

ISSN 2449-7320

CONSILIUM SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ

Nº 2(9) 2016

European Cooperation

**Scientific Approaches and
Applied Technologies**

WSPÓŁPRACA EUROPEJSKA

**Podejście Naukowe &
Zastosowane Technologie**

Warszawa 2016

Логвін В.М.

д.т.н., професор,
Національний університет харчових технологій,
професор кафедри технології цукру і підготовки води
Київ, Україна
lohvin@i.ua

Мартинюк А.С.

Національний університет харчових технологій
аспірант
Київ, Україна
amartinyuk@i.ua

РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ АДСОРБЦІЇ ЗА УМОВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ КАРБОНІЗАЦІЇ В ОДНОСТУПІНЧАСТОМУ АПАРАТІ

Анотація. Очищення дифузійного соку карбонатом кальцію відбувається за рахунок фізичної та хімічної адсорбції. У даній роботі детально розглянуто рівняння ефекту очищення на станції вапнування та карбонізації Логінова Н.Е., яке не враховує важливі чинники, які мають значний вплив на кінетику адсорбції, тому на основі рівняння Фіка виведено рівняння швидкості адсорбції несахарозних речовин карбонатом кальцію. Аналіз рівняння швидкості адсорбції дозволяє встановити вплив різних чинників, впливаючи на які можна змінювати швидкість адсорбції. Інтенсифікація швидкості адсорбції в подальшому буде впливати на збільшення виходу цукру та підвищення його якості.

Ключові слова: адсорбція, дифузійний шар, карбонізація, частинка, перемішування, агрегування

Формул: 12, рис.:3, табл.: 0, бібл.: 13

Volodymyr Logvin

Doctor of Science (Engineering), professor,
National University of Food Technologies,
Professor of Department of Technology Sugar and Water Preparation
Kyiv, Ukraine
lohvin@i.ua

Alina Martynyuk

National University of Food Technologies,
PhD Student at Department of Technology Sugar and Water Preparation
Kiev, Ukraine
amartinyuk@i.ua

CALCULATION OF SPEED OF ADSORPTION WHEN CARRYING OUT CONTINUOUS CARBONIZATION IN THE ONE- BOILER DEVICE

Abstract. Purification of diffusive juice by a carbonate of calcium happens due to physical and chemical adsorption. The equation of the effect of

clarification at the station of lime application and carbonization by Loginov N.E., which doesn't consider important factors as considerable influence on adsorption kinetics was considered in detail in this work. Therefore on the basis of Fick's equation was removed the equation of speed of adsorption of unsaccharose substances by the calcium carbonate. The analysis of the equation of speed of adsorption allows to establish influence of factors, influencing on which it is possible to change efficiency of purification of juice. Intensification of the adsorption rate will further affect the increase sugar yield and improving its quality.

Keywords: adsorptions, the diffusion layer, carbonization, particle, mixing, aggregation

Formulas: 12, fig.: 3, tabl.: 0 bibl., 13

Вступ. Важливу роль в технології цукрового виробництва відіграє очищення дифузійного соку. Відомо, [Хомічак 1999] що підвищення чистоти очищеного соку на 1% сприятиме збільшенню виходу цукру приблизно на 0,3% до маси буряків, що для цукрового виробництва є значною кількістю, якщо в середньому за добу переробляють від 3,5 тис. тонн до 8 тис. тонн буряків.

Для підвищення чистоти дифузійного соку розроблено багато різноманітних способів очищення з використанням додаткових витрат вапна та допоміжних реагентів.

Очищення дифузійного соку цукрового виробництва включає наступні технологічні процеси: попереднє вапнування, основне вапнування, I та II карбонізації і сульфатація соку. Основне видалення несахарозних речовин відбувається під час карбонізації, на I карбонізації здійснюється фізико-хімічне очищення соку за рахунок адсорбції несахарозних речовин на свіже утвореному карбонаті кальцію і сприяє утворенню осаду з хорошими фільтраційно-седиментаційними показниками.

В загальному ефекті видалення несахарозних речовин важливе місце займає адсорбція. Від загального ефекту на долю адсорбції припадає 1/5 частина. В останні роки дослідженнями було встановлено, що процес видалення несахарозних речовин на карбонаті кальцію, який утворюється під час I карбонізації, являється адсорбційним. Адсорбція несахарозних речовин на карбонаті кальцію під час I карбонізації відбувається за рахунок різниці зарядів: позитивно зарядженого чистого карбонату кальцію і від'ємно заряджених несахарозних речовин, в тому числі і коагуляту ВМС, який утворився під час попереднього вапнування [Сапронов, Сапронова 2003].

Адсорбційна здатність карбонату кальцію по відношенню до речовин, що сорбуються під час кристалізації, найбільша в момент утворення кристалічного карбонату кальцію.

Адсорбція розчинних несахарозних речовин і забарвлених речовин, розміри молекул яких значно менші розміру частинок кристалічного карбонату кальцію, представляють собою процес видалення домішок на твердому адсорбенті. Н.Є Логіновим показано [Логінов 1940], що видалення забарвлених речовин і солей кальцію в залежності від кількості доданого вапна, яке ґрунтується на рівнянні ізотерми Ленгмюра [Карнаухов, 1999]:

$$E = A + \frac{\kappa_1 \cdot m}{m + \kappa_2}, \quad (1)$$

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 максимальну можливу величину адсорбції карбонатом кальцію під час карбонізації;
 k_2 – константа, пов'язана з інтенсивністю адсорбційних сил на поверхні адсорбенту.

На жаль, до сьогоднішнього часу не існує розрахунків для швидкості адсорбції несахарозних речовин карбонатом кальцію. Вище згаданим рівнянням, на жаль, не можливо скористатися. Як уже згадувалося очищення соку карбонатом кальцію відбувається за рахунок фізико-хімічної адсорбції. Виведене рівняння Логінова Н.Є. (1) враховує лише фізичну адсорбцію. Від фізичної адсорбції очищення соку карбонатом кальцію відрізняється тим, що очищення соку карбонатом кальцію має місце лише під час зростання частинок, відсутністю рівно вагового стану та десорбції і наявністю зарядів на поверхні частинок. У рівнянні (1) не використанні чинники, що мають значний вплив на кінетику адсорбції – коефіцієнт масопередачі та рушійна сила процесу адсорбції [Логвін, Мартинюк, Виговський, Резніченко 2015].

В раніше виконаних роботах [Логвін, Мартинюк, Виговський, Резніченко 2014] було встановлено, що вилучення несахарозних речовин карбонатом кальцію відбувається під час його росту, кожною новоутвореною поверхнею частинки карбонату кальцію. Тобто більша кількість несахарозних речовин знаходиться в середині кристалів карбонату кальцію, це є свідченням співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію. Під час адсорбції несахарозних речовин, які знаходяться у розчиненому стані бере участь процес співосадження, який сприяє переведенню із рідкої фази несахарозних речовин у тверду фазу, які включаються в склад кристалічної решітки основної речовин, під час кристалізації карбонату кальцію.

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 співосадженні несахарозних речовин з карбонатом кальцію. У вирішенні основної задачі – очищення соку, ці процеси взаємозв'язані. Без кристалізації не буде ні адсорбції, ні співосадження. Кількість співосаджених несахарозних речовин залежить від кількості адсорбованих несахарозних речовин і швидкості кристалізації. Зі збільшенням швидкості кристалізації CaCO_3 певна кількість адсорбованих несахарозних речовин перекривається новим шаром карбонату кальцію, що запобігає десорбції. 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 кристалізації не може бути лімітуючим процесом швидкості очищення соку. Можна вважати, що співосадження 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 співосадженням. Кількість співосаджених 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 несахарозних 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.

У двадцятих роках минулого століття Фольмер запропонував адсорбційну теорію росту кристалів, згідно з якою частинки кристалізуючої речовини при досягненні поверхні утворюють своєрідний адсорбційний шар – утворення двомірних кристалів, які згодом приєднуються до граней кристала. Странський І.Н. вважає імовірним можливість утворення на зростаючому кристалі іонних рядів чи шарів, схожих з двомірними кристалічними утвореннями Фольмера [Воюцкий 975].

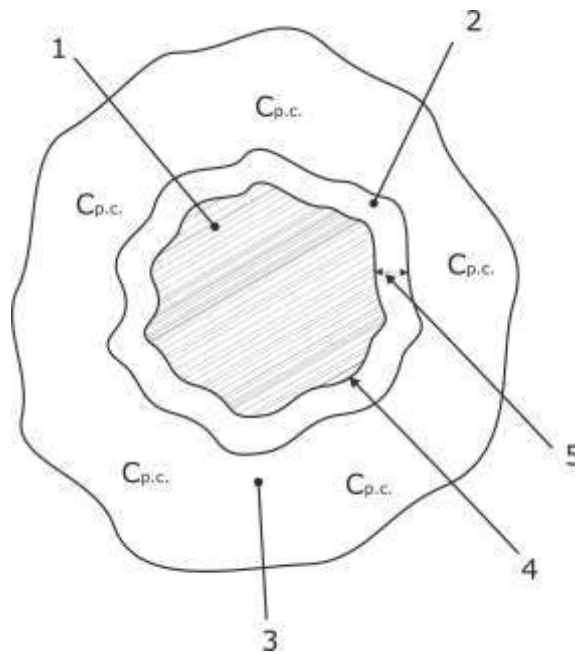


Рисунок 1 – Частинка карбонату кальцію в рідинному середовищі та зміна концентрації несахарозних речовин в нерухомому шарі

- (1 - частинка, яка оточена дифузійним шаром; 2 - дифузійний шар;
3 - рідинне середовище, тобто $C_{p.c.}$; 4 - поверхня частинки, де $C = 0$;
5 - найменший шлях від $C_{p.c.}$ до $C = 0$)

Джерело: Розроблено авторами

Якщо описати дифузійний механізм росту кристалів за допомогою рівняння Фіка, то швидкість росту кристалів можна визначити із рівняння:

$$V = \frac{D_s}{\delta} \cdot (C_n - C_H), \quad (2)$$

де V – швидкість росту кристалів, кг/с;
 D – коефіцієнт дифузії, кг/с;
 s – поверхня кристала, м²;
 δ – товщина шару розчину (метри), через який проходить перемішування речовини за рахунок молекулярної дифузії (в цьому шарі концентрація речовини зростає від C_n на поверхні до C_p в об'ємі пересиченого розчину).

Для більш повного розуміння вилучення несахарозних речовин частинкою карбонату кальцію зображено рисунок 1, на якому зображена частинка карбонату кальцію, яка оточена нерухомим шаром розчину. Із рідинного середовища несахарозні речовини та іони Ca^{2+} та CO_3^{2-} потрапляють в нерухомий шар, пройшовши шлях через нерухомий шар, дістаються до поверхні твердої фази карбонату кальцію.

Швидкість адсорбції несахарозних речовин в очищенні соку карбонатом кальцію під час карбонізації вапнованого соку визначається з рівняння (2), основою якого є рівняння Фіка:

$$A = K_{p.c.} \cdot F \cdot z \cdot (C_{p.c.} - C_n), \quad (3)$$

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 обумовлений наявністю зарядів на поверхні частинок $CaCO_3$.

Аналіз досліджень та постановка завдання. Для перевірки чи працює рівняння швидкості адсорбції несахарозних речовин під час очищення соку карбонатом кальцію проведемо математичні розрахунки та експериментальні дослідження для визначення невідомих складових рівняння. Виходячи з аналізу рівняння (3) встановимо вплив різних чинників через які можна впливати на швидкість адсорбції, що в подальшому впливатиме на збільшення виходу цукру.

Результати досліджень. Коефіцієнт масовіддачі в рідинному середовищі (система під час росту кристалів карбонату кальцію) залежить від величини частинок, які знаходяться в рідинному середовищі.

Під час дослідження карбонізаційного осаду за допомогою мікроскопа було встановлено, що значна частина його складається не із окремих часток, а із агрегатів розміром від 10 – 20 мкм. Це підтверджується мікрофотографіями, які були зроблені Р. Оствальдом у прямому і поляризованому світлі. Середній розмір окремої частинки карбонату кальцію визначений Оствальдом становить 2 мкм [Бугаєнко, Тужилкин 2007].

У Празькому хіміко-технологічному інституті для дослідження структури агрегатів фільтраційного осаду був використаний електронний скануючий мікроскоп. При 30000-кратному збільшенні була зроблена фотографія, за допомогою якої був також встановлений розмір частинки

кристалічного CaCO_3 і він становив від 0,2 – 0,5 мкм, тобто менше ніж це було встановлено Оствальдом. Паралельно були проведені дослідження, які виконанні за допомогою методу газової хроматографії на основі величини адсорбції азоту на розділі фаз частинок. Еквівалентний діаметр частинки CaCO_3 , визначений цим методом, становить 0,2 мкм, що добре узгоджується з результатами мікрофотографічних визначень [Бугаенко, Тужилкин 2007].

Із отриманих досліджень відомі розміри агрегатів та частинок карбонату кальцію.

В роботі виконаній Харриотом, Нагата і Нишикава [Шервурд, Пигфорд, Уилки 1982], було встановлено, що коефіцієнт масовіддачі мало залежить від розміру частинок в області від 10 до 200 мікрометрів, а також від частоти обертів мішалки. Значення коефіцієнта масопередачі визначені експериментально становили від 0,01 – 0,04 см/с або 0,0001 – 0,0004 м/с.

Із виконаних результатів для дуже маленьких частинок величина $K_{p.c.}$ не зростає, для частинок розміром 1 мкм цей коефіцієнт був приблизно такий як і для часточок розміром 10 мкм, за умов, що інтенсивність перемішування суспензії запобігає седиментації частинок твердої фази [Шервурд, Пигфорд, Уилки 1982].

Знаючи розмір частинки карбонату кальцію (0,2 мкм), можемо розрахувати площу адсорбції, враховуючи, те що карбонат кальцію адсорбує кожну новоутворену поверхню карбонату кальцію, а товщина шару карбонату кальцію становить 8 Å (ангстрем).

Адсорбційна площа частинки карбонату кальцію дорівнює сумарній площі усіх шарів частинки за час зростання. Площа частинки розраховується як площа кулі [Кухаренко 1935; Sim, Robertson, Goodwin 1955; Комарова, Фигуровский 1971] за формулою:

$$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2 = \pi \cdot D^2 \quad (4)$$

де R – радіус кулі, D – діаметр кулі.

Площа частинки карбонату кальцію буде дорівнювати сумі всіх адсорбуючих шарів, з яких складається частинка.

Діаметр частинки становить 0,2 мкм = 0,00002 см = $2 \cdot 10^{-5}$ см, а радіус $R = \frac{D}{2} = 0,1$ мкм = 0,00001 см = $1 \cdot 10^{-5}$ см.

Товщина шару карбонату кальцію $L = 8 \text{ \AA} = 8 \cdot 10^{-8}$ см.

$$\frac{R}{L} = \frac{1 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot 10^{-8}} = 12,4 = 12 \quad (5)$$

– кількість адсорбуючих шарів частинки карбонату кальцію.

$$S_{\text{сумарн.}} = 4 \cdot \pi \cdot (\sum(R - (L \cdot n))^2), \quad (6)$$

де $n = 0 \dots 11$.

$S_{\text{сумарн.}} = 1,48198 \cdot 10^{-8}$ см² – для полегшення розрахунку площі всіх поверхонь можна скористатися програмами Microsoft Excel або Mathcad.

Знайдемо площу адсорбції 1 кг CaCO_3 , для цього знайдемо площу частинки з діаметром 0,2 мкм.

$$S_{\text{ч.}} = 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-5})^2 = 1,2566 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2, \quad (7)$$

Розрахуємо вагу цієї частинки:

$$p = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot 2,7}{6} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-5})^3 \cdot 2,7}{6} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-15} \cdot 2,7}{6}, \quad (8)$$

де 2,7 г/см³ – густина карбонату кальцію.

Число частинок в наважці 1 г:

$$k = \frac{1 \cdot 6}{3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-15} \cdot 2,7} \quad (9)$$

Знайдемо площу поверхні частинок в наважці 1 г CaCO_3 .

$$S_{1 \text{ г CaCO}_3} = \frac{S_{\text{сумарн.}}}{k} = \frac{1,48198 \cdot 10^{-8} \cdot 6}{3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-15} \cdot 2,7} = 0,13110226 \cdot 10^7 \text{ см}^2 = 0,13110226 \cdot 10^3 \text{ м}^2 = 131,1 \text{ м}^2. \quad (10)$$

Відповідно адсорбційна площа 1 кг CaCO_3 становитиме 131102 м^2 .

Величину фактора прискорення визначали з експериментальних досліджень швидкості адсорбції несахарозних речовин CaCO_3 за умов безперервної карбонізації.

Були проведенні досліди для розрахунку фактора прискорення та визначення концентрації несахарозних речовин у рідинному середовищі, які є складовими рівняння швидкості адсорбції. Дослідження проводилися на експериментальній установці (рис. 2).

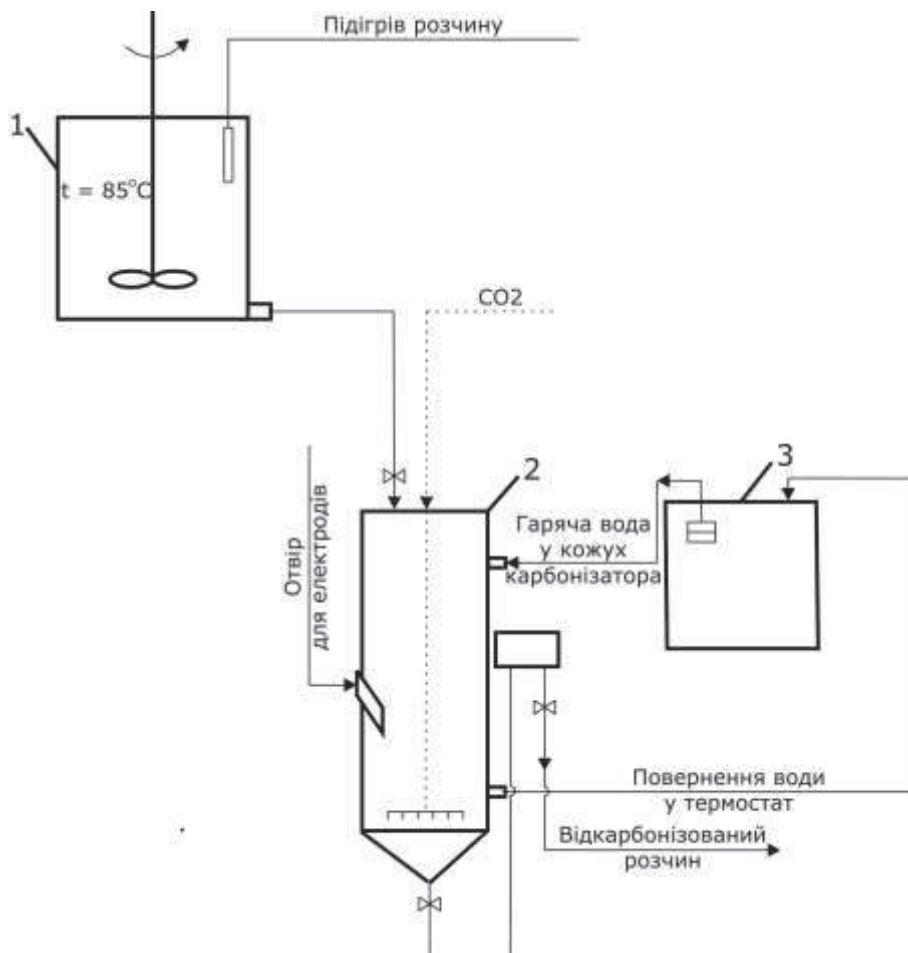


Рисунок 2 – Експериментальна установка для проведення безперервної карбонізації

(1-збірник вапняного модельного розчину, 2-карбонізатор; 3-термостат)

Джерело: Розроблено авторами

У формулі розрахунку швидкості адсорбції є фактор прискорення, який залежить від рН розчину за якого відбувалася адсорбція несахарозних

речовин. Фактор прискорення – це фізична величина, яка розраховується на основі отриманих експериментальних даних, отриманих під час проведення безперервної карбонізації на лабораторній установці. Фактором прискорення в рівняння швидкості адсорбції вводиться вплив заряду частинок CaCO_3 на швидкість адсорбції.

Для розрахунку швидкості адсорбції несахарозних речовин необхідно провести безперервну карбонізацію. Була змонтована установка, яка складалася із збірника в якому постійно відбувається перемішування модельного розчину до якого додано 1,5% CaO до м. р., у вигляді вапняного молока. Для приготування модельного розчину використовували забарвлені речовини, меланоїдини, які виконували роль несахарозних речовин. Кількість забарвлених речовин у вихідному вапнованому розчині становить $0,336 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3 . Вираження забарвлених речовин в умовних одиницях здійснено за методикою Бугаєнка І.Ф [Бугаєнко 1989].

Із збірника 1 вапнований розчин з температурою 85°C подається у карбонізатор 2, в якому відбувається постійне підтримання температури за допомогою термостату 3. З метою постійного контролю та підтримання рН середовища розчину у карбонізатор вмонтовано електроди рН-метра.

Безперервну карбонізацію проводили за різних значень рН (11,2; 10,5; 10,0; 9,25). У карбонізатор із збірника 1 постійно подається вапнований модельний розчин, у який безперервно подається карбонізаційний газ. Витрати вапнованого розчину постійні, змінювалися лише витрати газу в залежності від значення рН карбонізованого розчину, яке необхідно отримати. Пробу відкарбонізованого розчину відбирали лише за умов, що за 4 -5 об'ємів карбонізатора було постійне значення рН розчину (відхилення рН метра становили $\pm 0,2$). Результати експерименту зображені у вигляді графіка (рис. 3).

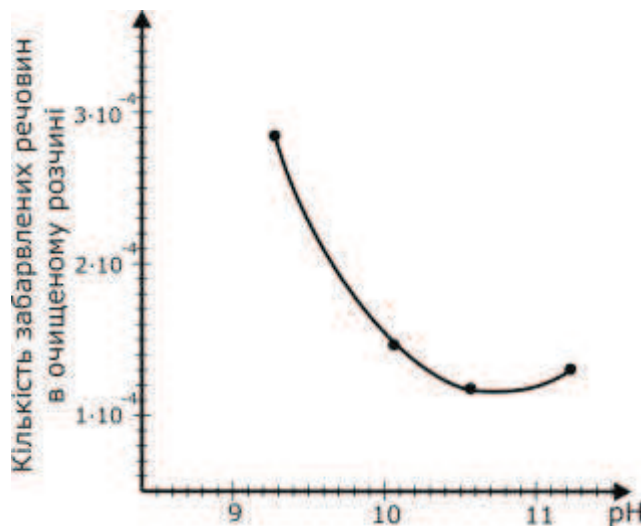


Рисунок 3 – Вміст забарвлених речовин в карбонізованому розчині в за різних величин рН

Джерело: Розроблено авторами

Фактор прискорення дорівнює відношенню величини кількості адсорбованих забарвлених речовин за рН 11,0 розчину до кількості адсорбованих несахарозних речовин за рН 9,25.

Розрахуємо фактор прискорення:

1) Розрахуємо кількість адсорбованих K_a несахарозних речовин за рН 9,25. Кількість забарвлених речовин у вихідному вапнованому розчині

$0,336 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, у розчині за рН 9,25 залишилося $0,29 \cdot 10^{-3}$ кг/см.
 $K_{a\ 9,25} = 0,46 \cdot 10^{-4}$ кг/м³.

2) Розрахуємо кількість адсорбованих K_a несахарозних речовин за рН 11,0. Кількість забарвлених речовин у вихідному вапнованому розчині $0,336 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, у розчині за рН 11,0 залишилося $0,12 \cdot 10^{-3}$ кг/см.
 $K_{a\ 11,0} = 0,216 \cdot 10^{-3}$ кг/м³

3) Знайдемо фактор прискорення:

$$z = \frac{0,216 \cdot 10^{-3}}{0,46 \cdot 10^{-4}} = 4,69 = 4,7 \quad (11)$$

За високих величин рН (11 – 10,5) адсорбується більша кількість несахарозних речовин у порівнянні із меншими величинами, впливає величина заряду частинок CaCO_3 . Через експериментальний розрахунок величини фактора прискорення визначено вплив заряду на швидкість адсорбції.

Рушійною силою переміщення несахарозних речовин з соку до поверхні частинок карбонату кальцію є різниця концентрацій несахарозних речовин в соку та біля поверхні адсорбента ($C_{p.c.} - C_n$). Концентрація несахарозних речовин в соку, за умов проведення карбонізації в одноступінчастому апараті, $C_{p.c.}$ 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 непористим адсорбентом – частинками карбонату кальцію, що утворюються під час карбонізації вапнованого соку визначається швидкістю дифузії несахарозних речовин через нерухомий шар рідинного середовища на поверхні адсорбента. Власне адсорбція має значно вищу швидкість. Несхарозні речовини, що внаслідок молекулярної дифузії подолали нерухомий шар середовища, миттєво адсорбуються поверхнею частинок карбонату кальцію. Вони не затримуються в рідинному середовищі біля поверхні адсорбції.

У нерухомому шарі рідинного середовища концентрація несахарозних речовин змінюється від $C_{p.c.}$ на поверхні нерухомого шару з боку рідинного середовища до $C_n = 0$ з боку частинки CaCO_3 . Відсутні підстави вважати, що локальні величини різниці концентрацій ($C_{p.c.} - C_n$) 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 (рисунок 3) За таких умов рушійна сила адсорбції несахарозних речовин частинками карбонату кальцію, що утворилася внаслідок карбонізації вапнованого соку, є різниця концентрацій ($C_{p.c.} - C_n$). Коли $C_n = 0$, то рушійною силою адсорбції несахарозних речовин карбонатом кальцію під час карбонізації є концентрація несахарозних речовин у соку в карбонізаторі.

Відомі всі коефіцієнти рівняння швидкості адсорбції несахарозних речовин розрахуємо величину швидкості адсорбції.

$$A = 0,0002 \cdot 4,7 \cdot 131102 \cdot (0,000336 - 0) = 0,0414 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (12)$$

0, 0414 кг/с несахарозних речовин адсорбує 1 кг CaCO_3 .

Висновки. Аналіз рівняння швидкості адсорбції показує, що більш повнішому вилученню несахарозних речовин карбонатом кальцію сприятиме їх висока концентрація в соку. Застосування способу повернення очищеного соку і карбонізації на попереднє вапнування не рекомендується. Наслідком буде погіршення адсорбційної здатності карбонату кальцію, повернення соку призведе до розведення та зменшення концентрації несахарозних речовин в соку. Повнішому вилученню несахарозних речовин із соку сприятиме процес перемішування, в результаті цього несахарозні речовин будуть наближатися до частинок карбонату кальцію, відбуватиметься вирівнювання концентрації біля їх поверхні.

Література

- Бугаенко, И. Ф. (1989). *Технохимический контроль сахарного производства* / Бугаенко И. Ф. – М.: «АГРОПРОМИЗДАТ», 216 с.
- Бугаенко, И. Ф., & Тужилкин, В. И. (2007). *Общая технология отрасли: Научные основы технологии сахара: Учебник для студентов вузов* / И. Ф. Бугаенко, В. И. Тужилкин. – Ч. 1. – СПб.: ГИОРД, 512 с.: ил.
- Воюцкий, С. С. (1975). *Курс коллоидной химии* / Воюцкий С. С. – М.: Издательство «Химия», 512 с.
- Карнаухов, А. П. (1999). *Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов* / Карнаухов А. П. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 470 с.
- Комарова, А. Т. (1971). *Кристаллизация карбоната кальция на затравках*. Комарова А. Т., Фигуровский Н. А. Сб.: Кристаллизация и свойства кристаллических веществ. – Ленинград, «Наука», с. 31 – 36.
- Кухаренко, И. А. (1935). *Процессы сахарного производства в свете современных воззрений коллоидной химии. Монография* / Кухаренко И. А. – К.: НАРКОМВНУТОРГА УССР, 345 с.
- Логвін, В. М. (2014). Барвні речовини в очистці соку карбонатом кальцію / В. М. Логвін, А. С. Мартинюк, В. Ю. Виговський, Ю. М. Резніченко // *Цукор України, №11 (107)*, с. 27 – 31.
- Логвін, В. М. (2015). Рівняння швидкості адсорбції на основі механізму очищення соку карбонатом кальцію під час періодичної карбонізації / В. М. Логвін, А. С. Мартинюк, В. Ю. Виговський, Ю. М. Резніченко // *Цукор України, №9 (117)*, с. 10 – 15.
- Логинов, Н. Е. (1940). Пути усовершенствования очистки диффузионного сока / Логинов Н. Е. – Москва, 117 с.
- Сапронов, А. Р. (2003). Основная дефекация и I сатурация диффузионного сока. Лекция №9. Сахарное производство России / А. Р. Сапронов, Л. А. Сапронова // *Сахар, №4*. – С. 40 – 43.
- Хомічак, Л. М. (1999). Підвищення ефективності вапняно-вуглекислотного очищення дифузійного соку із застосуванням термічної пароконденсаційної кавітації // *Наукові праці УДУХТ, №5*, с. 104 – 105.
- Шервуд, Т. (1982). *Массопередача* / Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч.; перев. с англ. Н. Н.Кулова, под ред. В. А. Малюсова. – М.: «Химия», 695 с.
- Sim, G. A., Robertson, J., & Goodwin, T. H. (1955). *Act crystallogr, №8*, p. 157.

References

- Bugaenko, Y. F. (1989). *Tehnohimicheskij kontrol saharnogo proizvodstva [Technical and chemical control of sugar production]*. Agropromizdat, 216.
- Bugaenko, Y. F., & Tuzhylnin, V. Y. (2007). *Obshhaja tehnologija otrasli:*

- Nauchnye osnovy sahara [General technology of branch: Scientific bases of technology of sugar]*. Sankt-Peterburg. GYORD. 512.
- Homichak, L. M. (1999). Pidvyshhennja efektyvnosti vapnjano-vuglekyslotnogo ochyshhennja dyfuzijnogo soku iz zastosuvannjam termichnoi' parokavitacii [Increase of efficiency of limy and carbon dioxide clarification of diffusive juice with use of a thermal parokavitation]. *Scientific works USUFT*, #5, 104 -105.
- Karnauhov, A. P. (1999) *Adsorbcija. Tekstura dyspersnyh i porystyh materialov [Adsorption. Texture of disperse and porous materials]*. Novosibirsk, Russia: Science, 470.
- Komarova, A. T., & Figurovskij, N. A. (1971). *Kristallizacija karbonata kalcija na zatravkah [Crystallization of a carbonate of calcium on primings]*. Leningrad, Russia: Science, 31-36.
- Kuharenko, I. A. (1935). *Processy saharnogo proizvodstva v svete sovremennyh vozzrenij kolloidnoj himii [Processes of sugar production in the light of modern views of colloidal chemistry]*. NARKOMVNUTORGA USSR, 345.
- Logvin, V., Martynjuk, A., Vygovskij, V., Reznichenko, Ju. (2014). Barvni rechovyny v ochystci soku karbonatom kalciju [Dyes in purification of juice with a carbonate of calcium]. *Sugar of Ukraine*, #11(107), 27 - 31.
- Logvin, V., Martynjuk, A., Vygovskij, V., Reznichenko, Ju. (2015). Rivnjannja shvydkosty adsorbicii na osnovi mehanizmu ochyshhennja soku karbonatom kalciju pid chas periodychnoi karbonizacii [The adsorption speed equation on the basis of the mechanism of purification of juice with a carbonate of calcium during periodic carbonization]. *Sugar of Ukraine*. #9(117), 10 - 15.
- Logynov, N. E. (1940). *Puty usovershenstvovanyja ochystky dyffuzyonnogo soka [Ways of improvement of purification of diffusive juice]*. Moscov, 117.
- Sapronov, A. R., & Sapronova, L. A. (2003). Osnovnaja defekacyja y I saturacyja dyffuzyonnogo soka. Lekcyja №9. [Main defecation and I saturation of diffusive juice. Lecture No. 9]. *Sugar*, #4, 40 - 43.
- Shervud, T., Pygford, R., & Uylky, Ch. (1982). *Massoperedacha [Material transfer]*. Moscow, Russia:Chemistry, 695.
- Sim, G., Robertson, J., Goodwin, T. (1955). *Act crystallography*, #8, 157.
- Vojuckij, S. S. (1975). *Kurs kolloydnoj hymyii [Course of colloidal chemistry]*. Moscov, Russia: Himija, 512.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 19.01.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 20.01.2016