

УДК 664.1.038.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КАРБОНІЗАЦІЇ
ВАПНОВАНОГО ДИФУЗІЙНОГО СОКУ В ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Данілова К. О., к.т.н., с.н.с.,
заст. завідувача відділу технології продуктів бродіння
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>
Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-07>

Предмет. Основним способом очищення від несахарозних речовин, що застосовується як у вітчизняній, так і закордонній цукровій промисловості, є сатурація діоксидом вуглецю (карбонізація) вапнованого соку. Підвищення ефективності очищення дифузійного соку можливе шляхом інтенсифікації параметрів сатурації. **Мета.** Визначення параметрів сатурації діоксидом вуглецю (карбонізації) дифузійного соку, попередньо обробленого вапняним молоком, цукрового виробництва. Об'єктом була стадія карбонізації дифузійного соку цукрового виробництва. **Методи.** В роботі використовували загальноприйняті в цукровій промисловості методи досліджень. Розчинність діоксиду вуглецю визначали титруванням 0,1 н. розчином гідроксиду натрію в присутності індикатору фенолфталеїну. **Результати.** Проведені дослідження свідчать, що інтенсифікація процесу очистки дифузійного соку під час карбонізації залежить крім таких показників як кількість вапна, тривалість процесу, склад і швидкість абсорбції сатураційного газу, також і від концентрації діоксиду вуглецю, що використовується для сатурації, температури і тиску процесу сатурації. З підвищенням вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі абсорбція CO_2 цукровмісним розчином збільшується. Так, при зміні концентрації діоксиду вуглецю від 30 до 50% відбувалось плавне підвищення коефіцієнту використання CO_2 , в інтервалі концентрації 50-70% спостерігалась найбільша ефективність процесу абсорбції. Подальше збільшення вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі майже не впливало на ефективність процесу. За умови підвищення тиску газу з 0,05 МПа до 0,2 МПа, тривалість процесу сатурації скорочується з 9 до 6 хвилин. Найбільш ефективно процес сатурації відбувається за тиском 0,2–0,3 МПа. Оптимальною температурою процесу карбонізації встановлено 55...60°C, коли тривалість сатурації становить 5,2–5,5 хвилин. За умови збільшення або зменшення температури, швидкість поглинання діоксиду вуглецю вапнованим соком сповільнюється, а тривалість карбонізації відповідно збільшується. **Сфера застосування результатів.** Результати досліджень можуть застосовуватися на цукрових заводах, що виробляють одночасно цукор і біоетанол.

Ключові слова: цукрова промисловість, дифузійний сік, діоксид вуглецю, карбонізація, концентрація, тиск, температура.

RESEARCH OF THE CARBONIZATION PROCESS
OF LIMED JUICE IN SUGAR PRODUCTION

Kateryna Danilova, PhD, Technics, Senior Researcher,
Deputy Head of Department of fermentation product technology
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-07>

Subject. The main method of purification from non-sucrose substances, which is used both in the domestic and foreign sugar industry, is saturation with carbon dioxide (carbonation) of limed juice with a solid phase of CaCO_3 . Increasing the efficiency of diffusion juice purification is possible by intensifying the saturation parameters. **Purpose.** To determine the parameters of saturation with carbon dioxide (carbonation) of pre-treated with limed diffusion juice of sugar production. The object was the carbonation stage of the diffusion juice of sugar production. **Methods.** The methods generally accepted in the sugar industry were used in the work. The solubility of carbon dioxide was determined by titration of 0.1 n. sodium hydroxide solution in the presence of the phenolphthalein indicator. **Results.**

Research indicates that the intensification of the diffusion juice purification process during carbonation depends on parameters such as the amount of lime, the duration of the process, the composition and absorption rate of the saturation gas, as well as the concentration of carbon dioxide used for saturation, the temperature and pressure of the saturation process. With an increase in the content of carbon dioxide in the saturation gas, the absorption of CO_2 by the sugar-containing solution increases. Thus, when the carbon dioxide concentration of changed from 30% to 50%, there was a gradual increase in the coefficient of CO_2 utilization, the highest efficiency of the absorption process was observed in the concentration range of 50-70%. A further increase of the carbon dioxide concentration in the saturation gas almost did not affect the efficiency of the process. If the gas pressure increases from 0.05 MPa to 0.2 MPa, the duration of the saturation process is reduced from 9 to 6 minutes. The most effective carbonation process occurs at a pressure of 0.2–0.3 MPa. The optimal temperature of the saturation process is set at 55...60°C, when the duration of saturation is 5.2–5.5 minutes. If the temperature increases or decreases, the rate of absorption of carbon dioxide slows down, and the duration of saturation increases accordingly. **Scope of results.** The research results can be applied at sugar factories that produce sugar and bioethanol simultaneously.

Key words: sugar industry, diffusion juice, carbon dioxide, carbonation, concentration, pressure, temperature.

Постановка проблеми. Основним способом очищення від несахарозних речовин, що застосовується як у вітчизняній, так і закордонній цукровій промисловості, є сатурація діоксидом вуглецю (карбонізація) вапнованого соку. Основним показником, що визначає ефективність очистки, є висока технологічна якість цукрового буряку та, відповідно, і чистота дифузійного соку, а також чистота очищеного соку [1].

Дифузійний сік має темно-сірий колір, зумовлений наявністю в ньому меланінів, і містить цукрозу до 98% від її вмісту в стружці та розчинені нецукри, що складаються з білкових і пектинових речовин та продуктів їх розкладу (амінокислоти, азотисті основи, редукувальні речовини, солі органічних та неорганічних кислот). Всі нецукри заважають кристалізації цукрози. Одна частина нецукристих речовин в процесі кристалізації може утримувати в розчині 1,2–1,5 частини цукрози [2]. Для видалення нецукрів з цукрового розчину найбільш ефективним є спосіб обробки соку гідроксидом кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (вапном) з наступною його сатурацією діоксидом вуглецю для осадження у вигляді карбонату кальцію, на поверхні якого протікають адсорбційні процеси з нецукрами [3]. Відповідно до сучасних знань механізму очищення соку – тверда фаза карбонату кальцію адсорбує нецукристі речовини: барвні речовини та аніони кислот [3]. Вапняне молоко отримують при гасінні вапна, що є продуктом випалювання вапняку в вапняково-випалювальних печах. В процесі випалювання вапняку з нього виділяється газоподібний діоксид вуглецю (вуглекислий газ), що в суміші з повітрям і продуктами згоряння палива утворює сатураційний газ. Вміст діоксиду вуглецю в ньому складає 30-35% об. Розроблено спосіб електрогідравлічної обробки водно-вапняної суспензії для підвищення її активності і зниження втрат активного вапна з домішками, що сприяє зменшенню витрат вапна на очищення соку і підвищує ефект очистки [4]. В роботі [5] досліджували якість очищення соків, отриманих за допомогою інноваційної обробки імпульсним електричним полем та лужного пресування стружки цукрового буряку. Попередня дефекація вапном покращує фільтраційні і седиментаційні характеристики дифузійних соків. Більш того, при цьому на 6 кг/м³ знижується загальна кількість вапна, що використовується для вапнування перед карбонізацією. Очищений таким способом дифузійний сік мав високу чистоту (95,4%), невелике забарвлення (570 МО), низький вміст колоїдів (0,95 г/л) та білків (104 мг/л).

Існуюча технологія очищення дифузійного соку від кислот полягає в наступному: очищення (попереднє і основне), дві операції сатурації, фільтрування, сульфитування. При очищенні сік обробляється розчином вапна. Класичним способом очищення дифузійного соку є обробка його спочатку вапняним молоком, а потім діоксидом вуглецю [6–8]. За рахунок комплексу хімічних реакцій видаляється 25–35% нецукрів [9]. Нецукри

дифузійного соку відрізняються за хімічною природою і тому мають широкий спектр фізико-хімічних властивостей, що зумовлює різну природу реакцій, які призводять до видалення їх із соку. За умов використання як реагентів для очищення гідроксиду кальцію і діоксиду вуглецю, здійснюються реакції коагуляції, осадження, розкладу, гідролізу, адсорбції та іонообміну.

Інноваційними процесами, що застосовуються на європейських цукрових заводах для очищення соку і цукру, що впроваджені компанією Eurodia Industrie є [10]:

- Освітлення дифузійних соків шляхом перехресної мікрофільтрації за допомогою мембран Scepter;

- Демінералізація і очищення звичайним електродіалізом, що дає змогу знизити навантаження по забрудненню та підвищити вихід цукру;

- Відділення цукрози від нецукрів за допомогою хроматографічного процесу з імітацією шару, що рухається (ISMB).

Існуючий на цукрових заводах спосіб обробки дифузійного соку карбонізацією має суттєві недоліки, а саме – низький ефект очистки і малий коефіцієнт утилізації діоксиду вуглецю. Це пов'язано, перш за все, з недосконалістю технології, за якою сік з високим рН (сильно лужний) змішується з частково відсатурованим соком. При цьому знижується загальна лужність соку в апараті і неефективно проходить абсорбція діоксиду вуглецю з сатураційного газу, в результаті чого збільшується тривалість процесу, знижуються ефективність адсорбції нецукрів та абсорбції CO_2 . Наслідком цих недоліків є невикористання понад 40% сатураційного газу і значної частини вапна, що втрачається, а також забруднення оточуючого середовища. Знижується ефект вапняно-вуглекислотної обробки дифузійного соку, виникають труднощі з експлуатацією фільтраційного устаткування, що зумовлені незавершеністю процесу I сатурації.

Мета роботи – визначення параметрів сатурації діоксидом вуглецю (карбонізації) дифузійного соку, попередньо обробленого вапняним молоком, в цукровому виробництві. Об'єктом досліджень була стадія сатурації дифузійного соку цукрового виробництва. Предмет досліджень – встановлення параметрів карбонізації для покращення процесу очищення дифузійного соку.

Матеріали та методи. Досліди з дифузійним соком, що одержаний з цукрового буряку в лабораторних умовах, проводили на установці, схема якої наведена на рис. 1.

Діоксид вуглецю з балону 1 подавали у змішувач 3, де в різних пропорціях CO_2 змішувався з повітрям з балону 2. Газоповітряна суміш проходила градуїований витратомір 4 і барботувалась через перфоровану трубку 6, що розміщена в нижній частині посудини для сатурації 5. Об'єм посудини 3,5 дм³. Суміш вапняного молока і цукровмісного розчину (дифузійного соку) подавалась в ємність 7, де встановлено мішалку 9. В верхній частині ємності встановлено термометр 8. В сатуратор 5 суміш дифузійного соку і вапняного молока подавалась в нижню частину. Тиск вимірювався манометром 10.

В роботі використовували загальноприйняті в цукровій промисловості методи досліджень [11]. Розчинність діоксиду вуглецю визначали титруванням 0,1 н. розчином гідроксиду натрію в присутності індикатору фенолфталеїну. Для нейтралізації 44 мг CO_2 необхідно 40 мг NaOH. Визначення ефекту знебарвлення карбонату кальцію проводили за наступною методикою. Вимірювали оптичну густину дифузійного соку на фотокolorиметрі. Додавали 2,5% вапна у вигляді вапняного молока. Через розчин пропускали діоксид вуглецю і через 0,5 одиниці рН відбирали проби, які фільтрували і в фільтраті визначали лужність і оптичну густину на фотоелектрокolorиметрі.

Результати досліджень. Основними факторами, що впливають на карбонізацію дифузійного соку, є температура, кількість вапна, тривалість процесу, склад і швидкість абсорбції сатураційного газу. Інтенсивність процесу I сатурації лімітується швидкістю розчинення діоксиду вуглецю, тобто переходом його з газової фази у рідку.

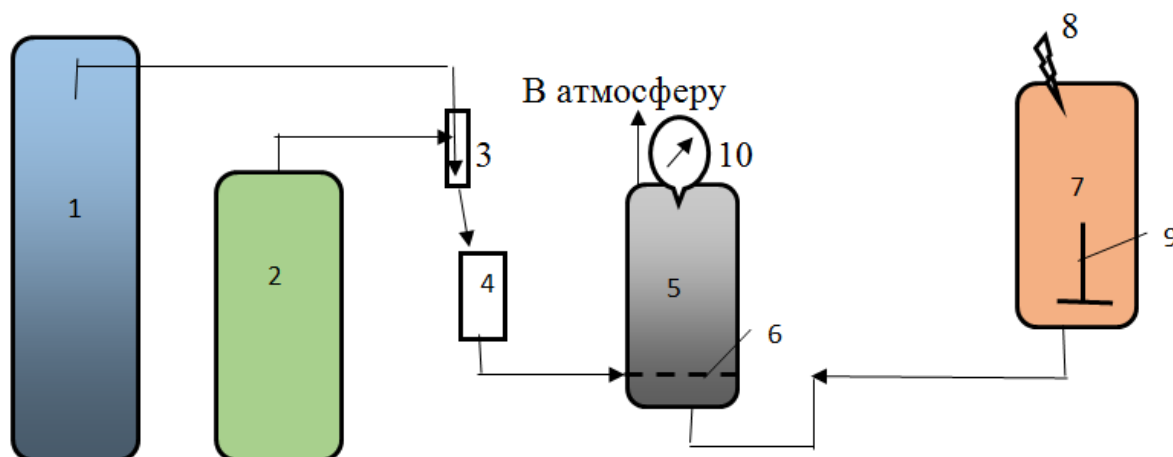


Рис. 1. Схема лабораторної установки для сатурації дифузійного соку, де:
 1 – балон з діоксидом вуглецю; 2 – балон з повітрям; 3 – змішувач; 4 – ротаметр;
 5 – посудина для сатурації; 6 – перфорована трубка; 7 – ємність для перемішування соку і вапняного молока; 8 – термометр; 9 – мішалка; 10 – манометр

На першому етапі досліджень було визначено залежність питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю в залежності від його вмісту в газовій фазі. Для цього діоксид вуглецю змішували з повітрям з одержанням різного вмісту CO_2 в газі та пропускали через 2,5% розчин гідроксиду кальцію і визначали питому швидкість поглинання, в кмоль/см^3 . Результати наведено на рис. 2.

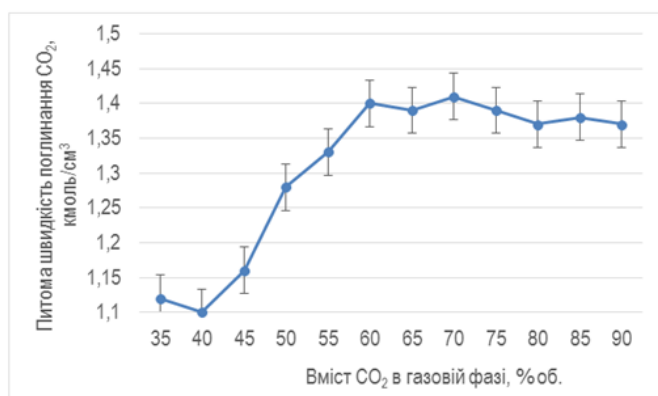


Рис. 2. Залежність питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю від його вмісту в газовій фазі

вмісту діоксиду вуглецю до 90% об. не дає ефекту, його поглинання залишається в межах похибки майже на тому ж рівні, що й за концентрації 75% об.

Було досліджено вплив температури вапняного розчину на швидкість поглинання діоксиду вуглецю за його різної концентрації. Для цього готували сатураційний газ з вмістом діоксиду вуглецю 35% об., що на даний час застосовують на цукрових заводах, і з концентрацією 70% об., за якої швидкість поглинання була найбільшою. Результати дослідження наведено на рис. 3.

Як видно з даних рис. 3, було виявлено тенденцію збільшення швидкості поглинання сатураційного газу при підвищенні температури (в діапазоні 45–65°C). За температури 65°C питома швидкість поглинання була найбільшою і дорівнювала 1,25 кмоль/см^3 для вмісту CO_2 в газовій фазі 35% об. і 1,42 кмоль/см^3 – для вмісту CO_2 70% об. З подальшим нагріванням розчину спостерігалось плавне зниження питомої швидкості реакції. Підвищення швидкості поглинання діоксиду вуглецю, що спостерігалось при підвищенні

Як видно з даних рис. 2, зі збільшенням концентрації діоксиду вуглецю в газовій фазі з 35 до 40% об., швидкість поглинання його розчином вапна залишається низькою біля 1,1 кмоль/см^3 . Підвищення концентрації діоксиду вуглецю в повітрі до 60% об. збільшує швидкість поглинання до максимального значення 1,4 кмоль/см^3 . З подальшим підвищенням вмісту CO_2 до 75% об., швидкість його поглинання вапняним розчином майже не змінюється і залишається на рівні 1,4 кмоль/см^3 . Збільшення

температури, зумовлено зниженням в'язкості розчину. Але зі збільшенням температури розчину зменшується розчинність діоксиду вуглецю і, відповідно, швидкість поглинання діоксиду вуглецю лужними розчинами. При порівнянні питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю вапняково-цукровими розчинами в залежності від вмісту CO_2 в сатураційному газі встановлено, що зі зміною концентрації CO_2 в газовій фазі спостерігалась однакова тенденція до збільшення швидкості його поглинання. Тобто, зі збільшенням вмісту діоксиду вуглецю збільшувалась і швидкість реакції.

Визначали коефіцієнт використання діоксиду вуглецю в залежності від його вмісту в сатураційному газі. Результати наведено на рис. 4.

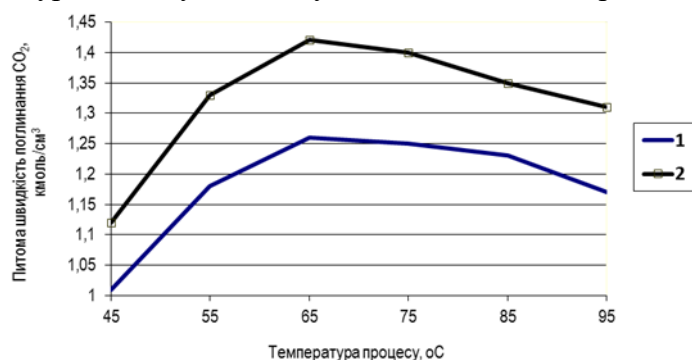


Рис. 3. Залежність питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю від температури процесу сатурації, де вміст діоксиду вуглецю в газовій фазі: 1 – 35% об., 2 – 70% об.

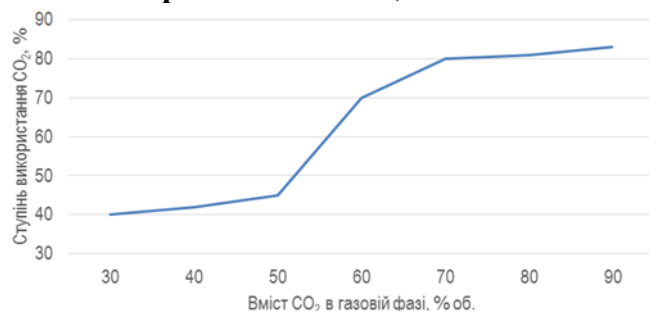


Рис. 4. Залежність ступеню використання діоксиду вуглецю від його вмісту в сатураційному газі

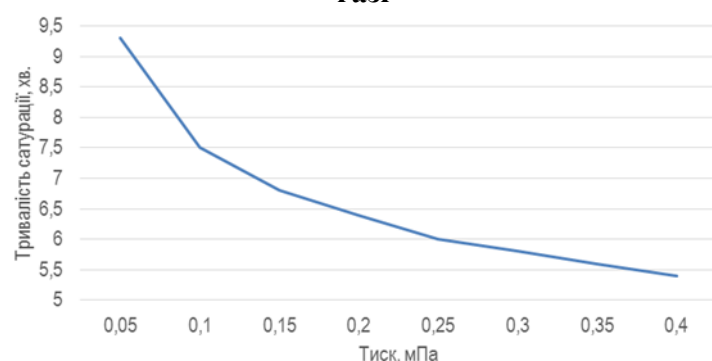


Рис. 5. Вплив тиску сатураційного газу на тривалість процесу сатурації дифузійного соку

тиску тривалість процесу сатурації скорочується. Так, при збільшенні тиску газу з 0,05 МПа до 0,2 МПа, тривалість сатурації скорочується з 9 до 6 хвилин. При подальшому збільшенні тиску сатураційного газу в 2 рази, тривалість сатурації змінюється дуже повільно з 6 до 5,5 хвилин.

З підвищенням концентрації діоксиду вуглецю в сатураційному газі абсорбція CO_2 цукровмісним розчином збільшується. Причому при зміні концентрації CO_2 від 30 до 50% відбувалось плавне підвищення ступеню використання, а в інтервалі концентрацій 50–70% спостерігалась найбільша ефективність процесу абсорбції з різким підвищенням ступеню використання з 45 до 80%. Подальше збільшення вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі майже не впливало на ефективність процесу. Таким чином, з підвищенням концентрації діоксиду вуглецю в сатураційному газі ефективність процесу абсорбції значно покращується, за вмістом CO_2 в газовій фазі 50–70% об. спостерігається найбільший коефіцієнт використання діоксиду вуглецю.

Наступним етапом наших досліджень було визначення тривалості процесу сатурації дифузійного соку в залежності від тиску і температури процесу.

На рис. 5 наведено вплив тиску сатураційного газу на тривалість процесу сатурації дифузійного соку.

Згідно з наведеним на рис. 5 графіком, за умови підвищення

Для встановлення оптимальної температури процесу сатурації через дифузійний сік, оброблений вапняним молоком і попередньо підігрітий до визначеної температури, пропускали сатураційний газ з вмістом CO_2 45% об. під тиском 0,3 МПа. Одержані результати наведено на рис. 6.

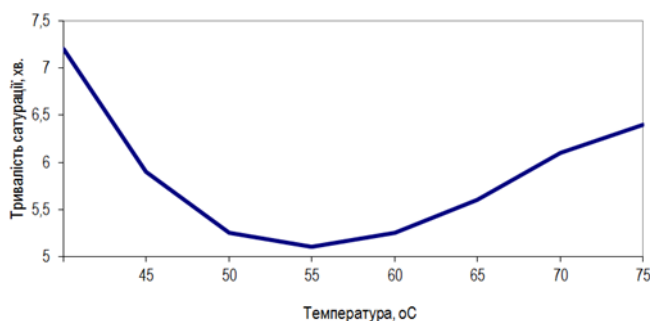


Рис. 6. Вплив температури дифузійного соку, обробленого вапняним молоком, на тривалість процесу сатурації

Таким чином, з підвищенням температури дефекованого соку з 40 до 55°C, тривалість процесу сатурації скорочується з 7,2 хвилин до 5 хвилин. З подальшим підвищенням температури соку, тривалість сатурації починає збільшуватися і за температури 70°C становить понад 6 хвилин.

Було визначено фільтраційний коефіцієнт і швидкість седиментації дифузійного соку I сатурації, оскільки метою цієї обробки є

одержання осаду з гарними седиментаційно-фільтраційними властивостями (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив тиску сатураційного газу на якісні показники соку I сатурації

№ п/ч	Тиск, МПа	pH	Лужність, % CaO	Фільтраційний коефіцієнт, Фк	Швидкість седиментації, Шс, см/хв	Величина адсорбції нецукрів осадом, Гисх/Госад.
1	-	11,0	0,11	4,3	3,28	0,45
2	0,1	11,0	0,11	4,5	3,2	0,44
3	0,15	11,0	0,11	4,6	3,05	0,48
4	0,20	10,8	0,11	5,1	2,74	0,49
5	0,25	10,9	0,11	5,3	2,61	0,53
6	0,3	10,9	0,11	5,7	2,43	0,56

Як видно з даних таблиці 1, з підвищенням тиску на I сатурації збільшується фільтраційний коефіцієнт і величина адсорбції нецукрів осадом CaCO_3 , при цьому швидкість седиментації зменшується. Це свідчить про утворення дрібнодисперсної фільтраційної поверхні, де краще адсорбуються нецукри.

Висновки. Показано, що такі параметри процесу карбонізації дифузійного соку, попередньо обробленого вапняним молоком, як концентрація діоксиду вуглецю в сатураційному газі, тиск та температура процесу впливають на ефективність абсорбції та її тривалість. Зокрема, з підвищенням концентрації діоксиду вуглецю в сатураційному газі абсорбція CO_2 цукровмісним розчином збільшується. Так, за умов зміни концентрації діоксиду вуглецю від 30% об. до 50% об. відбувалось плавне підвищення коефіцієнту використання CO_2 , в інтервалі концентрацій 50–70% об. спостерігалась найбільша ефективність процесу абсорбції. Подальше збільшення вмісту діоксиду вуглецю в сатураційному газі майже не впливало на ефективність процесу, коефіцієнт використання діоксиду вуглецю не змінювався. Оптимальним вмістом діоксиду вуглецю в газовій фазі було визначено 70% об., саме за таких умов спостерігалась найбільша швидкість його поглинання вапняним розчином.

За умови підвищення тиску газу з 0,05 МПа до 0,2 МПа, тривалість процесу сатурації скорочується з 9 до 6 хвилин. Найбільш ефективно процес сатурації відбувається за тиском 0,2–0,3 МПа.

Оптимальною температурою процесу карбонізації встановлено 55...60°C, коли тривалість сатурації становить 5,2–5,5 хвилин. За умови збільшення або зменшення температури, швидкість поглинання діоксиду вуглецю сповільнюється, а тривалість сатурації відповідно збільшується.

Фільтраційно-седиментаційні властивості сатурованого дифузійного соку свідчать про утворення дрібнодисперсного осаду, на який краще адсорбуються нецукри і, відповідно, покращується процес очистки.

Бібліографія

1. Сапронов А. Р. Технология сахарного производства. Москва: Колос, 1999. 495 с.
2. Рева Л. П., Ковдий Е. В. Очистка диффузионного сока. Пути усовершенствования. Сахар, 2005. № 5. С. 30–36.
3. Логвін В. М., Мартинюк А. С., Резніченко Ю. М., Виговський В. Ю. Барвні речовини в очистці соку карбонатом кальцію. Цукор України. 2014, № 11 (107). С.27-31.
4. Vasylyiv, V., Mushtruk, M., Zheplinska, M., Mukoid, R., Tkachenko, S. Method of Electrohydraulic Activation of Water-Lime Suspension in Sugar Production. Advanced Manufacturing Processes (INTERPARTNER-2021). P. 664–673. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_64.
5. Almohammed, F., Mhemdi, H., Vorobiev, E. Purification of juices obtained with innovative pulsed electric field and alkaline pressing of sugar beet tissue. Separation and Purification Technology. 2017. V. 173. P 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.09.026>.
6. Рева Л. П., Вислобоков В. Ю. Совершенствование типовой технологической схемы очистки диффузионного сока. Сахар. 2013, № 4. С. 54-61.
7. Рева Л. П., Хоменко С. Н., Оленчук О. М. Повышение эффективности очистки диффузионного сока в существующей типовой схеме. Сахар. 2013, № 10. С. 34-39.
8. Оляньська В. В., Цирульнікова О. Б., Войтович О. Б. Підвищення ефективності очищення дифузійного соку з використанням однозаміщеного фосфату амонію. Наукові праці НУХТ. 2010, № 33. С.37-41.
9. Рева Л. П., Петруша О. О., Степаніщенко Р. В. Дослідження ефективності очищення дифузійного соку з поверненням осаду CaCO_3 в різні зони рН прогресивної переддифікації. Цукор України. 2011, № 9–10. С. 23–27.
10. Lutin, F., Bailly, M., Bar, D. Process improvements with innovative technologies in the starch and sugar industries. Desalination, 2002, 148 (1-3), pp. 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00664-1](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00664-1)
11. Герасименко О. А., Хвалковський Т. П. Методи аналізу і контролю у виробництві цукру. Київ: Вища школа, 1992. 388 с.

References

1. Saproinov, A. R. (1999). Tehnologiya saharnogo proizvodstva. [Technology of sugar production]. M: Kolos, 495 p. [in russian].
2. Reva, L. P., Kovdii, E. V. (2005). Ochistka diffuziionogo soka. Puti usovershenstvovaniya. [Purification of diffusion juice. Ways to improve]. Sahar. № 5. P. 30–36. [in russian].
3. Logvin, V. M., Martynyuk, A. S., Reznichenko, Yu. M., Vyhovskyi, V. Yu. (2014). Barvni rechovyny v ochysttsi soku karbonatom [Coloring substances in juice purification with calcium carbonate]. Tsukor of Ukraine. № 11 (107). P. 27–31. [in Ukrainian].
4. Vasylyiv, V., Mushtruk, M., Zheplinska, M., Mukoid, R., Tkachenko, S. (2021). Method of Electrohydraulic Activation of Water-Lime Suspension in Sugar Production. Advanced Manufacturing Processes (INTERPARTNER-2021). P. 664–673. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_64.
5. Almohammed, F., Mhemdi, H., Vorobiev, E. (2017). Purification of juices obtained with innovative pulsed electric field and alkaline pressing of sugar beet tissue. Separation and Purification Technology. V. 173. P. 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.09.026>.
6. Reva, L. P., Vislobokov, V. U. (2013). Sovershenstvovanie tipovoi tehnologicheskoi shemy ochistki diffuzionnogo soka [Improving the standard technological scheme for diffusion juice purification]. Sahar. № 4. P. 54–61 [in russian].

7. Reva, L. P., Homenko, S. N., Olenchuk, O. M. (2013). Povyshenie effektivnosti ochistki diffuzionnogo soka v sushchestvuyushchey tipovoi sheme [Increasing the efficiency of diffusion juice purification in the existing standard scheme]. Sahar. № 10. P. 34–39. [in russian].

8. Olyanska, V. V., Tsyrlnikova, O. B., Voitovych, O. B. (2010). Pidvyschennya efektyvnosti ochyschennya dyfuziinogo soku z vykorystannyam odnozamischenogo fosfatu amoniua [Increasing the efficiency of diffusion juice purification using monosubstituted ammonium phosphate]. Naukovi praci NUHT. № 33. P. 37–41 [in Ukrainian].

9. Reva, L. P., Petrusha, O. O., Stepanishenko, R. V. (2011). Doslidzhennya efektyvnosti ochyschennya dyfuziynoho soku z povernenniam osadu CaCO_3 v rizni zony pH prohresyvnoyi pereddyfikatsiyi [Study of the effectiveness of the diffusion juice purification with the return of the CaCO_3 sediment to different pH zones of progressive pre-defecation]. Tsukor of Ukraine. № 9-10. P. 23–27 [in Ukrainian].

10. Lutin, F., Bailly, M., Bar, D. (2002). Process improvements with innovative technologies in the starch and sugar industries. Desalination, 148 (1–3), P. 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00664-1](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00664-1).

11. Gerasimenko, O. A., Khvalkovskiy, T. P. (1992). Metody analizu i kontrolyu u vyrobnytstvi tsukru [Methods of analysis and control in sugar production]. K.: Vyshcha shkola. 388 p. [in Ukrainian].