

Рівняння швидкості адсорбції на основі механізму очищення соку карбонатом кальцію під час безперервної карбонізації

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

А.С. Мартинюк, аспірант 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

В результаті досконалого вивчення механізму очищення соку карбонатом кальцію під час безперервної карбонізації виведено рівняння швидкості адсорбції несахарозних речовин. На основі рівняння швидкості адсорбції знайдено шлях інтенсифікації процесу карбонізації.

Ключові слова: кристалізація, адсорбція, співосадження, нерухомий шар, рушійна сила.

В результате досконального изучения механизма очистки сока карбонатом кальция во время непрерывной карбонизации выведено уравнение скорости адсорбции несахаристых веществ. На основе уравнения скорости адсорбции найден путь интенсификации процесса карбонизации.

Ключевые слова: кристаллизации, адсорбция, соосаждения, неподвижный слой, движущая сила.

As a result of a thorough study of the mechanism of clean juice with calcium carbonate during continuous carbonization the adsorption rate equation was derived unsacchariferous substances. Based on the rate equation of adsorption found a way of intensifying the process of carbonation.

Keywords: crystallization, adsorption, coprecipitation, a fixed bed, the driving force.

Основними процесами, що забезпечують очищення соку карбонатом кальцію, одержаними під час карбонізації вапнованого соку, є кристалізація карбонату кальцію, адсорбція несахарозних речовин на поверхні зростаючих частинок карбонату кальцію та співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію. З закінченням кристалізації карбонату кальцію закінчується і очищення соку внаслідок адсорбції та співосадження.

Дослідженню кінетики поглинання діоксиду вуглецю лужними розчинами та лужним соком у другій половині двадцятого сторіччя була присвячена значна кількість наукових робіт [1–3]. Результатом цих робіт є розрахунок питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю лужним соком та розрахунок карбонізатора, як масообмінного апарата. Але до цього часу не існує розрахунку швидкості очищення соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку.

Аналізуючи ізотерми адсорбції Фрейндліх, а потім Ленгмюр [4] для аналітичного їх вираження запропонував емпіричне рівняння. Аналітично адсорбційні ізотерми значно краще описують-

ся рівнянням Ленгмюра. Ці емпіричні рівняння є аналітичним вираженням фізичної адсорбції, але вони не можуть бути використаними для розрахунків хімічної адсорбції і особливо розрахунків очищення соку зростаючими частинками карбонату кальцію, що включає кристалізацію, адсорбцію та співосадження. Від фізичної адсорбції очищення соку карбонатом кальцію відрізняється тим, що очищення соку карбонатом кальцію має місце лише під час зростання частинок, відсутністю рівноважного стану та десорбції і наявністю зарядів на поверхні частинок.

Н.Є. Логіновим [5] запропоновано емпіричне рівняння для розрахунку ефекту очищення соку вапном, другою складовою є ефект очищення соку під час карбонізації вапнованого соку. Це рівняння не зважаючи на те, що включає витрати вапна на карбонізацію, не може бути використаними для розрахунків швидкості очищення соків. У ньому не використанні чинники, що мають значний вплив на кінетику адсорбції – коефіцієнт масопередачі та рушійна сила процесу адсорбції. В основі рівняння Н.Є. Логінова лежить емпіричне рів-

няння аналогічного вираження ізотерми фізичної адсорбції Ленгмюра. Зважаючи на перелічені перешкоди, не можливо скористатися рівнянням (1) для розрахунку швидкості очищення соку під час карбонізації вапнованого соку.

$$E = A + \frac{K_1 \cdot m}{m + K_2} \quad (1)$$

де E – загальний ефект очищення на станції вапнування і карбонізації;

A – ефект очищення на попередньому вапнуванні;

m – витрата фізично-активного вапна в % до маси буряків, дорівнює загальній витраті вапна мінус хімічно-активне вапно (0,3%);

k_1 – константа, означає максимально можливу величину адсорбції карбонатом кальцію під час карбонізації;

k_2 – константа, пов'язана з інтенсивністю адсорбційних сил на поверхні адсорбенту.

Очищення соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку ґрунтується на процесах кристалізації карбонату кальцію, адсорбції несахарозних речовин на зростаючих частинках карбонату кальцію та на співсадженні несахарозних речовин з карбонатом кальцію. У вирішенні основної задачі – очищення соку, ці процеси взаємозв'язані. Без кристалізації не буде ні адсорбції, ні співсадження. Кількість співсаджених несахарозних речовин залежить від кількості адсорбованих несахарозних речовин. Ефективність очищення соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку визначається кількістю несахарозних речовин, вилучених з соку за певний час.

Швидкість очищення соку карбонатом кальцію буде визначатися швидкістю найповільнішого процесу. Швидкість кристалізації має значний вплив на ефективність очищення соку, але швидкість кристалізації є показником ефективності проведення кристалізації карбонату кальцію, а не несахарозних речовин. Швидкість процесу не може бути лімітуючим процесом швидкості очищення соку. Можна вважати, що співсадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію складається з двох етапів. Перший – адсорбція несахарозних речовин на зростаючих частинках карбонату кальцію і другий – включення несахарозних речовин в кристали CaCO_3 , що і є власне співсадженням. Кількість співсаджених з карбонатом кальцію несахарозних речовин буде визначатися кількістю чи швидкістю адсорбованих несахарозних речовин. Лімітуючим процесом швидкості очищення соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку є адсорбція.

Адсорбція несахарозних речовин твердою фазою карбонату кальцію, що утворюється під час карбонізації вапнованого соку складається з двох етапів.

Перший етап – зовнішня дифузія несахароз-

них речовин чи їх дифузія в соку до поверхні зростаючих частинок карбонату кальцію.

Другий етап – адсорбція несахарозних речовин на поверхні часток карбонату кальцію. Цей етап проходить майже миттєво і він не впливає на загальну швидкість адсорбції. Швидкість перенесення несахарозних речовин з об'єму соку до поверхні частинок карбонату кальцію характеризується гідродинамічними умовами в карбонізаторі – інтенсивністю перемішування соку на поверхні частинок карбонату кальцію.

Швидкість адсорбції несахарозних речовин в очищенні соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку визначається з рівняння, основою якого є рівняння Фіка:

$$A = K_{p.c.} \cdot F \cdot z (C_{p.c.} - C_n) \quad (2)$$

де A – швидкість адсорбції, кг/с;

$K_{p.c.}$ – коефіцієнт масовіддачі в рідинному середовищі, м/с;

F – площа поверхні адсорбції, м²;

$C_{p.c.}$ – концентрація несахарозних речовин в рідинному середовищі (в соку), кг/м³;

C_n – концентрація несахарозних речовин в рідинному середовищі біля поверхні адсорбенту, кг/м³;

z – фактор прискорення адсорбції несахарозних речовин наявністю зарядів на поверхні частинок CaCO_3 .

У системі рідина-тверде тіло (сік-карбонат кальцію) величина коефіцієнта масовіддачі в рідинному середовищі визначається товщиною нерухомого шару рідини на поверхні частинок твердої фази, через який Ca^{2+} катіони та аніони, а також несахарозні речовини проходять внаслідок молекулярної дифузії. Зі збільшенням товщини нерухомого шару величина коефіцієнта масовіддачі в рідинному середовищі зменшується. Товщина нерухомого шару рідини на поверхні частинок твердої фази залежить від інтенсивності перемішування рідинного середовища, з підвищенням швидкості перемішування товщина нерухомого шару рідини зменшується та збільшується величина коефіцієнта масовіддачі $K_{p.c.}$.

Умови масовіддачі в рідинному середовищі під час адсорбції несахарозних речовин на зростаючих частинках карбонату кальцію мають особливості. Вони визначаються розмірами частинок твердої фази. У карбонаті є частинки карбонату кальцію з мінімальними розмірами від тих, що вже набули властивостей твердої фази і до 15 – 20 мкм. Частинки з такими розмірами знаходяться в соку в завислому стані і вони переміщуються разом з елементами рідинного середовища.

За цих умов гравітаційна складова руху твердої фази відносно рідинного середовища у величині коефіцієнта масовіддачі буде незначною порівняно з величиною, що досягається внаслідок

вихрового руху в рідинному середовищі. За умов високої інтенсивності перемішування соку його елементи будуть подрібнюватися, а зони руйнування елементів та інтенсивного перемішування все ближче будуть наближатися до поверхні частинок карбонату кальцію. При цьому буде зменшуватися товщина нерухомого шару середовища на поверхні частинок CaCO_3 та будуть збільшуватися величини коефіцієнта масовіддачі в рідинному середовищі та швидкості адсорбції несахарозних речовин.

У той же час з літературних джерел відомо [6], що для дуже малих частинок з розмірами в межах 1 – 10 мкм коефіцієнт масовіддачі в рідинному середовищі незначно залежить від розмірів частинок за умов, що інтенсивність перемішування суспензії запобігає седиментації частинок твердої фази. Значення величин коефіцієнта масовіддачі для таких частинок знаходяться в межах $(0,1 - 0,4) \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$.

Шлях до інтенсифікації очищення соку внаслідок адсорбції під час карбонізації вапнованого соку є інтенсифікація перемішування соку. При цьому бажаним є відокремлення твердої фази до основного вапнування, що запобігатиме руйнуванню сформованих під час попереднього вапнування агрегатів твердої фази. Карбонат кальцію характеризується пошаровим ростом частинок. Кожен новоутворений шар адсорбує несахарозні речовини. Свідченням цього є те, що переважна більшість несахарозних речовин знаходяться в середині частинок карбонату кальцію [7] та той факт, що очищення соку карбонатом кальцію має місце лише під час росту частинок карбонату кальцію CaCO_3 .

За умов пошарового росту частинок карбонату кальцію площа поверхні адсорбції їх складається з площ із кожного новоутворених шарів. Таким чином під час карбонізації вапнованого соку і під час росту частинок CaCO_3 має місце співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію.

Кінцеві розміри чи дисперсність частинок карбонату кальцію, одержаних під час карбонізації вапнованого соку, не є вирішальним у величині площі поверхні адсорбції та ефективності очищення соку карбонатом кальцію.

Частинки карбонату кальцію за умов I карбонізації мають позитивний заряд, що сприяє підвищенню швидкості адсорбції. Це пов'язано з тим, що несахарозні речовини у своїй більшості є аніони кислот та забарвлені речовини, більшість яких теж є аніонами кислот. Величина заряду на поверхні частинок CaCO_3 залежить від концентрації гідроксиду кальцію. З її підвищенням величина заряду зростає [8]. Вплив величини заряду частинок CaCO_3 на швидкість адсорбції несахарозних речовин карбонатом кальцію в рівнянні (2) приймає участь через фактор прискорення адсорбції несахарозних речовин – відношення швидко-

сті адсорбції несахарозних речовин зростаючими частинками карбонату кальцію за наявності заряду на їх поверхні до швидкості адсорбції карбонату кальцію за відсутності заряду на його поверхні. Фактор прискорення знаходиться експериментально через визначення швидкості адсорбції несахарозних величин за різних величин лужності і рН середовища. Карбонізація проводиться за умов постійних величин лужності та рН середовища. Експериментально одержані величини швидкості адсорбції несахарозних речовин у межах рН 9,5 – 11,0 екстраполюються до «0» величин заряду. За величин рН < 9,25 карбонат кальцію в присутності CO_2 розчиняється [9]. У даних дослідженнях всі параметри карбонізації окрім лужності та рН середовища залишаються постійними.

Рушійною силою перемішування несахарозних речовин з соку до поверхні частинок карбонату кальцію є різниця концентрацій несахарозних речовин в соку та біля поверхні адсорбента ($C_{\text{p.c.}} - C_{\text{n}}$). Концентрація несахарозних речовин в соку, за умов проведення карбонізації в одноступінчастому апараті, $C_{\text{p.c.}}$ дорівнює середній величині концентрації несахарозних речовин в об'ємі соку в апараті чи концентрації несахарозних речовин у соку після I карбонізації.

Від'ємник C_{n} у різниці концентрацій – рушійній силі є концентрація несахарозних речовин у соку біля поверхні частинок CaCO_3 .

Кінетика адсорбції несахарозних речовин неперистим адсорбентом – частинками карбонату кальцію, що утворюються під час карбонізації вапнованого соку визначається швидкістю дифузії несахарозних речовин через нерухомий шар рідинного середовища до поверхні адсорбента. Власне адсорбція має значно вищу швидкість. Несхарозні речовини, що внаслідок молекулярної дифузії подолали нерухомий шар середовища, миттєво адсорбуються поверхнею зростаючих частинок карбонату кальцію. Вони не затримуються в рідинному середовищі біля поверхні адсорбції.

У нерухомому шарі рідинного середовища концентрація несахарозних речовин змінюється від $C_{\text{p.c.}}$ на поверхні нерухомого шару з боку рідинного середовища до $C_{\text{n}} = 0$ з боку частинки CaCO_3 . Відсутні підстави вважати, що локальні величини різниці концентрацій ($C_{\text{p.c.}} - C_{\text{n}}$) у нерухомому шарі навколо частинки твердої фази карбонату кальцію можуть мати більшу чи меншу величину з боку рідинного середовища чи з боку твердої фази. Локальні величини рушійної сили в нерухомому шарі залишаються постійними величинами по всій товщині нерухомого шару (рис. 1 та 2) За таких умов рушійна сила адсорбції несахарозних речовин частинками карбонату кальцію, що утворилася внаслідок карбонізації вапнованого соку, є різниця концентрацій ($C_{\text{p.c.}} - C_{\text{n}}$). Коли $C_{\text{n}} = 0$, то рушійною силою адсорбції несахарозних карбо-

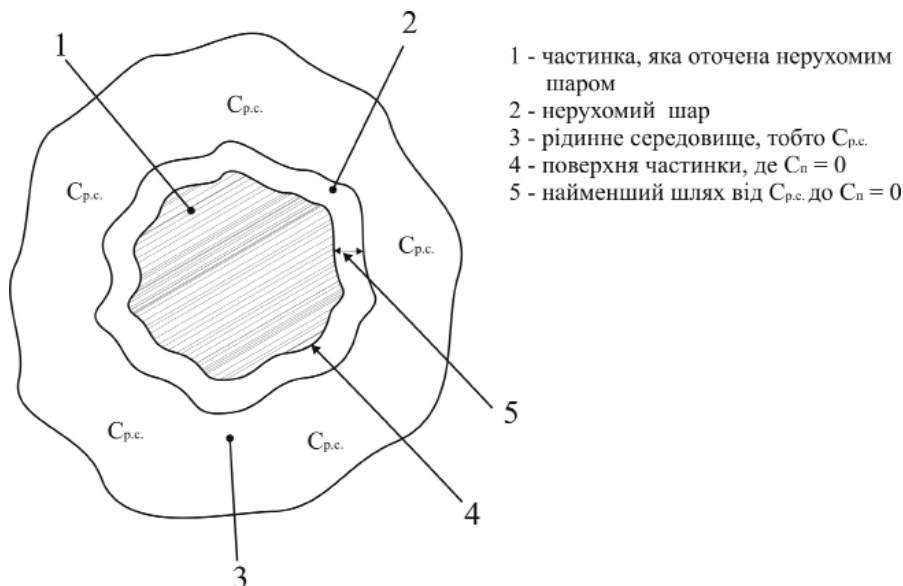


Рис. 1. Частинка карбонату в рідинному середовищі та зміна концентрації несахарозних речовин в нерухомому шарі

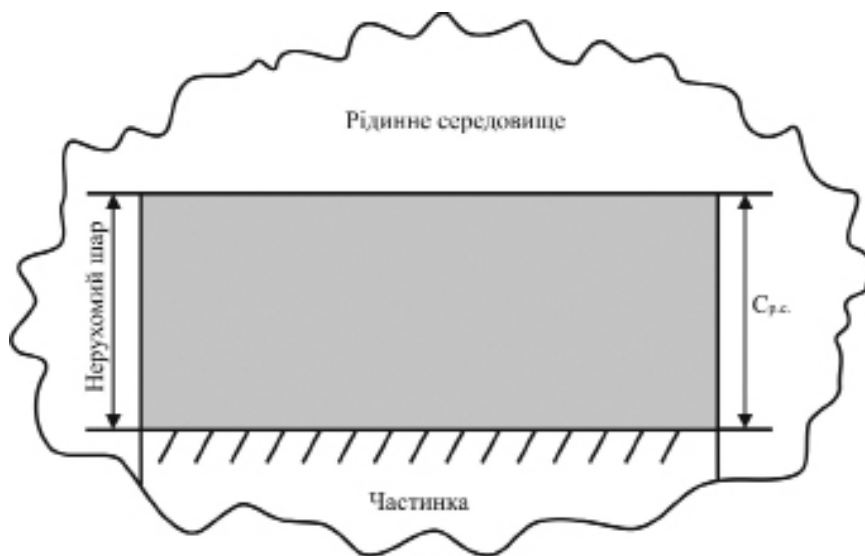


Рис. 2. Нерухомий шар навколо частинки

натом кальцію під час карбонізації є концентрація несахарозних речовин у соку в карбонізаторі.

Аналіз рівняння швидкості адсорбції несахарозних речовин свідчить, що підвищення вмісту несахарозних речовин у соку під час карбонізації вапнованого соку сприяє підвищенню ступеня вилучення несахарозних речовин. Є небажаним розбавлення несахарозних речовин дифузійного соку практично очищеним після I карбонізації, коли нефільтрований сік у кількості 50 – 100% повертається на попереднє вапнування з метою покращення седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку після I карбонізації. Це необхідно досягти без зниження ефекту очищення соку карбонатом кальцію під час I карбонізації.

Таким чином вирішене питання з визначенням рушійної сили в рівнянні швидкості адсорбції несахарозних речовин карбонатом кальцію, але, як завжди залишається одне «але». Відомо [5], що з підвищенням швидкості карбонізації зростає величина ефекту очищення соку карбо-

натом кальцію.

Під час пошарового росту частинок карбонату кальцію утворюються все нові і нові поверхні адсорбції. Вміст несахарозних речовин на поверхні може змінюватися від $C = 0$ до вмісту в стані рівноваги з концентрацією несахарозних речовин в соку в карбонізаторі. Найвищу адсорбційну здатність має свіжоутворена поверхня з вмістом несахарозних речовин близьким до нуля. Таким чином для збереження високої адсорбційної здатності частинок карбонату кальцію необхідно, щоб їх поверхня частіше обновлювалася. Це досягається підвищенням лінійної швидкості кристалізації частинок CaCO_3 буде сприяти збільшенню співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію, що теж сприятиме підвищенню ефекту очищення соку карбонатом кальцію.

Підвищення лінійної швидкості кристалізації CaCO_3 досягається шляхом зменшення величини поверхні частинок карбонату кальцію в карбонізаторі і підвищення питомої швидкості поглинан-

ня CO_2 в карбонізаторі. Зменшення поверхні частинок CaCO_3 в карбонізаторі досягається шляхом зменшення об'єму соку в карбонізаторі чи зменшення часу перебування соку в апараті. Зі значним зменшенням об'єму соку в карбонізаторі погіршуються умови регулювання заданими величинами лужності і рН соку після карбонізації. Зменшення об'єму соку в карбонізаторі призведе до «миттєвої» карбонізації або карбонізації «в трубі». Перешкодою впровадження цього способу стали труднощі в контролюванні величиною лужності соку на виході з апарата.

Автоматичне контролювання величини рН соку на виході із карбонізатора дозволяє значно зменшити об'єм соку в карбонізаторі з позитивними результатами по відношенню до ефекту очищення дифузійного соку. Свідченням цього є удосконалення апарата І карбонізації шляхом встановлення в середину апарата циліндра карбонізатора для здійснення в циркуляційному контурі внутрішньої циркуляції соку. Цим досягається покращення седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку після І карбонізації. За час перебування соку в циркуляційному контурі зменшується величина коефіцієнта перенасичення внаслідок кристалізації CaCO_3 , яка продовжується і зменшення вмісту найменших частинок внаслідок їх розчинення, присутність яких в соку знижує седиментаційні та фільтраційні властивості твердої фази. Площа перерізу внутрішнього карбонізатора-циліндра складає 40–45% від площі перерізу карбонізатора до його удосконалення. При цьому і об'єм карбонізатора-вставки при рівних величинах висоти шару буде складати таку ж частину, як і площа.

Вставка-карбонізатор має менший об'єм, ніж карбонізатор до удосконалення. Зменшення об'єму карбонізатора зменшує тривалість перебування соку, кількість частинок твердої фази і площу поверхні частинок карбонату кальцію. Наслідком цього буде підвищення лінійної швидкості кристалізації CaCO_3 і ефект очищення соку завдяки адсорбції та співосажденню.

Питома швидкість CO_2 лужним соком визначається із рівняння:

$$N = K_p \cdot F \cdot (C_n - C_o) \quad (3),$$

де N – питома швидкість поглинання CO_2 лужним соком, кмоль/см^3 ;

K_p – коефіцієнт масовіддачі в рідкому середовищі (в соку), м/с ;

F – питома поверхня розділу фаз – поверхня розділу фаз в одиниці об'єму соко-газової емульсії, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

C_n – концентрація діоксиду вуглецю на поверхні розділу фаз дорівнює розчинності діоксиду вуглецю в соку, кмоль/м^3 ;

C_o – концентрація діоксиду вуглецю в рідкому середовищі (в соку), кмоль/м^3 . За умов наступної хімічної реакції в рідкому середовищі $C_o = 0$.

V – фактор прискорення абсорбції наступної хімічної реакції (4):



в соку – співвідношення швидкості поглинання CO_2 лужним соком до швидкості поглинання CO_2 водою (фізична абсорбція) за тих же умов.

Використання фактора прискорення абсорбції діоксиду вуглецю наступною хімічною реакцією в рідкому середовищі – це можливість врахувати під час визначення швидкості абсорбції діоксиду вуглецю лужними розчинами зміни механізму і кінетики, які при цьому виникають, в порівнянні з фізичною абсорбцією. Фактор прискорення об'єднує в собі всі ті фактори, які сприяють підвищенню швидкості поглинання діоксиду вуглецю лужними розчинами в порівнянні зі швидкістю поглинання CO_2 розчинами без хімічної реакції. Фактор прискорення абсорбції наступної хімічної реакції в рідкому середовищі визначається з рівняння [11]:

$$V = 1 + \frac{\sqrt{M}}{\frac{\sqrt{M}}{q} + e^{-0,35\frac{\sqrt{M}}{q}}} \left[1 - \varphi 0,85 \sqrt{\frac{M}{q} + \sqrt{M}} \right] \quad (5),$$

де \sqrt{M} та q – безрозмірні комплекси:

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{B \times K \times Da}}{K_p} \quad (6);$$

$$q = \frac{B}{2An} \quad (7)$$

$$\varphi(z) = \frac{\exp(-z^2)}{z} \int_0^z \exp(y^2) dy \quad (8)$$

B – концентрація гідроксиду кальцію в соку, кмоль/м^3 ;

K – константа швидкості реакції другого порядку (І), $\text{м}^3/\text{кмоль} \cdot \text{с}$;

Da – коефіцієнт дифузії діоксиду вуглецю в соку, $\text{м}^2/\text{с}$.

Визначені всі складові рівняння (3) – (8) та розраховані величини питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю соко-газовою емульсією в карбонізаторі [11].

Питома швидкість поглинання діоксиду вуглецю лужним соком зростає прямо пропорційно підвищенню фактора прискорення абсорбції наступною хімічною реакцією між CO_2 та гідроксид іонами в соку. Аналіз впливу безрозмірних комплексів \sqrt{M} та q на величину фактора прискорення свідчить, що коли $q \gg \sqrt{M}$, то величина фактора прискорення наближається до значення 1. Ця умова виконується при поглинанні діоксиду вуглецю соком у межах можливих (реальних) значень концентрації гідроксиду кальцію в соку.

Висновок. Виходячи із виведеного рівняння швидкості адсорбції, яке включає в собі складові чинники хімічної та фізичної адсорбції, які є невід'ємними складовими процесу карбонізації, шлях до інтенсифікації процесу очищення є перемішування. Під час карбонізації потрібно забезпечити додаткове перемішування, що сприятиме

руйнуванню нерухомого шару та забезпечувати швидкий доступ несахарозних речовин до поверхні зростаючої частинки карбонату кальцію, і сприятиме більш повнішому вилученню несахарозних речовин із соку.

Рушійною силою швидкості адсорбції є концентрація несахарозних речовин у соку. Чим більша кількість несахарозних речовин тим вищий ступінь вилучення несахарозних речовин, тому є небажаним розбавлення дифузійного соку практично очищеним соком після I карбонізації.

Список використаних джерел

1. *Рева Л. П.* Интенсификация технологических процессов очистки сока в свеклосахарном производстве: дис. д-ра техн. наук: спец. «Технология сахара и сахаристых веществ» / Л. П. Рева. – Киев, 1982. – 469 с.

2. *Кишеневский М. Х.* Кинетика абсорбции процессов сопровождающихся химической реакцией: дис. д-ра техн. наук: спец. 05.18.05 «Технология сахара и сахаристых веществ» / М. Х. Кишеневский. – Кишенев, 1955. – 244 с.

3. *Логвин В. М.* Исследование кинетики поглощения углекислого газа щелочными сахарными растворами с целью повышения эффективности работы I сатурации: дис. канд. техн. наук: спец. 05.18.05 «Технология сахара и сахаристых ве-

ществ» / В. М. Логвин. – Киев, 1975. – 162 с.

4. *Песков Н. П.* Физико-химические основы коллоидной науки / Песков Н. П. – Л. : Госхимтехиздат, 1932. – 432 с.

5. *Логинов Н. Е.* Пути усовершенствования очистки диффузионного сока / Логинов Н. Е. – Москва, 1940. – 117 с.

6. *Шервуд Т.* Массопередача / Т. Шервуд, Р. Пигфорд, Ч. Уилки [Перевод с англ. Н. Н. Кулова, под ред. В. А. Малюсова]. – М. : «Химия», 1982. – 696 с.

7. *Логвин В. М.* Барвні речовини в очищенні соку карбонатом кальцію / В. М. Логвин, А. С. Мартинюк, В. Ю. Виговський, Ю. М. Резніченко // Цукор України. – 2014. – № 11. – С. 27 – 31.

8. *Хомичак Л. М.* Совершенствование известковоуглекислотной очистки сока на основе изучения электроповерхностных свойств карбоната кальция: автореф. дис. на соискание учен. степен. канд. техн. наук: спец. 05.18.05 «Технология сахара и сахаристых веществ» / Л. М. Хомичак. – Киев, 1985. – 25 с.

9. *Крайча Я.* Газы в подземных водах. Их свойства, разведка и использование. Крайча Я. / Пер. с чешского. Под ред. Г.С.Вартаняна. – М : Недра, 1980. – 343 с.

10. *Логвин В. М.* Інтенсифікація першої сатурації / Логвин В. М. – К. : АТЗТ «Експрес-об'ява». – 1998. – 224 с. – (Навчальний посібник).

ПРО ХІМІЮ З ПОСМІШКОЮ

Правила виживання в хімічній лабораторії

1. Якщо ви відкоркували що-небудь - закоркуйте.
2. Якщо в руках у вас рідке - не розлийте, порошкоподібне - не розсипте, газоподібне - не випустіть назовні.
3. Якщо включили - вимкніть.
4. Якщо відкрили - закрийте.
5. Якщо розібрали - зберіть.
6. Якщо ви не можете зібрати - покличте на допомогу умільця.
7. Якщо ви не розбирали - навіть не думайте збирати.
8. Якщо ви позичили що-небудь - поверніть.
9. Якщо ви користуєтесь чим-небудь - тримайте в чистоті та порядку.
10. Якщо ви привели що-небудь в безлад - відновіть статус-кво.
11. Якщо ви зрушили що-небудь - поверніть на місце.
12. Якщо ви бажаєте скористатись чим-небудь, що належить іншому, - спросіть дозволу.
13. Якщо ви не знаєте, як це діє, - заради Бога, не чіпайте.
14. Якщо вас не стосується - не втручайтесь.
15. Якщо ви не знаєте, як це робиться, - відразу запитайте.
16. Якщо ви не можете чого-небудь зрозуміти - почухайте потилицю.
17. Якщо ви все ще не розумієте - і не намагайтесь.
18. Якщо ви «горите на роботі» - намагайтесь робити так, щоб від вас нічого не спалахувало.
19. Якщо у вас що-небудь вибухнуло - перевірте, чи залишилися ви живими?
20. **Якщо ви не засвоїли цих правил - не заходьте до хімічної лабораторії!**