

## Комплексні сполуки в очищенні соку карбонатом кальцію

*А.С. Мартинюк, аспірант кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій*

*В.М. Логвін, доктор технічних наук, професор кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій*

*В.Ю. Виговський, кандидат технічних наук, професор кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій*

*Ю.М. Резніченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології цукру і підготовки води, Національний університет харчових технологій*

*У вапняних розчинах за високих значень рН > 12 не існує іонів Ca<sup>2+</sup>. Підтверджено зону існування карбонату кальцію, тобто початок вилучення несахарозних речовин.*

*Ключові слова: адсорбент, комплексні сполуки, іон кальцію, дисоціація, сахароза.*

*Известковые растворы при высоких значениях рН > 12 не существует ионов Ca<sup>2+</sup>. Подтверждено зону существования карбоната кальция, то есть начало изъятия (удаления) несахаристых веществ.*

*Ключевые слова: адсорбент, комплексные соединения, ион кальция, диссоциация, сахароза.*

*In the limy solution at high рН > 12 is no Ca<sup>2+</sup>. Zone was confirmed the existence of calcium carbonate that is beginning removing unsaccharose substances.*

*Keywords: adsorbent, complex compounds, calcium ion, dissociation, sucrose.*

**М**еханізм вилучення несахарозних речовин карбонатом кальцію, який утворюється під час проведення карбонізації дифузійного соку, є не достатньо вивченим аспектом теорії очищення вапняно-сахарозних розчинів.

Карбонат кальцію, який утворюється на I карбонізації є основним адсорбентом для фізико-хімічного очищення дифузійного соку від несахарозних речовин

Утворення карбонату кальцію під час періодичної карбонізації є досить складним процесом. Складність полягає в тому, що карбонізаційний газ вводиться в гетерогенну систему (вапнований дифузійний сік), в якій знаходиться досить велика кількість вапна, несахарозних речовин та сахарози. Взаємодія карбонізаційного газу з гідроксидом кальцію призводить, в кінцевому результаті, до утворення адсорбенту карбонату кальцію, дане хімічне перетворення супроводжується рядом проміжних хімічних реакцій.

Під час періодичної карбонізації особливу роль відіграє сахароза, яка здатна у високо лужному середовищі дисоціювати, таким чином може виступати лігандом (бідентатним) в утворенні комплексів з іонами [CaOH]<sup>+</sup>, тому що за високої величини рН відсутні іони Ca<sup>2+</sup> [1].

При введенні вуглекислого газу у вапнований сік, розчин поступово стає в'язким, піниться і утворює драглеподібну консистенцію, яка містить сахарозу, [CaOH]<sup>+</sup> та карбонат-іони, утворену сполуку називають вуглекальцієвим сахаратом [1]. При подальшому пропусканні вуглекислого газу розчин стає рухомих, драглеподібна сполука руйнується з виділенням іонів Ca<sup>2+</sup> з наступним утворенням кристалічної твердої фази карбонату кальцію, яка забезпечує хороші фільтраційно-седиментаційні властивості. Утворений карбонат кальцію має високу адсорбційну здатність [2].

Куцев С.С. стверджував [3], що значною адсорбційною здатністю володіє карбонат кальцію, по відношенню до несахарозних речовин, який утворений чи може утворюватися CaCO<sub>3</sub> за високої лужності, під час якої ступінь дисперсності карбонату кальцію є досить високим. Ця сполука складається не лише з одного карбонату кальцію, а представляє собою колоїдний комплекс (n·(CaCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(CaO)), де число молей n змінюється в межах 5–10. В цей комплекс входять також змінна кількість сахарози у вигляді сахаратів, під час карбонізування вапняно-сахарозного розчину. Цей комплекс володіє властивостями ліофільних колоїдів, має позитивний заряд і легко адсорбує несахарозні речовини.

Рева Л.П. запропонував [4, 5] впроваджувати ступеневу карбонізацію, щоб максимально використувати адсорбційну здатність карбонату кальцію в технологічній схемі очищення дифузійного соку,

тому що на одному зі ступенів ступінь карбонізації вапна досягає 30–45%, за якого спостерігається максимальний ефект адсорбції розчинних несахарозних речовин.

Тобто із вище сказаного можна зробити такий висновок, що в процесі карбонізації вапнованих розчинів утворюються комплексні сполуки, так звані вуглекальцієві сахарати, які згідно робіт [3–6] володіють підвищеною адсорбційною здатністю по відношенню до несахарозних речовин. Проте їх роль в процесі карбонізації вапняно-сахарозних розчинів остаточно не з'ясована.

Дослідженням впливу комплексних сполук на вилучення несахарозних речовин займалися Бугаєнко І.Ф. та Скляр Є.П. [7], які на основі експериментальних досліджень стверджували, що наявність в розчині вуглекальцієвих сахаратів не підвищують якості очищених розчинів.

Гідроксид кальцію у вапнованому соку знаходиться у двох фазах:



У вапняному молоці і у вапнованому соку [1], в якому завжди є значний надлишок гідроксиду кальцію (рН = 12,5), рівновага в рівнянні реакції (3) зсунута вліво. А це означає, що у вапняному молоці та вапнованому соку практично відсутні двозарядні іони  $\text{Ca}^{2+}$ , тобто у цих розчинах кальцій переважно знаходиться в стані комплексного однозарядного іона (гідроксикальцій катіона)  $[\text{CaOH}]^+$ .

У ряді джерел [8, 9] відзначається про відсутність вільних іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у вапняних розчинах за величин рН > 12. Головін П.В. та Герасименко О.А. [10] наводять експериментальні дані Поляченка М.М. з визначенням вмісту іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у вапняно-сахарозному розчині в залежності від концентрації сахарози. Результати досліджень свідчать, що зі зростанням концентрації сахарози збільшується різниця між концентрацією іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , розрахованою за величинами рН у відповідності з еквівалентною кількістю гідроксиду кальцію та експериментально визначеним вмістом вільних іонів  $\text{Ca}^{2+}$ . На думку авторів [10], зникнення іонів кальцію можна пояснити тим, що сахарозат кальцію у водяних розчинах дисоціює на  $\text{OH}^-$  – іон та комплексний іон, в середині якого знаходиться зв'язаний з сахарозою кальцій.

За умов високої лужності аніон сахарози дуже міцно зв'язує  $[\text{CaOH}]^+$ , про що відзначає проф. Бобрівник Л.Д. [1]. Це призводить до відсутності за таких умов у системі вільних двозарядних іонів кальцію.

За відсутності іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у високо лужних розчинах комплексні сполуки матимуть таку загальну формулу:  $[(\text{CaOH}^+)_n \text{S}_m (\text{H}^-)_x (\text{CO}_3^{2-})_y]$  [1].

Мак-Джинніс опираючись на рис. 1 кривих дисоціації  $\text{H}_2\text{CO}_3$  і зміни вмісту в системі іонів  $\text{Ca}^{2+}$  від рН виділив зону існування  $\text{CaCO}_3$  по кривих вмісту іонів  $\text{CO}_3^{2-}$  та  $\text{Ca}^{2+}$ , що перетинаються. Зона існування  $\text{CaCO}_3$ , досить обмежена і знаходиться в рН межах 7,8–11,6 [11].

Якщо з моменту подавання вуглекислого газу утворюється карбонат кальцію, як говориться в роботах [4, 5], то вилучення з розчину несахарозних речовин повинно здійснюватися твердою фазою комплексних сполук одразу після її утворення. **Рисунок 1** свідчить про те, що за значення рН > 11,6 у розчині відсутні іони  $\text{Ca}^{2+}$ , а отже за високих значень рН не може існувати карбонат кальцію і відсутні умови для адсорбційного очищення соку карбонатом кальцію.

За умов періодичної карбонізації відбуваються хімічні реакції та процеси в утворенні  $\text{CaCO}_3$ . Після основного вапнування дифузійного соку, коли рН більше 12 присутні такі компоненти та сполуки,

що утворилися за їх участі, які впливають на утворення карбонату кальцію:

- 1) сахароза –  $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$
- 2) аніон сахарози –  $(\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{O}_{11})^-$
- 3) аніон сахарози –  $(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{11})^{2-}$
- 4) тверда фаза гідроксиду кальцію –  $\text{Ca(OH)}_{2(\text{тв. ф.})}$
- 5) гідроксид кальцію в рідинному середовищі –  $\text{Ca(OH)}_{2(\text{р. ф.})}$
- 6) гідроксикальцій-катіон –  $\text{CaOH}^+$
- 7) гідроксид аніон –  $\text{OH}^-$ .

У сильнолужному середовищі, створеному гідроксидом кальцію, всі реакції з участю вапна відбуваються з іонами гідроксикальцію, в середовищі  $\text{OH}^-$  – іонів та в присутності сахарози.

За даних умов гідроксид іон може координуватися з кальцієм і при цьому утворюється

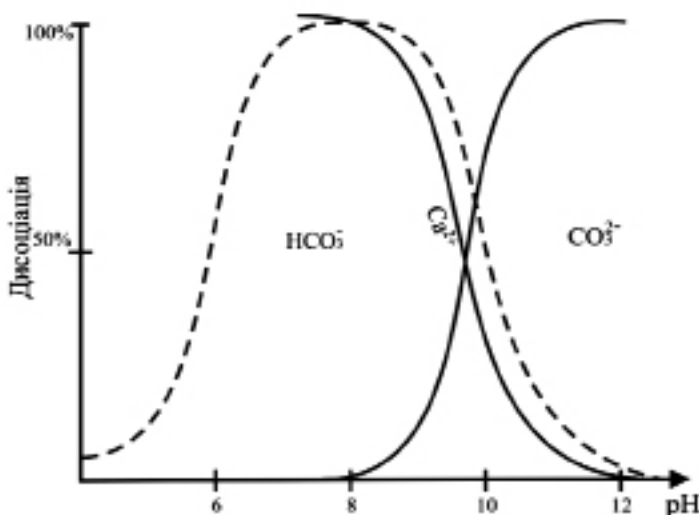
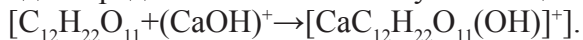


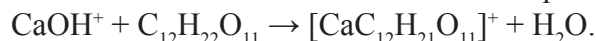
Рис. 1. Залежність вмісту іонів  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  та  $\text{Ca}^{2+}$  від рН (за Р.А. Мак-Джиннісом)

однозарядна комплексна сполука кальцій-сахароза-гідроксид –



Можливим є утворення внаслідок приєднання другого гідроксид іона нейтрального комплексу кальцій-сахароза-дигідроксид  $[CaC_{12}H_{22}O_{11}(OH)_2]$ .

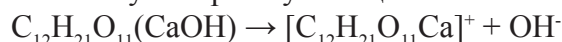
Гідроксидна група сахарози за умов високої лужності може дисоціювати і при цьому утворюється більш міцний зв'язок між кальцієм та сахарозою у комплексі кальцій-сахароза:



В умовах високої лужності (pH > 12) сахароза дисоціює [12]:

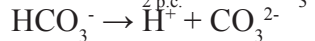
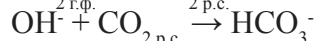


Одна молекула абсорбованого діоксиду вуглецю взаємодіє з двома іонами гідроксиду. Зменшення концентрації гідроксид іонів у розчині сприяє дисоціації сахарозату гідроксикальцію з одержанням стійкого іону сахарозату кальцію.



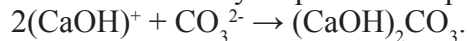
За умов високої лужності сахарозо-вапняного розчину (величина pH близько 12) переважна більшість сахарози, що про дисоціювала, буде присутня в системі як однозарядні аніони. Про це свідчить і те, що у високо лужному середовищі переважно утворюються кальцій-сахарозні комплекси з однозарядними аніонами сахарози.

З початком проходження через високо лужний (pH > 12) вапнований сік карбонізаційного газу із вмістом 28–32% діоксиду вуглецю мають місце масообмінний процес та хімічні реакції з утворенням карбонат іонів:



У вапнованому соку за pH > 12 відсутні іони  $Ca^{2+}$ , а кальцій є в складі комплексних однозарядних іонів гідроксикальцію, які взаємодіють з карбонат іонами:  $(CaOH)^+ + CO_3^{2-} \rightarrow [(CaOH)CO_3]^-$ .

Можливе також утворення нейтрального карбонат гідроксикальцію:



Склад і будова комплексних сполук, що утворюються під час періодичної карбонізації вапняно-сахарозних розчинів чи вапнованого дифузійного соку, залежить від складу та будови комплексів кальцій-сахароза. Значний вплив на кількість кальцій-сахароза-карбонат комплексів має сахароза та вапно відповідно у межах до 15% та 3,0% [13]. Зменшення у вказаних межах сахарози та вапна зменшує кількість утворених комплексних сполук. За відсутності у системі одного з компонентів комплексні сполуки не утворюються.

Значний вплив на утворення комплексних сполук мають карбонат-іони. Без  $CO_3^{2-}$  комплексні сполуки не утворюються. За відсутності в системі катіонів  $Ca^{2+}$  в ній знаходяться лише катіони гідроксикальцію –  $(CaOH)^+$ . З ними і будуть взаємодіяти карбонат-іони. При цьому утворюється карбонат гідроксикальцію. Таким чином утворюється нова сполука, вплив якої на перебіг процесів у комплексоутворенні не виключається. За умов високої лужності вапняно-сахарозного розчину під час його карбонізації є можливим утворення однозарядних комплексних сполук складу  $[CaS(-H)CO_3]^{-1}$  чи нейтральних  $[CaS(-H)CO_3(CaOH^+)]$ . З утворенням комплексних сполук має місце підвищення в'язкості системи.

Зростанню в'язкості системи можна вважати сприяють два чинники: зростання молекулярної маси розчинених комплексів за рахунок утворення олігомерів чи полімерів та зменшення розчинності комплексних сполук за рахунок зниження їх заряду за умов приєднання другого ліганду –  $CO_3^{2-}$ ,  $(CaOHCO_3)^{-1}$  чи  $(CaOH)_2CO_3$ . В'язкість системи може досягати значної величини, за якої система втрачає текучість. За величини pH = 11,7–11,9 в'язкість досягає максимальних величин. При цьому у рідинному середовищі зменшується концентрація сахарози, що свідчить про присутність сахарози у твердій фазі комплексних сполук [14]. У драглистій твердій фазі комплексних сполук знаходяться також гідроксид іони. Доказом цього є зміни концентрації луку у фільтраті під час періодичної карбонізації вапнованого розчину. Кількість луку в розчині значно менша за величину еквівалентну поглиненому діоксиду вуглецю.

Гідроксид іони у складі комплексів, співосажденні чи вільні, мають значний вплив на стійкість комплексних сполук, які утворюють тверду фазу у драглистому вигляді. Свідченням значного впливу гідроксид іонів на утворення комплексних сполук є те, що під час карбонізації вапняно-сахарозних розчинів найбільше змінюється концентрація гідроксид іонів. Лише за певної концентрації гідроксид іонів утворюються ті чи інші комплексні сполуки. Їх тверда фаза та її кількість обумовлюють в'язкість

та її величину. Руйнування комплексних сполук теж пов'язане з концентрацією гідроксид іонів чи рН розчину. За максимальної величини в'язкості системи мають місце рівні величини утворення та руйнування комплексних сполук. Таким чином перед досягненням максимальної величини в'язкості системи внаслідок поглинання CO<sub>2</sub> концентрація луку в розчині зменшується до величини, за якої порушується рівновага між гідроксид іонами в розчині та між включеними в тверду фазу комплексних сполук. При цьому гідроксид іони будуть переходити з твердої фази в розчин.

Руйнування комплексних сполук супроводжується вивільненням раніше захопленими комплексними сполуками забарвлених речовин, сахарози та вапна, що сприяє підвищенню лужності та забарвленості розчину та звільнення сахарози [15], які були складовими компонентами комплексів (рис. 2). Тобто, комплексні сполуки не створюють додаткового очищення, тому що раніше начебто адсорбовані несахарозні речовини повертаються в розчин, а їх вилучення відбувається лише під час утворення та росту кристалів карбонату кальцію.

За умов існування комплексних сполук за певних величин рН вони починають руйнуватися в розчині з'являються (вивільняються) іони Ca<sup>2+</sup>. За наявності в розчині CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (продовжується поглинання CO<sub>2</sub>) має місце реакція:

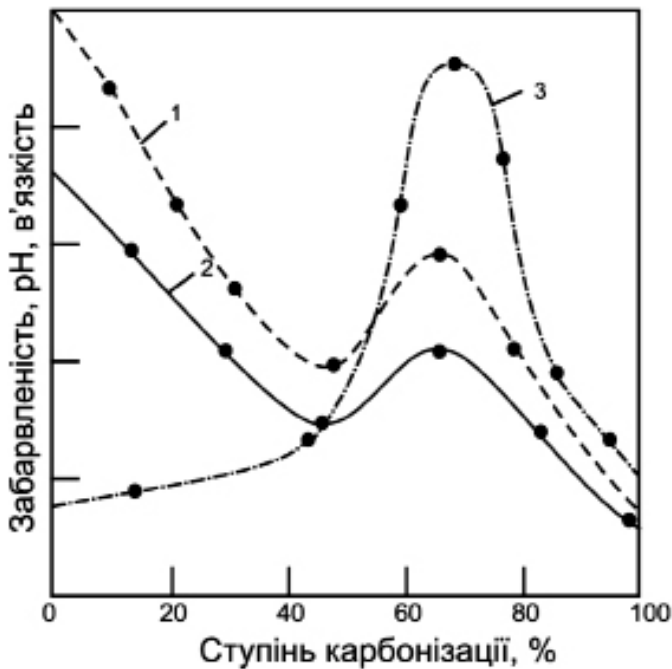


Рис. 2. Зміна забарвленості (1), рН (2) і в'язкості (3) в залежності від ступеня карбонізації вапняно-сахарозної системи

Одночасно з кристалізацією CaCO<sub>3</sub> має місце очищення соку внаслідок процесів адсорбції та співосадження.

Мета даної роботи – підтвердити, що вилучення несахарозних речовин відбувається після руйнування комплексних сполук, а саме коли починає утворюватися тверда фаза кристалічного карбонату кальцію, який виступає у ролі адсорбента.

Дослідження проводилися на модельному розчині з використанням у якості несахарозних речовин забарвлених речовин (розчин меланоїдинів). Для підтвердження чи впливають комплексні сполуки на очищення модельного розчину, досліди проводилися з двома модельними розчинами, результати яких між собою порівнювали.

Об'ємом 500 см<sup>3</sup> готувався 15% сахарозний розчин до якого додавали 20 см<sup>3</sup> розчину меланоїдинів та 2,5% СаО – перший модельний розчин. Модельний розчин попередньо підігрівши до температури 40°C карбонізували до рН 11,1–11,2. У фільтраті після відокремлення осаду, визначали оптичну густину D на спектрофотометрі при λ = 560 нм в кюветі l = 3 см та розраховували забарвленість в одиницях ICUMSA. Забарвленість вихідного модельного розчину становить 924,2 ICUMSA.

Другий модельний розчин – 15% сахарозний розчин об'ємом 500 см<sup>3</sup> + 2,5% СаО попередньо підігрівши до температури 40°C карбонізуємо до рН 11,8–11,6 (значення рН за якого починають руйнуватися комплексні сполуки, ступінь карбонізації вапна 70%) та вносимо 20 см<sup>3</sup> розчину меланоїдинів. Ретельно перемішавши отриманий розчин продовжуємо карбонізацію до рН 11,1–11,2, тверду фазу відокремлювали фільтруванням. У фільтраті визначали оптичну густину D та розраховували забарвленість.

Таблиця 1

Модельний розчин №1			Модельний розчин №2		
Забарвлений вапняно-сахарозний розчин (вихідний)	рН	Забарвленість, ICUMSA	рН розчину при якому введено розчин меланоїдинів	рН розчину I карбонізації	Забарвленість розчину після I карбонізації, ICUMSA
	12,35		924,2	11,8	
Розчин I карбонізації	11,3	224,9	11,7	11,24	225,7
				11,06	199,8

## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Отримані результати наведено в **таблиці 1**.

Вилучення забарвлених речовин відбувалося уже після руйнування комплексних сполук (спосіб очищення модельного розчину 2). При порівнянні результатів забарвленості розчинів I карбонізації, модельних розчинів №1 та №2 (**таблиця 1**), є майже однакові, що говорить про те, що комплексні сполуки не беруть участь у додатковому очищенні несахарозних речовин.

Отримані результати таблиці 1 підтверджують, що комплексні сполуки не впливають на очищення соку. Очищення соку відбувається під час утворення карбонату кальцію, який починає утворюватися в період руйнування комплексних сполук.

Вплив адсорбційної здатності комплексних сполук було досліджено на дифузійному соку. Дослідження проводилися з метою – дослідити, як впливають комплексні сполуки на несахарозні речовини дифузійного соку, тобто чи підвищується ефект очищення соку I карбонізації в присутності комплексних сполук. Можливо деякі несахарозні речовини більш повніше видалятимуться за рахунок адсорбційної здатності комплексних сполук.

Сік I карбонізації одержували двома способами. Для цього готувалося вапняне молоко у кількості 200 см<sup>3</sup> (2,5% CaO до м. дифузійного соку). Вапно загашувалося 15% сахарозним розчином.

Перший спосіб отримання соку I карбонізації: дифузійний сік у кількості 500 см<sup>3</sup> + 200 см<sup>3</sup> вапняного молока підігрівали до температури 85°C та проводили карбонізацію до значення рН 11,2. Після відділення осаду у фільтраті соку визначали вміст білків, солей кальцію, аніонів кислот, забарвленість, чистоту та інші показники.

Другий спосіб отримання соку I карбонізації відрізняється тим, що карбонізацію проводили лише вапняного молока до рН 11,6 та вносили частково відкарбонізоване вапняне молоко в попередньо підігрітий до 85°C дифузійний сік. При змішуванні соку з рН 6,6 та вапняного молока із значенням рН 11,6, отримали сік, рН якого відповідає I карбонізації. Після відокремлення осаду у фільтрованому соку визначали технологічні показники.

Другий спосіб отримання соку I карбонізації є одним із різновидів проведення попереднього вапнування, коли частково відкарбонізований вапнований сік додають на попереднє вапнування для отримання зкоагульованих несахарозних речовин, але він має таку відмінність – ступінь карбонізації вапнованого соку (розчину) становить близько 70%, за якого розпочинається руйнування комплексних сполук.

**Таблиця 2**

Показники	Дифузійний сік	Перший спосіб отримання соку I карбонізації	Другий спосіб отримання соку I карбонізації
рН	6,6	11,3	11,16
Вміст білка, %	0,48	0,24	0,2
Чистота, %	88,6	94,2	94,8
Вміст солей Ca <sup>2+</sup> , % CaO	-	0,05	0,045
Аніони к-т, % CaO	-	0,27	0,14
Забарвлені речовини, ICUMSA	-	109,5	110,3
Об'єм осаду, % (за 25 хв)	-	29,6	31,1
Середня швидкість осадження осаду за 5 хв, см <sup>3</sup> /хв.	-	1,6	2

Результати досліджень наведені в **таблиці 2**.

Під час руйнування комплексних сполук (рН 11,9–11,6) починають викристалізовуватися мікрозродки карбонату кальцію. Сахароза, яка входила до складу комплексних сполук повертається в розчин, підвищується лужність розчину та збільшується вміст солей кальцію, тобто зв'язаний у комплексах [CaOH]<sup>+</sup> повертається в розчин і дисоціює на іони Ca<sup>2+</sup> та OH<sup>-</sup>.

Результати досліджень підтверджують, що комплексні сполуки є проміжним продуктом перед карбонатом кальцію, які не підвищують ефект очищення соку. Дані таблиці 2 підтверджують, що вилучення несахарозних речовин відбувається під час руйнування комплексних сполук, коли в розчині з'являються іони Ca<sup>+</sup>, які є складовими компонентами кристалічної решітки карбонату кальцію, а комплексні сполуки не є аморфним карбонатом кальцію, вони мають такий склад [(CaOH)<sub>n</sub> S<sub>m</sub> (H<sup>-</sup>)<sub>x</sub> (CO<sup>2-</sup>)<sub>y</sub>]

Другий спосіб отримання соку I першої карбонізації має кращі технологічні показники у порівнянні із першим способом, в результаті цього можна зробити такі висновки, що комплексні сполуки навіть перешкоджають більш повному вилученню несахарозних речовин під час їх адсорбції карбонатом кальцію.

Утворений карбонат кальцію має високі адсорбційні властивості. Це пояснюється високою швидкістю утворення карбонату кальцію. Швидкість утворення карбонату кальцію збільшується за рахунок взаємодії аніонів кислот, які присутні в дифузійному соку, із звільненими іонами  $\text{Ca}^{2+}$ . Не затрачується час на перетворення  $\text{CO}_{2\text{газ}} \rightarrow \text{CO}_{2\text{розч}}$ . Відсутня лімітуюча стадія розчинення газу у порівнянні із першим способом приготування карбонізаційного соку. Тому утворені мікрозародки карбонату кальцію мають дуже високу дисперсність та велику адсорбційну площу поверхні.

Є можливість впровадити у виробництво другий спосіб отримання соку I карбонізації для проведення попереднього вапнування частково відкарбонізованим вапняним молоком з рН 11,6–1,8 (ступінь карбонізації ~ 70%) з наступним відділенням осаду після ПВ. Після проведення досліджень з дифузійним соком отримані хороші технологічні та седиментаційні показники соку I карбонізації (спосіб 2), що забезпечить відділення осаду до основного вапнування (ОВ). Перевагами даного способу є: зменшення тривалості проведення ПВ, виключення потрапляння на ОВ коагуляту ВМС, який здатний під дією сахарози до пептизації в жорстких умовах, підвищення ефекту очищення соку, а також підвищення якості та виходу цукру.

Внесення несахарозних речовин у відкарбонізований розчин до рН 11,8–11,6 з наступним продовженням карбонізації забезпечить умови для кристалізації карбонату кальцію, під час росту кристалів якого будуть адсорбуватися несахарозні речовини кожною новоутвореною поверхнею карбонату кальцію, що підтверджують отримані результати.

Вилучення несахарозних речовин відбувається лише під час кристалізації карбонату кальцію внаслідок його адсорбційної здатності, а комплексні сполуки не є карбонатом кальцію і не впливають на вилучення несахарозних речовин.

Дана інформація є корисною для впровадження її у виробництво, а саме у двокотлових карбонізаторах, у першій секції відкарбонізувати сік до рН 11,6 з продовженням карбонізації до рН 11,2 у другій секції.

### Список використаних джерел

1. Бобрівник Л.Д. Хімічні процеси виробництв сахаридів. Монографія. Л. Бобрівник, В. Логвін. – К.: ТОВ «ВПК «Експрес-поліграф». – 2014. – 368 с.
2. Силин П.М. Вопросы технологи сахаристых веществ / Силин П.М. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 302 с.
3. Куцев С.С. Очистка продуктов свеклосахарного производства коллоидным карбонатом кальция / С.С. Куцев // Сахарная промышленность. – 1956. – №11. – С. 16–20.
4. Рева Л.П. Интенсификация технологических процессов очистки сока в свеклосахарном производстве: Дис. д-ра. тех. наук: 05.18.05. / УДУХТ – К., 1982. – 469 с.
5. Рева Л.П. Эффекты адсорбции нецукров карбонатом кальция та їх десорбції при сатураванні дефектованого соку / Л.П. Рева, Є.В. Ковдій // Цукор України. – 2003. – №6 (35). – С. 17–20.
6. Силин П.М. Технология сахара / П.М. Силин. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 624 с.
7. Бугаенко И.Ф. Влияние углекальциевых сахаратов на удаление красящих веществ / И.Ф. Бугаенко, Е.П. Скляр // Сахарная промышленность. – 1987. – №12. – С. 19–20.
8. Румянцев П. Ф. Гидратация алюминатов кальция / Румянцев П.Ф., Хотимченко В.С., Никушенко В.М. – Ленинград: «Наука», 1974. – 79 с.
9. Greenberg S.A., Copeland L.E. The Thermodynamic Function for the solution of Calcium Hydroxide in Water // j. Phys. Chem. – 1960. № 7–8. – p.1057–1059.
10. Головин П.В., Герасименко А.А. Химия и технология свеклосахарного производства. – К.: «Наукова думка», - 1964. – 728 с.
11. Мак-Джиннис Р.А. Технология свеклосахарного производства / Мак-Джиннис Р.А.; [пер. с английского Е. А. Могильного и М. Ю. Сапожникова]. – М.: Пищепромиздат, 1985. – 487 с.
12. Палаш В.П. О роли редуцирующих веществ в технологии сахарного производства / В.П. Палаш, С.З. Иванов // Сахарная промышленность. - 1967. - № 9. - С. 10-13.
13. Виговский В.Ю. Совершенствование технологий и аппаратного оформления I сатурации: Дис. канд. тех. наук: 05.18.05 / Виговский Валерий Юрьевич. – К., 1989. – 194 с.
14. Логвин З.И. Исследование кинетики поглощения углекислого газа щелочными сахарными растворами с целью повышения эффективности работы I сатурации: Дис. канд. тех. наук: 05.18.05 / Логвин Зинаида Ивановна. – К., 1975. -162 с.
15. Панкин Л.И. Изменение реологических свойств известково-сахарной системы в процессе сатурации / Л.И. Панкин, А.М. Гаврилов, А.Р. Сапронов, В.М. Лещенко // Сахарная промышленность. – 1987. – №10. – С. 21–23.