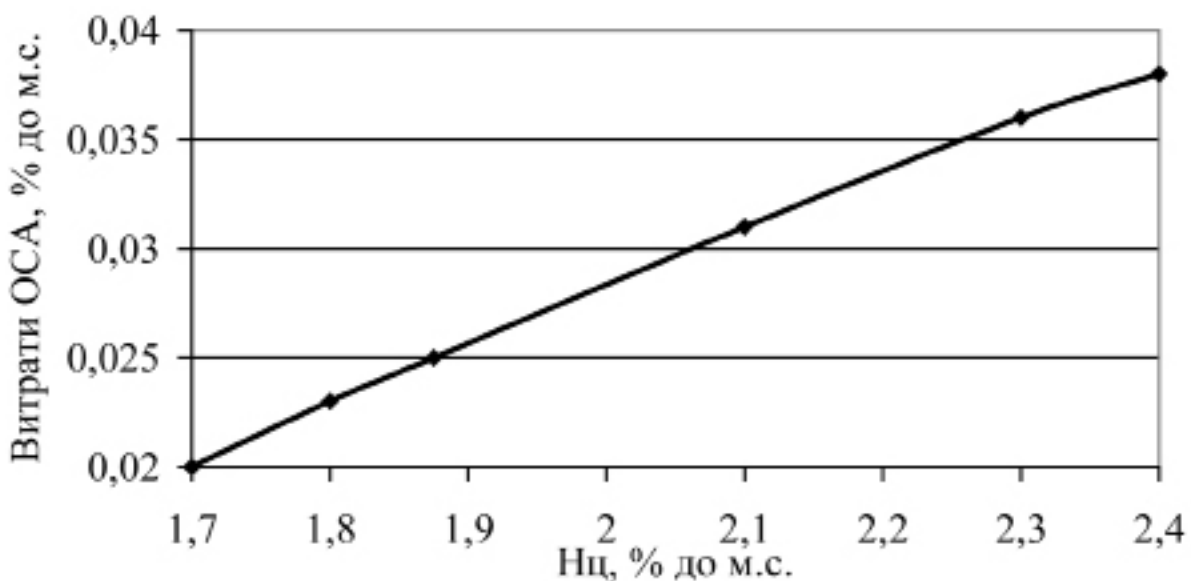


Рис. 3. Залежність витрат ОСА від вмісту нецукрів в дифузійному соку.

Застосування катіонного флокулянту найбільш доцільним є в процесі попереднього вапнування в стадії утворення міцел кальцієвих солей пектинових речовин, що забезпечить одержання часточок осаду більших розмірів за рахунок їх зв'язування з утворенням розгалуженої структури, що забезпечить його добре відстоювання та фільтрування.

Таким чином, інтенсифікація процесу попереднього вапнування дифузійного соку може досягатися за рахунок використання катіонних коагулянтів-флокулянтів. При цьому, для ефективного їх застосування важливо визначити оптимальні параметри, а саме спосіб введення, витрати, зону  $pH_{20}$ .

Для цього нами проведені лабораторні дослідження, під час яких, встановлено раціональні витрати коагулянту ОСА під час попереднього вапнування дифузійного соку у разі перероблення буряків різної технологічної якості. Визначено, що витрати основного сульфату алюмінію для очищення дифузійного соку, одержаного з кондиційних буряків становлять 0,02-0,03% до м.с., а у разі перероблення буряків погіршеної якості – 0,03-0,04% до м.с.

На рис.3 представлено графічну залежність витрат коагулянту від вмісту нецукрів у дифузійному соку, що надходить на очищення.

За допомогою методів мате-

матичної обробки експериментальних даних представлену на рис. 3 графічну залежність можна описати рівнянням виду:

$$V = 0,022 \times H_{ц} - 0,0025 \times H_{ц}^2 - 0,066$$

Метою подальших досліджень було встановлення оптимального діапазону  $pH_{20}$  частково підлуженого соку для введення коагулянту. Аналіз наведених результатів досліджень (табл. 1) свідчить, що найбільш доцільним є додавання коагулянту ОСА у зону підлуження соку з  $pH$  9,5-10,2. Необхідно зазначити, що при очищенні дифузійного соку, одержаного з цукрових буряків погіршеної якості, цей діапазон дещо зміщується у зону вищих значень  $pH_{20}$ .

Технологічні показники соку попереднього вапнування у разі введення ОСА у відповідні зони рН<sub>20</sub> при переробленні кондиційних буряків

Показники	Сік попереднього вапнування						
	контроль	7,3	8,5	9,2	9,6	10,0	10,5
Забарвленість, од. опт. густ. ICUMSA	395	297,15	260,3	236,3	228,1	225,2	241,6
Вміст аніонів кислот, % до маси СР	0,234	0,184	0,179	0,173	0,167	0,163	0,169
Вміст білків, % до маси соку	0,49	0,4	0,35	0,32	0,28	0,29	0,33

Необхідно зазначити, що такий достатньо широкий діапазон введення коагулянту ОСА зумовлений його хімічними властивостями, зокрема, відомо [13], що наявність гідроксогруп ОН<sup>-</sup> у складі основних коагулянтів, підвищує їх ефективність у більш широких межах рН<sub>20</sub>. В той же час, з точки зору практичного використання, наявність широкого діапазону рН<sub>20</sub> зони введення не потребує безперервного контролю рН соку та забезпечує простоту реалізації способу.

Таким чином, одержані результати досліджень підтверджують висновки інших авторів [5, 14] щодо ефективності застосування рН-паузи в інтервалі значень рН<sub>20</sub> 8-10 для більш повної коагуляції та осадження високомолекулярних нецукрів при прогресивному вапнуванні соку. Внаслідок цього створюється зона стабілізації гідрофільних речовин колоїдної дисперсності – так званий «стабілізаційний ефект», який полягає у неповній дегідратації часток нецукрів та збільшенні від’ємного

заряду поліелектролітів кислотного характеру у зв’язку з посиленням дисоціації карбоксильних груп.

Оскільки, значення рН розчину коагулянту ОСА становить 3,2-3,5, то важливим є розроблення способу його введення у лужну систему соку попереднього вапнування. Відповідно до поставленого завдання для досліджень було обрано наступні способи введення ОСА під час попереднього вапнування: *спосіб 1* – передбачає додавання 10% розчину коагулянту у сік попереднього вапнування; *спосіб 2* – додавання 10% розчину коагулянту у частину (10-20%) дифузійного соку, відібраного до стадії попереднього вапнування, та введення відповідної системи в підключений вапном до рН<sub>20</sub> 9,5-10,2 сік.

Для досліджень використовували буряки різних термінів зберігання, чистота отриманих дифузійних соків складала 87,3% та 82,4%.

Згідно *способу 1*, пробу дифузійного соку, нагріту до 60-65 °С, прогресивно підлучува-

ли вапняним молоком до значень рН<sub>20</sub> 9,5-10,2, додавали оптимальні витрати 10% розчину ОСА та продовжували оброблення вапняним молоком.

За *способом 2*, пробу дифузійного соку ділили на дві частини (більша частина складала 80-90% від загального об’єму проби), нагрівали до температури 60-65 °С та прогресивно підлучували більшу частину проби вапняним молоком до досягнення системою рН<sub>20</sub> 9,5-10,2. Після чого в систему повертали меншу частину дифузійного соку (10-20%), оброблену розчином ОСА, та продовжували прогресивне попереднє вапнування.

Для порівняння використовували типовий спосіб прогресивного попереднього вапнування дифузійного соку (контроль) з витратами 0,25 %СаО до маси соку.

Отримані результати представлені в **табл. 2** для дифузійного соку, одержаного з кондиційних буряків та після тривалого зберігання.

Аналіз представлених результатів досліджень свідчить, що з обраних нами способів вве-

Таблиця 2

Технологічні показники соку після попереднього вапнування за різних способів застосування ОСА

Показники	Контроль	Спосіб 1	Спосіб 2
Чистота дифузійного соку, %	87,30		
Забарвленість, од. опт. густ. ICUMSA	432,5	322,5	291,9
Вміст аніонів кислот, % до маси СР	0,23	0,176	0,14
Вміст білків, % до маси соку	0,26	0,2	0,16
Чистота дифузійного соку, %	82,40		
Забарвленість, од. опт. густ. ICUMSA	991	670,8	551
Вміст аніонів кислот, % до маси СР	0,53	0,325	0,28
Вміст білків, % до маси соку	0,34	0,25	0,2



Таблиця 3

Порівняльні технологічні показники очищеного соку з кондиційних цукрових буряків

Показники	Спосіб очищення дифузійного соку	
	Типовий спосіб	Запропонований спосіб
Чистота дифузійного соку, %	87,1	
Середня швидкість осадження осаду соку I карбонізації, см/хв (за 5 хв)	3,82	4,55
Лужність соку I карбонізації, % СаО	0,1	0,1
V <sub>25</sub> , %	19,8	14,5
pH <sub>20</sub> соку I карбонізації	11,2	11,2
pH <sub>20</sub> соку II карбонізації	9,2	9,25
Масова частка солей Са, % на 100 г СР	0,262	0,173
Забарвленість соку II карбонізації, од. опт. густини	195,9	128,3
Чистота соку II карбонізації, %	90,3	91,3
Загальний ефект очищення дифузійного соку, %	27,5	35,7

Таблиця 4

Технологічні показники очищених соків, одержаних при переробленні буряків, уражених кагатною гниллю (8%) та слизистим бактеріозом (10%)

Показники	Спосіб очищення дифузійного соку			
	Сировина вражена кагатною гниллю		Сировина вражена слизистим бактеріозом	
	Типовий спосіб	Запропонований спосіб	Типовий спосіб	Запропонований спосіб
Чистота дифузійного соку, %	81,9		81,4	
Швидкість осадження осаду соку I карбонізації, см/хв (за 5 хв)	2,26	3,12	1,02	1,34
Лужність соку I карбонізації, % СаО	0,095	0,095	0,09	0,1
V <sub>25</sub> , %	32,7	22,4	36,2	23,1
pH <sub>20</sub> соку I карбонізації	11,0	11,0	11,0	11,0
pH <sub>20</sub> соку II карбонізації	9,25	9,3	9,2	9,2
Масова частка солей Са, % на 100 г СР	0,630	0,447	0,675	0,439
Забарвленість соку II карбонізації, од. опт. густини ICUMSA	980	512	1280	695
Чистота соку II карбонізації, %	86,5	87,7	85,8	86,9
Загальний ефект очищення дифузійного соку, %	29,4	36,5	27,6	34,1

дення коагулянту ОСА під час проведення попереднього вапнування, найбільш ефективним, з точки зору мінімального залишкового вмісту речовин білково-пектинового комплексу, аніонів кислот та забарвленості соку попереднього вапнування, є спосіб 2, за яким ОСА додається у підлужений до pH 9,5-10,2

сік разом з 10-20% дифузійного соку.

Підсумовуючи проведені дослідження, необхідно зазначити, що внаслідок гідролізу основного сульфату алюмінію з утворенням позитивно заряджених аквагідрокомплексів алюмінію, які взаємодіють з гідратною оболонкою седименто-

ваних колоїдних частинок диспергової системи дифузійного соку з утворенням водневих зв'язків та нейтралізацією заряду, формуються конгломерати осаду, що сприяє збільшенню швидкості їх осадження. Таким чином, колоїдні домішки виступають як поверхня адсорбційно-коагуляційної взаємодії та спри-

ють утворенню більш щільних агрегованих структур. Крім того, при використанні коагулянту під час процесу попереднього вапнування відбувається не тільки підвищення ефекту очищення соку від седиментованих частинок, але й його знебарвлення та додаткове видалення аніонів кислот.

Для забезпечення високого ефекту видалення нецукрів дифузійного соку, доцільно розчином коагулянту попередньо обробляти невелику частину дифузійного соку, після чого відповідну систему вводити на стадії попереднього вапнування у зону рН 9,5-10,5.

Для підтвердження ефективності запропонованого способу нами проведені лабораторні дослідження, спрямовані на порівняння технологічних показників очищеного соку, одержаного за різними способами проведення попереднього вапнування при переробленні буряків різної технологічної якості. Дослідження проводили за розробленим та типовим способами очищення дифузійного соку. Метою досліджень було порівняння технологічних показників, а саме чистоти та забарвленості очищеного соку, вмісту солей кальцію, а також седиментаційно-фільтраційних властивостей твердої фази соку I карбонізації. Для досліджень використовували буряки різної технологічної якості.

Процес попереднього вапнування, згідно запропонованого способу, проводили за вищезазначених параметрів витрат коагулянту, зони введення та шляхом обробки 10-20% дифузійного соку. Після стадії попереднього вапнування сік очищали за типовим способом [10].

Результати досліджень наведені в **таблицях 3 та 4**.

Результати досліджень показують, що застосування ОСА в запропонований спосіб призводить до покращення технологічних показників очищених соків, одержаних при переробленні цукрових буряків різної якості. Так, чистота соку II карбоні-

зації підвищилась на 1,0-1,3 од., залишковий вміст солей кальцію зменшився на 30-35% а забарвленість очищеного соку знизилась на 35% та 45-50%.

Отже, у разі застосування основного сульфату алюмінію створюється «стабілізаційний ефект», що сприяє кращому осадженню нецукрів дифузійного соку та одержанню щільного і більш стійкого осаду нецукрів, додатковій коагуляції та флокуляції осаду нецукрів і забезпеченню кращих його седиментаційно-фільтраційних властивостей. Наслідком є: підвищення повноти осадження нецукрів дифузійного соку, зменшення забарвленості та підвищення чистоти очищеного соку, збільшення виходу цукру та покращення його якості.

Застосування основного сульфату алюмінію для очищення дифузійного соку різної технологічної якості сприяє покращенню показників якості одержаних продуктів при незначних витратах реагенту, що є надзвичайно актуальним в зв'язку з необхідністю одержання цукру, згідно вимог ДСТУ, незважаючи на погіршення якості цукрових буряків, що надходять на перероблення.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Очистка диффузионного сока с отделением осадка до основной дефекации с усовершенствованием прогрессивной предварительной дефекации* / С.А. Авдиенко, В.М. Логвин, Л.М. Хомичак [та ін.] // Сахар. – 2007. – № 6. – С. 25 – 26

2. *Испытание схемы очистки сока с выводом предсатурационного осадка* / Р.Г. Жижина, А.К. Карташов, В.А. Нагорная [и др.] // Сахарная промышленность. – 1969. – № 3. – С. 25 – 29.

3. *Vukov K. Gehalt der Zuckerrube an zeduzierenden Stoffen* / К. Vukov // Zucker. – 1967. – Vol 10, № 11. – S. 301-304.

4. *Бугаенко И.Ф.* Физико-химические методы очистки

диффузионного сока / Бугаенко И.Ф. – М.: ЦНИИТЭИпищепром. 1964. – С. 40.

5. *К вопросу выбора режима работы холодно-горячей основной дефекации* / К.П. Захаров, Р.Г. Жижина, В.З. Семенов [и др.] // Сахарная промышленность. – 1983. – № 1. – С. 20 – 23.

6. *Усовершенствование схемы очистки диффузионного сока на Георгиу-Дежском сахарном заводе* / А.Р. Сапронов, В.М. Фурсов, В.А. Голыбин [и др.] // Сахарная промышленность. – 1981. – №9. – С. 23 – 25.

7. *Технология цукристих речовин. Лаборатор. практикум* / [М.П. Купчик, Л.П. Рева, Н.І. Штангеева та ін.] – К.: НУХТ, 2007. – 393 с.

8. *Рева Л.П.* Очистка диффузионного сока: пути совершенствования / Л.П. Рева, Е.В. Ковдий // Сахар. – 2005. – № 5. – С. 30 – 37.

9. *Бобровник Л.Д.* Физико-химические основы очистки в сахарном производстве / Бобровник Л.Д. – Киев: Вища школа, 1994. – 255 с.

10. *Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства.* – Киев: ВНИИСП, 1985. – 372 с.

11. *Нагорна В.О.* Якість буряків, оптимальні режими переробки буряків різної якості: навчальний посібник / Нагорна В.О. – Київ: ПІК Держжарчопрому України, 1998. – 98с.

12. *Силин П.М.* Технология сахара / Силин П.М. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 624 с.

13. *Запольский А.К.* Очистка воды коагулированием: [Монография] / Запольский А.К. – Каменец-Подольский: ЧП «Медоборы-2006», 2011. – 296 с.

14. *Совершенствование процессов и аппаратов предварительной и основной дефекации.* / Ю.О. Головняк, Н.И. Жаринов, В.З. Семенов [и др.] // Пути интенсификации процессов свеклосахарного производства. – К.: ВНИИСП. – 1989. – С. 32 – 44.