

РЕФЕРАТ

Підручника *Технологія цукру* (Київ: ДП «Експрес об'ява», 2015. – том-1, 288 с.; том 2 - 272 с.; том-3 208 с.), поданого на здобуття Державної премії в галузі науки і техніки 2018 року

Технологія виробництва цукру включає складні технологічні процеси: видобування сахарози з буряків, одержання дифузійного соку, очищення дифузійного соку вапном, очищення дифузійного соку карбонатом кальцію, одержання сиропу, отримання білого цукру, видобування цукру з витоків.

Підручник «Технологія цукру» для студентів спеціальності «Технологія цукру та полісахаридів» видрукувано вперше українською мовою. Всі підручники видані до 1999 р. були російськомовними.

Варто зосередити увагу на тому що підручник підготовлений на використанні нових знань щодо зазначених технологічних процесів.

Структура підручника – вступ, п'ять розділів у трьох томах, список рекомендованої літератури до кожного розділу.

Змістовна частина підручника вміщує матеріали як загально прийняті для курсів «Технологія цукру», «Теоретичні основи виробництва цукру», так і інноваційні, щодо розгляду питань кінетики хімічних реакцій та масообмінних процесів.

Зазначені інноваційні матеріали включені за рішенням авторського колективу на підставі узагальнення нових досліджень.

Підручник у запропонованому авторами викладені дає змогу студентам самостійно, що особливо важливо для заочної та дистанційної форм навчання, опанувати знаннями про складні технологічні процеси, насичені хімічними реакціями та масообмінними процесами, одержання дифузійного соку, очищення його, одержання сиропу та кристалічного цукру і досягнення мінімального вмісту сахарози в мелясі.

Особливо значна увага в підручнику приділяється сучасним розробкам вітчизняних та закордонних учених, які спрямовані на підвищення ефективності вирощування цукрових буряків, проведення окремих технологічних процесів і виробництва в цілому. Наслідком впровадження розробок у виробництво є підвищення чистоти клітинного соку буряків, підвищення ефекту очищення соку під час екстрагування сахарози з бурякової стружки та очищення дифузійного соку вапном і карбонатом кальцію. При цьому досягається зменшення втрат сахарози під час зберігання буряків та у виробництві, зменшення вмісту сахарози в мелясі, підвищення виходу цукру та зменшення витрат палива.

Кожен розділ підручника закінчується питаннями для самоперевірки та контролю знань. Це дає можливість студентів ефективніше опрацювати матеріал під час самостійної роботи.

**Том 1 «Вирощування та зберігання цукрових буряків.
Видобування сахарози».**

Перший розділ зосереджений на історії розвитку виробництва цукру з буряків, сучасних технологіях вирощування буряків, питаннях зберігання та контролю якості буряків. Особлива увага приділена відокремленню, очищенню та повторному використанню транспортно-мийної води.

Виробництво цукру з буряків корінням глибоко проникло у давнину. Коренеплідні форми культурних буряків були виведені й вирощувалися з I тис. до н.е. в країнах Азії. Це були столові та кормові форми коренеплідних буряків, цукрові з'явилися значно пізніше.

В Європі перша згадка про листові буряки як розповсюджену культуру датується 812 роком. Коренеплідні буряки почали вирощувати ще в X – XII ст. у Східній Європі (Київська Русь, Великий Новгород, Польське, Литовське, Московське князівства), а в Західній Європі (Північна Італія, Швейцарія, Німеччина) – в XIII – XIV ст.

Відтоді листові та коренеплідні форми буряків вирощувалися поряд, й у результаті природної гібридизації, штучного та природного добору активізувалося їх формотворення, що призвело до появи такої форми, як сілезькі білі буряки, які є безпосереднім попередником усіх сучасних форм цукрових буряків.

Перша згадка про виготовлення з буряків сиропу датується 1553 р., а про те, що сироп буряковий подібний до сиропу з цукрової тростини зазначив Олів'є Серр у XVIII ст.

Німецький хімік Андреа Сигизмунд Маргграф, член Берлінської академії наук, ще в 1747 р. продемонстрував, що тростинний цукор міститься в різних сортах буряків, із яких його можна одержати в значних кількостях. Це слід вважати роком народження буряків як цукрової рослини. За життя вченого на це відкриття не звернули уваги, оскільки держави Європи забезпечувалися привізним тростинним цукром.

Через 50 років у 1799 р. учень А.С. Маргграфа Франц Карл Ахард, після багаторічних дослідів над виведенням нових селекцій сілезьких цукрових буряків, запропонував прусському королю Фрідріху-Вільгельму III першу пробу цукру (було одержано 3 центнери бурякового цукру) з доповідною запискою про спосіб цукробурякового виробництва і економічні вигоди, які буде мати держава при цьому в порівнянні з закупівлею

привізного тростинного цукру. За підтримки уряду в 1802 р. у Сілезії почав працювати перший цукробуряковий завод, побудований Ф.К. Ахардом.

В Україні почало стрімко розвиватися цукроваріння з початку 40-х років XIX ст. В 1848 р. вже діяли 192 заводи. Невеликі підприємства мали недосконалу технологію, яка передбачала використання ручної праці. Так, для отримання соку використовували пресування бурякової мезги, гаряче та холодне її вимочування, сік очищали за допомогою вапна, відділяли осад, сік згущували на відкритому вогні до сиропу та розливали у форми, де сироп охолоджувався й сахароза поступово викристалізовувалася. Після відокремлення між кристального розчину отримували цукор-сирець.

Усього за період з 1825 по 1859 рр. в Україні було побудовано 380 цукрових заводів. На кінець 1859 р. на теренах нашої держави діяло 259 цукрових заводів.

Значною подією в розвитку цукрової промисловості України була організація в 1870 р. (за ініціативи професора Київського університету П.П. Алексеева) Київського відділення Російського технічного товариства цукрової промисловості, що започаткувало селекційну справу в Україні та в Російській імперії. Уже в 90-х роках XIX сторіччя були створенні перші українські селекційні станції, зокрема Уладово-Люлинецька на Поділлі, Верхняцька в Київській губернії. Ці станції забезпечували високоякісним насінням бурякосійні господарства та цукрові заводи. Вони відіграли важливу роль у розвитку цукробурякової промисловості.

Значний внесок у загальний розвиток цукрової промисловості в Україні зробили родини Терещенків, Харитоненків, Ханенків, Бобринських, Яхненків, Смиренків, Бродських, Потоцьких та ін.

У 1898 р. почав працювати Київський політехнічний інститут, побудований на приватні пожертви (серед яких були такі меценати, як М.А. Терещенко, Л.І. Бродський та ін.). Тут готувалися інженерні кадри для цукрової та хімічної промисловості. З моменту заснування КПІ почала діяти кафедра хімічної технології поживних речовин (технології цукру, крохмалю, глюкози та продуктів бродіння), на базі якої в 1930 році був створений Київський технологічний інститут цукрової промисловості.

На початок 1914 р. цукрова промисловість була однією з найбільших галузей промисловості України та нараховувала 203 заводи, які розміщувалися в основному в Правобережній Україні, й тільки 39 заводів були розташовані на Лівобережжі.

Для виробництва цукру в Україні існують виключно сприятливі природні умови. У колишньому СРСР частка України у виробництві цукру

становила понад 75%. Серед світових виробників цукру із буряків Україна довгий час посідала перше місце (Україна, Франція, Німеччина, США).

Подано досить повно матеріал щодо зберігання коренеплодів з високою технологічною якістю, розглянуто детально процеси дихання, хімічний і енергетичний обмін речовин, для мікроорганізмів на які в першу чергу витрачається сахароза.

Особливо важливим показником для кращого зберігання технологічної якості буряків є відокремлення від них землі, гички та інших домішок.

Для оцінки результатів роботи щодо зберігання цукрових буряків встановлено гранично допустимі норми витрат сахарози. Зменшення витрат сахарози під час зберігання буряків – це важлива економічна проблема.

Том перший розділ 2 вміщує матеріали щодо видобування сахарози з буряків. Широко розглянуто хімічний та вуглеводний склад цукрових буряків. Буряки складаються із таких складових частин: сік 92,1%, м'якоть (нерозчинні несахарозні речовини – 5,0%, зв'язана вода м'якоті – 2,9%).

Для визначення якості продуктів цукрового виробництва введено показник чистота (Ч), який відображає вміст сахарози в сухих речовинах розчину у відсотках:

$$\text{Ч} = \text{Сх} \cdot 100 / \text{СР}, \%$$

Сх – вміст сахарози, %;

СР – вміст сухих речовин, %.

Процес екстракції сахарози є одним із основних у цукробуряковому виробництві. Метою цього процесу є видобування сахарози з бурякової стружки за мінімального переходу в дифузійний сік несахарозних речовин. Розрізняють дві стадії цього процесу: дифузію сахарози в середині бурякової стружки та дифузію сахарози в нерухомому шарі рідини на поверхні бурякової стружки. Перша стадія – дифузія сахарози в буряковій тканині зумовлена різницею концентрацій сахарози в стружці та на її поверхні і характеризує перехід речовини в середині твердого тіла з одної його частини в іншу.

Другою стадією процесу екстракції є перехід сахарози від поверхні стружки через нерухомий шар в екстрагент. Перехід екстрагуючої речовини від поверхні бурякової стружки в масу екстрагента відбувається за молекулярної дифузії та конвекції в рідкій фазі.

Кінетика процесу екстракції в цілому визначається швидкістю перенесення екстрагуючої речовини, як у буряковій тканині, так і від її поверхні, до екстрагента. При цьому важливу роль відіграють співвідношення мас взаємодіючих при екстракції фаз і характер їхнього руху. Рух фаз може бути здійснений за принципом протитоку, прямогоку,

ідеального змішування або різних їх комбінацій. Характер зміни середньої концентрації сахарози в буряковій стружці й екстрагенті залежить від напрямку руху фаз.

В екстракторах цукробурякового виробництва мають місце комбіновані процеси, тому процес екстрагування сахарози з бурякової стружки являє собою дуже складні явища, і теорія цього процесу завжди притягувала увагу спеціалістів.

Відомо декілька теорій процесу екстрагування:

- теорія, що передбачає періодичне вирівнювання концентрацій;
- теорія, в основі якої покладено графічний і графоаналітичний розрахунки процесу екстрагування;
- теорії, основані на рівнянні закону Фіка;
- теорії, основані на рівнянні дифузії, в якому коефіцієнт дифузії беруть нескінченно великим;
- теорії, основані на розв'язанні диференціальних рівнянь дифузії.

Розробником теорії екстракції сахарози зі стружки, що ґрунтується на законі Фіка, є П.М. Сіліна.

Теорія протитечійного видобування сахарози з бурякової стружки П.М. Сіліна відіграла значну роль у розвитку технології й техніки цукробурякового виробництва. Ця теорія неодноразово підлягала критичній оцінці. З'явилися нові теорії видобування сахарози зі стружки Б. Славіченка, Г. Оплатки, Х. Брюніхе-Олсена, П.В. Головіна, С.Ф. Дронова та ін. Проте проведені французькими дослідниками аналіз і перевірка на ЕОМ теорії П.М. Сіліна показали, що вона має можливість правильно оцінити вплив величини відкачки дифузійного соку, часу активного екстрагування та довжини 100 г стружки на видобування сахарози зі стружки. При цьому потрібно лише точно визначити час та середню температуру активного екстрагування.

На ефективність екстрагування сахарози з буряків мають вплив такі фактори: показники якості стружки, температура, тривалість процесу, рН середовища в екстракторі, величина відбору соку (відкачка) та якість живильної води.

Для видобування сахарози з бурякової стружки в цукровій промисловості України, а також за кордоном, використовують екстракційні установки з нахиленими шнековими, колонними та ротаційними апаратами.

Детально проаналізовано вплив різних факторів на процес екстрагування сахарози з бурякової стружки у різних типах екстракційних апаратів.

Особлива увага зосереджена на вимогах до живильної води та її витратах.

Вимоги до живильної води:

- відсутність завислих частинок;
- відсутність розчинених високомолекулярних сполук;
- малий вміст неорганічних сполук;
- мала твердість;
- незначний вміст мікроорганізмів;
- рН – 6,2 – 6,5.

Викладені способи інтенсифікації процесу видобування сахарози з бурякової стружки, використання конденсатів, жомопресової та барометричної води

Студенти опанувавши змістовний матеріал *першого тому (розділ 1,2)* отримують знання, навички та вміння ефективно організовувати виробничі процеси. Студенти мають досконало знати:

- вплив якості насіння цукрових буряків, підготовки ґрунту перед висіванням насіння та збирання цукрових буряків, догляду за посівами (обробіток ґрунту, внесення добрив і захист від шкідників та хвороб) та інших чинників на технологічні якості цукрових буряків, основним показником яких є вихід сахарози;
- організацію приймання та зберігання цукрових буряків;
- процеси, що мають місце під час зберігання цукрових буряків, сучасні способи зберігання цукрових буряків з мінімальними втратами бурякомаси і сахарози;
- високоефективні умови подавання цукрових буряків у завод та шляхи забезпечення мінімального пошкодження коренеплодів і максимального відокремлення від них легких та важких домішок;
- показники технологічної якості бурякової стружки та шляхи досягнення її високої якості.

Студенти мають уміти:

а) аналізувати ефективність проведення окремих технологічних процесів з метою встановлення причин:

- високих втрат бурякомаси та сахарози під час зберігання цукрових буряків;
- низької якості бурякової стружки;
- високих втрат сахарози від розкладання в екстракційному відділенні та в жомі;
- малої величини ефекту очищення соку в екстракційному відділенні;

б) розробляти заходи, спрямовані на:

- зменшення втрат бурякомаси та сахарози під час зберігання буряків;
 - зменшення втрат сахарози в жомі;
 - зменшення втрат сахарози в екстракційному відділенні від розкладання;
 - зменшення кількості відібраного з екстракційної установки дифузійного соку;
 - підвищення якості дифузійного соку;
- та оперативно прийняти необхідне рішення щодо ефективного проведення відповідного технологічного процесу.

Том 2 «Очищення дифузійного соку».

Дифузійний сік – складна багатокomпонентна система з розчиненими у воді сахарозою та несахарозними речовинами, що разом складають сухі речовини соку.

Обґрунтована необхідність очищення дифузійного соку, вилучення несахарозних речовин, нейтралізації вільних кислот. Для очищення дифузійного соку запропоновано сотні самих різних способів із використанням маси реагентів. В підручнику підтверджено використання вапна, як найбільш доступного та ефективного реагента.

Основним завданням очищення дифузійного соку є нейтралізація вільних кислот і вилучення зі соку несахарозних речовин, що своєю присутністю в міжкристалічному розчині знижують швидкість кристалізації сахарози, в білому цукрі знижують його якість і також утримують певну кількість сахарози в мелясі. Для очищення дифузійного соку запропоновані сотні способів із використанням різних реагентів, і лише вапно залишається загальноновизнаним реагентом у цукробуряковому виробництві.

Тривале і досить успішне використання вапна для очищення дифузійного соку пояснюється широкою дією гідроксиду кальцію на несахарозні речовини дифузійного соку. Досягається практично повне вилучення із соку введених із вапном іонів кальцію без використання додатково придбаних реагентів. При цьому використовується діоксид вуглецю, що одержується одночасно з вапном. Продукт реакції взаємодії гідроксиду кальцію та діоксиду вуглецю – карбонат кальцію – виконує дві важливі технологічні функції. Перша – очищення соку внаслідок адсорбції аніонів кислот і барвних речовин на поверхні зростаючих часток карбонату кальцію та співосадження з ним. Друга – надання твердій фазі в соку після І карбонізації необхідних для забезпечення планової виробничої потужності цукрового заводу седиментаційних і фільтраційних властивостей. Використанню вапна для очищення дифузійного соку також сприяли

доступність сировини – вапняків – для одночасного одержання вапна та діоксиду вуглецю і низька її вартість.

З використанням вапна та карбонату кальцію для очищення дифузійного соку з нього вилучається близько третини несахарозних речовин. Під час попереднього вапнування дифузійного соку досягається високий ступінь осадження катіоном Ca^{2+} пектинових речовин, білків і аніонів кислот, що з ним утворюють малорозчинні сполуки. Значно нижчий ступінь осадження продуктів гідролізу та деструкції ВМС. Під час I карбонізації зі соку вилучаються внаслідок адсорбції на зростаючих частках карбонату кальцію та співосадження з ним аніони кислот та барвні речовини. Під час II карбонізації зі соку практично повністю вилучаються іони Ca^{2+} . Вилучення лише третьої частини несахарозних речовин з дифузійного соку забезпечує одержання білого цукру, який відповідає вимогам стандарту.

Проведення попереднього та основного вапнувань дифузійного соку, карбонізації та сульфатації прямо пов'язані з дією на ті чи інші несахарозні речовини (осадження, адсорбція).

Попереднє вапнування, основне вапнування чітко визначають мету цих технологічних процесів.

Попереднє вапнування – осадження аніонів кислот (щавлевої, винної, лимонної, сірчаної та фосфорної), які з кальцієм утворюють малорозчинні сполуки, також осадження високомолекулярних сполук (білків, пектинових речовин).

Детально викладено хімічні реакції та процеси, що мають місце під час попереднього вапнування: реакції нейтралізації вільних кислот, осадження сапонінів, осадження високомолекулярних сполук (пектинові речовини, білки) тощо.

Способи проведення попереднього вапнування мають декілька показників та особливостей, що для них є загальними. Це стосується зміни лужності та рН соку за час проведення попереднього вапнування, виду лужного реагенту, температури та виду повернень на попереднє вапнування.

Відповідно до класифікації способів попереднього вапнування за зміною лужності чи рН соку за час проведення технологічного процесу спосіб проведення попереднього вапнування в апараті Бригель-Мюллера та в близьких до нього за способом проведення вертикальних апаратах можна назвати “способом проведення попереднього вапнування з багаторазовим підвищенням та зниженням лужності чи рН в елементах соку за час проведення технологічного процесу”. Апарат для здійснення цього способу можна назвати “апарат попереднього вапнування дифузійного соку з внутрішньою циркуляцією соку”.

Отже, відповідно до класифікації за зміною лужності соку чи рН за час проведення технологічного процесу можна виділити три способи проведення попереднього вапнування за умов:

- постійної лужності чи рН соку;
- поступового чи ступінчастого підвищення лужності чи рН соку;
- багаторазового підвищення та зниження лужності чи рН в елементах соку.

Відповідно до класифікації за температурою технологічного процесу попереднє вапнування поділяється на холодне – до 50 °С; тепле – 62 – 65 °С; гаряче – 88 – 90 °С.

За використанням виду лужного реагенту способи попереднього вапнування дифузійного соку класифікуються на попереднє вапнування вапном, нефільтрованим соком I карбонізації та вапнованим соком, частково карбонізованим вапнованим соком; та за видом повернень – на попереднє вапнування з використанням; згущеної суспензії II карбонізації та нефільтрованого соку I карбонізації, згущеної суспензії I та II карбонізацій, частково карбонізованого вапнованого соку.

Велика кількість варіантів класифікації способів проведення попереднього вапнування дифузійного соку свідчить про важливість і складність цього технологічного процесу.

Основними показниками ефективності попереднього вапнування дифузійного соку є високий ступінь осадження несахарозних речовин (високомолекулярних сполук та аніонів кислот), необхідні седиментаційні та фільтраційні властивості твердої фази в соку після I карбонізації та стійкість коагуляту ВМС за умов високих лужності та температури під час основного вапнування. Досягнення цих показників пов'язане з коагуляцією ВМС та утворенням агрегатів твердої фази, до складу яких входять ВМС та часточки карбонату кальцію. Високомолекулярні сполуки дифузійного соку – білки та пектинові речовини є флокулянти і вони сприяють утворенню агрегатів твердої фази.

З метою підвищення ступеня осадження високомолекулярних сполук та покращення седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку після I карбонізації у сік під час проведення попереднього вапнування вводяться флокулянти. Введення флокулянту в сік під час проведення попереднього вапнування підвищує якісні показники очищеного соку та покращує седиментаційні та фільтраційні властивості твердої фази.

Розглянуто спосіб інтенсифікації попереднього вапнування дифузійного соку, що ґрунтується на використанні ефектів пароконденсаційної (ПК) та гідродинамічної (ГД) кавітації. Також зростає

ступінь осадження ВМС іонів Ca^{2+} . Підвищення реакційної здатності ВМС пов'язується з руйнуванням асоційованих високомолекулярних сполук дифузійного соку під впливом кавітаційних ефектів.

Кожен із способів проведення попереднього вапнування дифузійного соку може бути реалізованим лише за певного апаратного його оформлення. На ефективність того чи іншого способу проведення попереднього вапнування значно впливає його апаратне оформлення через такі фактори:

- зміни середовища, у якому перебувають компоненти соку за час попереднього вапнування;
- тривалість перебування компонентів соку в апараті;
- місцеві чи локальні відхилення величини лужності соку від її величини в об'ємі соку в апараті чи окремій секції – місцеве перелуження соку;
- інтенсивність перемішування соку.

Мета основного вапнування – розкладання нестійких у лужному середовищі моносахаридів та амідів.

Розкладання моносахаридів з утворенням аніонів кислот та взаємодія моносахаридів і продуктів їх розкладання з аміносполуками з утворенням барвних речовин – меланоїдинів важливо завершити до I карбонізації, що дає змогу значну частину аніонів кислот і барвних речовин вилучати із соку внаслідок їх адсорбції на зростаючих частках карбонату кальцію та співосадження з ним.

Важливо, щоб реакції розкладання моносахаридів були завершені до надходження соку на випарну установку. Що і є запорукою отримання високоякісного білого цукру.

Основне вапнування проводиться у два етапи: тепле і гаряче вапнування. Вапно вводиться у сік у вигляді вапняного молока. Розчинність вапна в соку залежить від концентрації сахарози та температури. З підвищенням температури розчинність вапна зменшується. Завдання полягає в тому, щоб розкладання моносахаридів і гідроліз амідів провести за умов високої концентрації гідроксиду кальцію в соку з утворенням меншої кількості аніонів кислот і барвних речовин.

Сік з доданим до нього вапном подається на перший ступінь – тепле основне вапнування. На цьому етапі одержують насичений розчин гідроксиду кальцію при температурі 60–63 °С. Тривалість цього етапу визначається часом, необхідним для розчинення гідроксиду кальцію та утворення його насиченого розчину в соку, і становить 5–6 хв. Після теплового вапнування сік нагрівається в підігрівниках до температури 88–90 °С і подається на другий ступінь – гаряче основне вапнування. Гідроксид кальцію

схильний до утворення стійких перенасичених розчинів, і тому концентрація його, досягнута під час теплового основного вапнування, буде тривалий час зберігатися під час гарячого основного вапнування. За цих умов розкладання моносахаридів буде проходити з утворенням меншої кількості аніонів кислот і барвних речовин – меланоїдинів, ніж за нижчої концентрації гідроксиду кальцію в соку.

Тривалість другого ступеня – гарячого основного вапнування 10–12 хв. Цього часу досить для повного розкладання моносахаридів і часткового гідролізу амідів. Їх гідроліз триває під час проведення наступних технологічних процесів. Тривалість основного вапнування визначається часом, необхідним для повного розкладання моносахаридів. Обмеження тривалості основного вапнування пов'язане з небезпекою зворотного переходу в сік високомолекулярних сполук, осаджених під час попереднього вапнування дифузійного соку. Сік після основного вапнування надходить на І карбонізацію.

Під час основного вапнування при високій температурі, лужності та рН соку, зумовлених в основному присутністю гідроксиду кальцію, відбуваються хімічні реакції за участю сахарози і моносахаридів, амідів, солей амонію, білків та пектинових речовин.

Ґрунтовно подано реакції, що мають місце під час основного вапнування: за участю сахарози, моносахаридів та азотовмісних сполук, алантоїна, білків, пектинових речовин.

Тривалість основного вапнування має забезпечувати вміст редукувальних речовин у соку не більше 0,02% від маси соку.

Способи проведення основного вапнування можливо класифікувати за температурою, за зміною концентрації моносахаридів у соку за час технологічного процесу та з аерацією чи без аерації соку. Найпоширенішою є класифікація за температурою основного вапнування. Температура соку, що направляється на основне вапнування, відповідає способу проведення попереднього вапнування – холодне, тепле та гаряче. Основне вапнування може проводитися за холодним, гарячим та комбінованим способами.

Холодне основне вапнування проводиться при температурі 40–50 °С і тривалістю 40–50 хв.

Гаряче основне вапнування проводиться при температурі 80–90 °С і тривалості 10–12 хв.

Найширше на цукрових заводах використовується комбіноване основне вапнування чи двоступеневе. Перший ступінь – холодне основне вапнування тривалістю 7–8 хв, а другий – гаряче тривалістю 10 хв. Зважаючи на те, що оптимальною температурою проведення попереднього вапнування

дифузійного соку – 60–63 °С – тепле попереднє вапнування, то і першим ступенем основного вапнування – тепле основне вапнування. З огляду на це комбіноване двоступеневе основне вапнування буде тепло-гарячим з тривалістю теплового ступеня 5–6 хв.

Іншим варіантом класифікації способів проведення основного вапнування є класифікація за зміною концентрації моносахаридів у соку за час технологічного процесу. Відповідно до цієї класифікації виділяються два способи проведення основного вапнування:

- за умов постійної концентрації моносахаридів під час технологічного процесу;
- за умов ступеневого зниження концентрації моносахаридів під час технологічного процесу.

Існує спосіб проведення основного вапнування, що виходить за межі наведених класифікацій. Це є спосіб основного вапнування з аерацією соку повітрям.

Виконано аналіз ефективності основного вапнування та апаратного оформлення.

Карбонізація (карбонатація) – оброблення вапнованого дифузійного соку діоксином вуглецю.

Карбонат кальцію, що утворюється під час цього технологічного процесу виконує дві важливі функції.

Перша – очищення соку внаслідок адсорбції несахарозних речовин твердою фазою карбонату кальцію.

Друга – завершення формування складу і структури агрегатів твердої фази з необхідними седиментаційними та фільтраційними властивостями.

З метою підвищення ефективності очистки дифузійного соку та зменшення вмісту іонів кальцію в очищеному соку, карбонізація, проводиться у два етапи.

Мета першої карбонізації – нейтралізація близько 99% вапна, очищення соку часточками карбонату кальцію, що утворюється та формування складу і структури агрегатів твердої фази з необхідними седиментаційними та фільтраційними властивостями.

Основні способи проведення карбонізації наступні:

- Перший спосіб – з поступовим, або ступінчастим, зниженням лужності та рН соку за час проведення технологічного процесу. Він реалізується за умов періодичної карбонізації (поступове зниження лужності) чи в секційних карбонізаторах з послідовним проходженням соку від першої секції до останньої. Отже, при цьому способі проведення I карбонізації лужність соку поступово чи ступінчасто змінюється від її величини у вапнованому соку до

лужності та рН у соку після карбонізації. Найпростішим варіантом реалізації ступінчастого зниження лужності є проведення I карбонізації у двох апаратах з послідовним проходженням соку через них.

- Другий спосіб – за умов постійної лужності, що реалізується в одноступінчастому апараті. Вапнований сік, що надходить у карбонізатор, внаслідок інтенсивного перемішування соку в апараті карбонізаційним газом майже миттєво змішується з соком, що міститься в карбонізаторі. За умов рівномірного розподілу карбонізаційного газу по перерізу карбонізатора величини лужності та рН у всьому об'ємі соку в апараті рівні величинам лужності та рН соку на виході з апарата. Отже, цей спосіб проведення I карбонізації здійснюється за умов низьких і постійних величин лужності та рН соку (0,09–0,11 % СаО і 10,8–11,0).

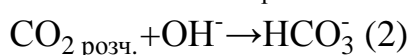
Карбонізаційний газ підводиться в розміщений у нижній частині апарата газорозподільний пристрій. Він забезпечує рівномірне розподілення газу по перерізу апарата.

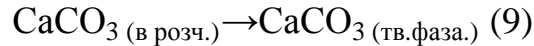
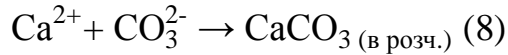
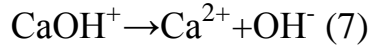
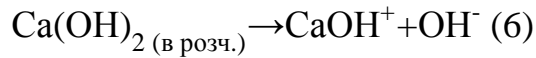
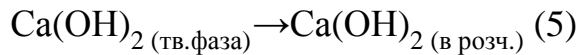
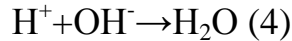
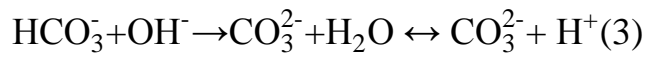
апарата. Найефективнішим режимом проведення карбонізації вапнованого соку є барботувальний. Це пов'язано з тим, що основний опір під час поглинання діоксиду вуглецю водою і лужним соком міститься в рідинному середовищі. Підвищення швидкості поглинання діоксиду вуглецю лужним соком, яке сприяє підвищенню ефекту очищення соку карбонатом кальцію і ступеня використання діоксиду вуглецю під час карбонізації соку, досягається зі зростанням величини коефіцієнта масовіддачі в рідинному середовищі. Барботування карбонізаційного газу через шар соку забезпечує високу інтенсивність його перемішування, досягнення високих величин коефіцієнта масовіддачі в рідинному середовищі та швидкості поглинання діоксиду вуглецю. Задана величина лужності соку підтримується зміною кількості карбонізаційного газу, що вводиться в карбонізатор. Якщо величина лужності соку менша за задану, то в карбонізатор подається менше карбонізаційного газу і навпаки.

Незалежно від способу карбонізації під час її проведення мають місце масообмінні процеси та хімічні реакції пов'язані з поглинанням діоксиду вуглецю лужним соком, розчиненням і дисоціацією гідроксиду кальцію, утворенням карбонат іонів карбонату кальцію та його кристалізацією.

На швидкість та наявність хімічних реакцій масообмінних процесів впливає спосіб проведення I карбонізації.

Швидкість карбонізації визначається швидкістю найповільнішого із процесів.





Із них (1), (5) та (9) – масообмінні процеси, а решта хімічні реакції. Найповільнішим із масообмінних процесів є масообмінний процес (1) – перехід діоксиду вуглецю з газової фази у рідинне середовище. Значний вплив на швидкість поглинання діоксиду вуглецю лужним соком має хімічна реакція в рідинному середовищі (2).

Швидкість поглинання діоксиду вуглецю лужним соком – основний фактор інтенсифікації першої карбонізації щодо ефективності очищення соку карбонатом кальцію.

Основними способами проведення I карбонізації визначено наступні два:

- періодичний – з поступовим зниженням рН;
- безперервний – за постійних величин рН та лужності.

Основними показниками ефективності I карбонізації є:

- ефект очищення соку,
- седиментаційні та фільтраційні властивості твердої фази в соку після I карбонізації,
- ступінь використання діоксиду вуглецю.

Ефект очищення соку показує кількість вилучених несахарозних речовин із соку під час I карбонізації у відсотках від їх вмісту в соку перед I карбонізацією. З підвищенням ефекту очищення зменшується вміст несахарозних речовин в очищеному соку та сиропі, покращується якість білого цукру та зменшується вміст сахарози в мелясі. Ефект очищення соку під час I карбонізації досягається внаслідок адсорбції несахарозних речовин на зростаючих частках карбонату кальцію та їх співосадження з карбонатом кальцію. 40–45 % від загального ефекту очищення на станції вапнування і карбонізації досягається під час I карбонізації.

Показниками седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку після I карбонізації є швидкість осадження твердої фази в соку, якість декантату та швидкість фільтрування соку.

Карбонат кальцію є ефективним адсорбентом. Очищення соку здійснюється часточками карбонату кальцію під час їх росту. Зі збільшенням

поверхні адсорбенту зростає кількість вилучених із соку несахарозних речовин.

Поверхня адсорбенту – карбонату кальцію, одержаного під час I карбонізації, зростає зі зменшенням розмірів часточок чи з підвищенням їх дисперсності.

Карбонат кальцію належить до полярних речовин, для нього характерним є пошарове зростання кристалів. Площа поверхні кристалів карбонату кальцію – площа поверхні адсорбції під час росту кристалів постійно оновлюється. Кожна знову утворена поверхня є площею поверхні адсорбції. Отже, в очищенні соку бере участь кожна знов утворена площа поверхні за час зростання часточки. Загальною площею поверхні адсорбції є сумарна (інтегральна) площа поверхні кожної часточки за час її зростання, свідченням цього є те, що переважна більшість несахарозних речовин міститься в середині кристалів карбонату кальцію.

Під час кристалізації основної речовини деяка кількість домішок, що перебувають в розчині, завжди буде міститися в кристалах основної речовини. Це є наслідком співосадження. У середині кристалів основної речовини містяться домішки, які за даних умов мають досить високу розчинність.

Під час кристалізації карбонату кальцію поверхня часточок постійно оновлюється. На заново утвореній поверхні відбувається адсорбція та десорбція несахарозних речовин. З підвищенням швидкості кристалізації карбонату кальцію більша кількість адсорбованих несахарозних речовин буде перекриватися наступним шаром карбонату кальцію. При цьому їх більша кількість буде залишатися в середині кристалів. Буде підвищуватись ефективність очищення соку карбонатом кальцію внаслідок співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію.

На ефективність очищення соку під час I карбонізації внаслідок співосадження несахарозних речовин з карбонатом кальцію переважно впливає лінійна швидкість кристалізації карбонату кальцію – швидкість збільшення лінійного розміру часточок. З підвищенням лінійної швидкості кристалізації карбонату кальцію все більша кількість іонів Ca^{2+} та CO_3^{2-} буде підходити до поверхні часточок та швидше буде перекриватися раніше утворена поверхня. При цьому більша кількість адсорбованих несахарозних речовин буде залишатися в середині зростаючих часточок карбонату кальцію.

Величина лінійної швидкості кристалізації карбонату кальцію значно впливає на ефективність очищення соку під час I карбонізації.

Загалом досить широко викладені питання ефективності проведення I карбонізації – очищення соку карбонатом кальцію, швидкість фільтрування соку та осадження твердої фази, ступінь використання діоксиду вуглецю, апаратного оформлення цього технологічного процесу.

Розрахунок карбонізаторів як масообмінних апаратів ґрунтується на розрахунку питомої швидкості поглинання діоксиду вуглецю лужним соком.

Досягнення високих показників ефекту очищення соку та ступеня використання діоксиду вуглецю і необхідних седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази є можливе за використання таких умов:

- карбонізаційний газ має барботувати через шар соку;
- в апараті має міститися мінімально необхідний об'єм соку, що забезпечує надійне керування лужністю та рН соку на виході з карбонізатора;
- поступове чи ступінчасте зниження лужності та рН соку;
- інтенсивне перемішування соку в апараті;
- здійснення циркуляції соку в межах карбонізатора.

Мета другої карбонізації – досягнення мінімального вмісту іонів Ca^{2+} в соку, нейтралізація вапна, що міститься в соку.

На II карбонізацію подається фільтрований сік після першої карбонізації. Лужність і рН соку відповідно 0,09–0,11 % СаО від маси соку і 10,8–11,0. У разі вапнування соку перед II карбонізацією до нього додається 0,3–0,4 % СаО від маси буряків. В апарат постійно подаються лужний сік і карбонізаційний газ. Карбонізаційний газ підводиться в газорозподільні пристрої, що забезпечують рівномірний розподіл його по перерізу апарата та диспергування в соку. Під час підймання газових бульбашок у шарі соку діоксид вуглецю поглинається лужним соком і взаємодіє з гідроксид-іонами. При цьому утворюються карбонат-іони. Лужність соку знижується. За умов досягнення оптимальних щодо вмісту іонів кальцію величин лужності та рН соку відповідно в межах 0,01–0,02 % СаО та 8,8–9,4 у соку буде міститися мінімальний вміст іонів кальцію. З соку вони виводяться у вигляді твердої фази практично нерозчинного карбонату кальцію. Задані величини лужності та рН соку підтримуються зміною кількості карбонізаційного газу, що подається в карбонізатор.

Перед II карбонізацією проводиться вапнування дифузійного соку.

Вапнування сприяє зниженню коефіцієнта перенасичення карбонату кальцію у соку, підвищенню термостійкості соку через гідроліз амідів та розкладання моносахаридів. За умов вапнування соку в соку буде більший вміст твердої фази карбонату кальцію в результаті буде більша величина площі поверхні кристалізації. За таких умов відбувається підвищення

швидкості кристалізації карбонату кальцію із перенасиченого розчину, що сприяє зменшенню вмісту солей кальцію в очищеному соку.

Під час II карбонізації мають місце хімічні реакції та масообмінні процеси такі ж, як і під час I карбонізації.

Способи проведення II карбонізації:

- періодичний – з поступовим зменшенням рН;
- безперервний – за постійних величин рН та лужності.

Достатньо уваги приділена натуральній (теоретичній та практичній) лужності, визначено оптимальні величини лужності та рН соку, температурному режиму II карбонізації, питанням зменшення вмісту іонів кальцію в очищеному соку.

Апаратурне оформлення II карбонізації – апарати тих же конструкцій та принципу дії, що і для I карбонізації.

Особливе місце у технологічному процесі очищення соку та сиропу посідає процес відокремлення твердої фази.

Необхідність ретельного відокремлення твердої фази від соків та сиропу зумовлена такими цілями:

– від соку до основного вапнування – запобіганням переходу під час основного вапнування дифузійного соку з коагуляту в сік продуктів розкладання ВМС, наслідком чого є зниження якості очищення соку та погіршення седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку після I карбонізації;

– від соку після I карбонізації – запобіганням переходу з коагуляту в сік ВМС і продуктів їх розкладання та десорбції несахарозних речовин із поверхні часточок карбонату кальцію за умов зниження рН від 11,0, що приводить до підвищення вмісту солей кальцію в очищеному соку та його забарвленості і зниження ефекту очищення соку;

– від соку після II карбонізації – недопущенням надходження часточок карбонату кальцію на сульфітацію соку, де вони за умов $\text{pH} < 9,25$ розчинятимуться і утворюватиметься сульфід кальцію, розчинність якого в соку майже в 10 разів вища за розчинність карбонату кальцію, що приводить до відкладання сульфідів кальцію на поверхні нагрівання випарних апаратів;

– від сиропу до одержання утфелю – запобіганням потрапляння твердої фази в білий цукор, що приведе до одержання мутних розчинів цукру та підвищення вмісту золи в цукрі.

Для відокремлення твердої фази застосовуються фільтри-згущувачі, вакуум-фільтри, фільтрпреси та дискові фільтри.

Викладені основи фільтрування, переваги та недоліки фільтрів різної конструкції.

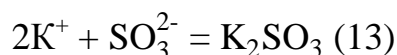
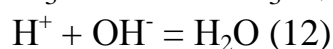
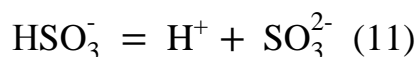
Для одержання згущеної суспензії з вмістом твердої фази близько 20 % від маси суспензії використовують, але не так широко, як фільтрування, осадження в гравітаційному полі – седиментацію. Її здійснюють у відстійниках різної конструкції. Використання відстійників для одержання згущеної суспензії порівняно зі фільтрами-згущувачами має переваги і недоліки. До переваг можна віднести: порівняно проста конструкція, не використовується фільтрувальна тканина, просте обслуговування та не використовуються складні і дорогі засоби автоматизації. Недоліки: велика тривалість часу перебування соку в деяких конструкціях відстійників і значні величини втрат сахарози внаслідок її розкладання; витрати на флокулянти, що використовуються з метою підвищення швидкості осадження твердої фази та підвищення якості декантату – зменшення в ньому вмісту твердої фази; необхідність контрольного фільтрування декантату.

Сульфітація – оброблення соку (сиропу) сірчистим ангідридом з метою зниження забарвленості, запобігання утворення барвних речовин під час одержання сиропу та утфелю.

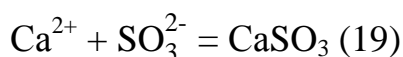
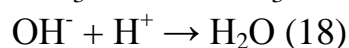
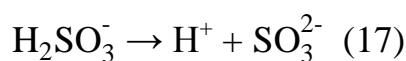
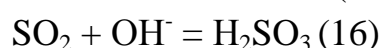
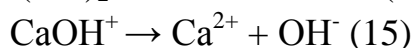
Важливий показник ефективності проведення сульфітації – ступінь використання діоксиду сірки залежить від швидкості поглинання його соком. Швидкість поглинання залежить від швидкості найбільш повільного етапу в низці масообмінних процесів та хімічних реакцій, що мають місце під час сульфітації.

Швидкість хімічних реакцій значно вища за швидкість масо обмінного процесу $\text{SO}_2 + \text{OH}^- = \text{HSO}_3^-$ (10) – перехід діоксиду сірки із газової фази в рідинне середовище.

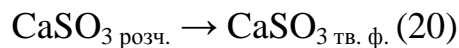
Хімічні реакції, що мають місце під час сульфітації:



В разі недостатньої очистки дифузійного соку присутній в соку $\text{Ca}(\text{OH})_2$ буде утворюватися сульфід кальцію з реакціями:



Розчинність сульфїту кальцію зменшується з підвищенням концентрації сахарози від 15 до 60% майже в 15 разів. За цих умов відкладатися на поверхні нагрівання випарної установки.



Під час сульфїтації соку чи сиропу одночасно з важливими для досягнення високої ефективності виробництва цукру з буряків задачами – зниження забарвленості напівпродуктів та запобігання утворення барвних речовин під час наступних технологічних процесів вирішується важлива для ефективного проведення сульфїтації задача – досягнення ступеня використання SO_2 близько 100 % за мінімально необхідної розрахункової величини витрат сірки.

Швидкість хімічних реакцій значно вища за швидкість масообмінного процесу – перехід діоксиду сірки із газової фази в рідинне середовище.

Основний опір під час поглинання водою і лужними розчинами добре розчинного у воді діоксиду сірки знаходиться в газовій фазі.

Швидкість поглинання SO_2 соком чи сиропом визначається із рівняння:

$$N = Y \cdot F \cdot K_r \cdot (P_r - P_r^n) \quad (21)$$

де Y – фактор прискорення абсорбції наступною хімічною реакцією (18);

F – площа поверхні поділу фаз, м^2 ;

K_r – коефіцієнт масовіддачі в газовому середовищі, м/с ;

$(P_r - P_r^n)$ – рушійна сила поглинання діоксиду сірки під час сульфїтації соку чи сиропу;

P_r – парціальний тиск діоксиду сірки в газовій фазі;

P_r^n – парціальний тиск діоксиду сірки біля поверхні поділу фаз.

Потік діоксиду сірки через одиницю поверхні поділу фаз у газовому та рідинному середовищах описується рівнянням

$$m = K_p \cdot (P_r - P_r^n) = K_p (C_p^n - C_p) \quad (22)$$

де K_p – коефіцієнт масовіддачі у рідинному середовищі (м/с);

C_p^n та C_p – концентрація діоксиду сірки у рідинному середовищі на поверхні поділу фаз та в середині рідинного середовища.

Зі збільшенням площі поверхні поділу фаз між соком чи сиропом і сульфїтаційним газом швидкість поглинання SO_2 зростає. Є два принципово різні варіанти створення поверхні поділу фаз між рідкою та газовою фазами. Перший варіант – газова фаза диспергована в рідинному середовищі та другий – рідина диспергована в газовому середовищі.

Менш енерговитратний варіант – зрошування. У цьому випадку сік диспергується в газовому середовищі. З підвищенням дисперсності краплин

соку збільшується поверхня поділу фаз та зростає швидкість поглинання сірки.

Хімічна реакція (18), через фактор прискорення, абсорбції наступною хімічною реакцією в рідинному середовищі, впливає на швидкість поглинання SO_2 лужним соком.

Діоксид сірки є добре розчинним газом у воді. За температури $20\text{ }^\circ\text{C}$ в одному об'ємі води розчиняється біля 40 об'ємів SO_2 . Основний опір під час поглинання його водою та розчинами знаходиться в газовій фазі. За цих умов ефективна поверхня поділу фаз між соком та газом створюється шляхом подрібнення рідинного середовища на окремі краплі. З підвищенням дисперсності крапель соку чи сиропу зростає площа поверхні поділу фаз та швидкість поглинання діоксиду сірки. А це шлях до підвищення ступеня використання діоксиду сірки. Найбільш ефективним способом створення поверхні поділу фаз між сульфітаційним газом і соком чи сиропом є розпил рідини в газовому середовищі.

Практично сульфитація проводиться в зрошувальних чи рідинно-струменевих апаратах, принцип дії яких ґрунтується на диспергуванні соку чи сиропу в газовій фазі зі вмістом діоксиду сірки 12–15 %. Діоксид сірки одержують на цукрових заводах шляхом спалювання сірки. Він утворює з органічними барвниками безбарвні сполуки та має дезінфікуючу дію. Діоксид сірки використовують для відбілювання соломи, вовни та шовку.

Він утворює з органічними барвниками безбарвні сполуки та має дезінфікуючу дію.

Виконано аналіз апаратного оформлення сульфитації соку та визначено показники, які має забезпечити апарат:

- створення поверхні поділу фаз шляхом диспергування соку чи сиропу в середовищі сульфітаційного газу;
- досягнення заданих величин рН сиропу і особливо соку за умов максимально можливих величин натуральної лужності соку;
- ступінь використання діоксиду сірки близько 100 % за розрахункових величин витрат сірки з урахуванням величини натуральної лужності соку;
- досягнення високих величин дисперсності крапель соку чи сиропу та приведеної швидкості сульфітаційного газу;
- запобігання краплевиносу соку чи сиропу шляхом обладнання сульфитатора високоефективним краплеловлювачем.

У промисловості перевага надається рідинно-струменним апаратам.

Опанувавши матеріали викладені у другому томі, розділ 3, студенти мусять знати:

– теоретичні основи очищення дифузійного соку вапном і карбонатом кальцію та обґрунтування параметрів вапнування дифузійного соку і карбонізації вапнованого соку; шляхи досягнення високого ефекту очищення соку, необхідних седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку та високого ступеня використання діоксиду вуглецю; будову та роботу апаратів вапнування і карбонізації соку і шляхи ефективного їх використання;

– основи кінетики фільтрації та седиментації, формування необхідних седиментаційних і фільтраційних властивостей твердої фази в соку і карбонізації, будову, роботу та шляхи ефективного використання відстійників і фільтрів;

– проведення сульфатації соку та сиропу, досягнення високої ефективності сульфатації щодо зниження забарвленості соку і сиропу та запобігання утворення барвних речовин під час наступних технологічних процесів.

За конкретних умов виробництва студенти зможуть аналізувати ефективність проведення технологічних процесів та встановлення причин:

- малої величини ефекту очищення соку в екстракційному відділенні;
- малої величини ефекту очищення в сокоочисному відділенні;
- низької термостійкості соку;
- незадовільних седиментаційних і фільтраційних показників твердої фази в соку після I карбонізації;
- низької ефективності роботи станції фільтрування соку.

А також розробляти заходи спрямовані на:

- підвищення ефекту очищення соку в сокоочисному відділенні;
- підвищення ефективності очищення соку під час I карбонізації;
- покращення седиментаційних та фільтраційних властивостей твердої фази в соку після I карбонізації;
- підвищення ступеня використання діоксиду вуглецю;
- зменшення витрат палива.

Том 3 Кристалізація.

Наступний етап технологічного процесу – одержання сиропу. Сироп отримують згущенням очищеного соку. Згущення соку у два етапи:

- випарювання води в багатокорпусній випарній установці;
- уварювання у вакуум-апаратах до пересиченого стану з подальшою кристалізацією сахарози.

Розділення процесу згущення соку випаровуванням зумовлено необхідністю зменшення витрати тепла на випаровування великої кількості води (100–115 % до маси буряків). На першому етапі воду випаровують у

БВУ з багаторазовим використанням відпрацьованої в турбіні пари (ретурна або гриюча пара). При згущенні соку проходить ряд фізико-хімічних процесів, які детально розглянуті нижче, тому сироп після випарної установки необхідно сульфитувати та фільтрувати. Випаровування має проводитися з мінімально можливими витратами тепла та змінами у соку в результаті розкладу сахарози та інших складових.

Детально розглянуто та виконано аналіз фізико-хімічних процесів, що мають місце при згущенні соку:

- кількість води, що випаровується під час одержання сиропу;
- температурний режим;
- хімічні зміни у соку;
- зміна лужності та рН соку;
- наростання забарвленості;
- утворення твердої фази;
- аналіз апаратного оформлення.

Фільтрування сиропу є найважливішим серед інших фільтрувальних процесів. Процес фільтрування може бути проведено один раз або двічі (основне і контрольне фільтрування). На зарубіжних заводах подвійне фільтрування застосовують також і при додаванні порошкоподібного вугілля для очищення сиропу. В обох випадках обладнання та технологія подібні.

Якість сиропу значною мірою впливає на результати фільтрування, уварювання утфелів, витрати паливно-енергетичних ресурсів, якість готової продукції тощо, тому необхідно забезпечити на заводі чіткий і об'єктивний контроль цілої низки показників, серед яких:

- 1) температура сиропу з клеровкою;
- 2) масова частка сухих речовин;
- 3) чистота;
- 4) забарвленість;
- 5) каламутність;
- 6) вміст солей кальцію;
- 7) рН₂₀;
- 8) лужність (%СаО);
- 9) в'язкість;
- 10) термостійкість.

Розглянемо більш детально вплив деяких чинників на роботу фільтраційного обладнання зокрема і роботу цукрового заводу в цілому.

Вплив усіх цих чинників досить детально розглянуто щодо ефективності роботи цукрового заводу в цілому.

Кристалізація сахарози можлива лише з перенасичених розчинів, тобто таких, у яких фактично розчинено більше, ніж може розчинитися при певній температурі.

Розчинність сахарози в нечистих цукрових розчинах залежить від якісного і кількісного складу несахарозних речовин. Різні несахарозні речовини по-різному впливають на розчинність сахарози. Деякі з них значно підвищують розчинність, інші слабо, частина несахарозних речовин навіть зменшує її, але сумарний вплив несахарозних речовин призводить до збільшення розчинності. Тому розчинність збільшується при зменшенні чистоти. Вплив несахарозних речовин на розчинність характеризується коефіцієнтом насичення K_s , який виражається відношенням розчинності сахарози в нечистих цукрових розчинах (α_1) до розчинності сахарози у воді (α_0):

$$K_s = \alpha_1 / \alpha_0 .$$

Під час одержання утфелю присутні ті ж самі реакції, що й у продуктах у випарній установці: гідроліз амідів, розкладання сахарози, моносахаридів, бікарбонатів, наростання забарвленості, утворення накипу.

Кристалізація сахарози у вакуум-апаратах досягається за рахунок видалення розчинника – води. Сучасні вакуум-апарати мають вертикальний циліндричний корпус із конічним днищем для полегшення спуску звареної маси (утфелю).

Розглянуто методи (способи) одержання цукру з задами розмірами кристалів.

У сучасних умовах більшість цукрових заводів зарубіжжя та значна кількість вітчизняних підприємств використовують нові методи введення центрів кристалізації за допомогою суспензій та пластичних або твердопластичних паст.

На етапі остаточного згущення утфелю потрібно залишити в ньому лише мінімальну кількість води і довести масову частку сухих речовин 91,5 – 92,5%.

Мета центрифугування утфелю I кристалізації – відділення під дією відцентрових сил від кристалів цукру та між кристального розчину та наступне промивання.

Подано різні способи центрифугування та їх апаратне оформлення. Основний показник, що характеризує ефективність роботи центрифуг, є фактор розділення.

Фактор розділення показує у скільки разів для відцентрової сили прискорює відділення між кристального розчину від кристалів цукру порівняно з дією сили ваги.

Процес центрифугування утфелів можна розділити на три якісно різні періоди:

- 1) утворення в барабані шару утфелю;
- 2) витікання міжкристального розчину з пор (капілярів) утвореного шару утфелю;
- 3) стікання плівки міжкристального розчину з поверхні кристалів і стиків їх граней.

При одній і тій самій товщині шару утфелю тривалість відділення міжкристального розчину залежить від в'язкості, розміру кристалів і нерівномірності їх гранулометричного складу.

У процесах кристалізації і центрифугування утфелів існує протиріччя, яке полягає у тому, що для кращого виснаження міжкристального розчину доцільно мати більшу питому поверхню, тобто дрібні кристали, а для центрифугування – навпаки, кристали більших розмірів. Тому залежно від виду та продуктивності обладнання, встановленого на цукровому заводі, треба знаходити оптимальні умови, що забезпечують найефективнішу роботу всього кристалізаційного відділення.

Приділяючи відповідну увагу контролю вмісту кристалічного цукру в утфелі і виходу цукру після центрифуг, на багатьох заводах впровадили схему зважування кристалічного цукру з кожного апарата.

Після центрифуг отримують білий цукор з вологістю до 0,6–0,8 %. Білий цукор висушують нагрітим повітрям до вмісту вологи 0,14 % при зберіганні в мішках і до 0,04 % – при безтарному зберіганні в силосах. Після висушування цукор охолоджують до температури 22–25 °С.

З метою зменшення пошкодження кристалів вологого цукру при транспортуванні від центрифуг до сушарки цукру використовують вібротранспортер. Застосування вібротранспортера для переміщення цукру цілком доцільне тому, що цукор майже не перетирається (як у разі застосування шнеку), а під час руху він трохи підсушується.

Із вібротранспортера цукор з температурою 40–45 °С (на деяких заводах 50–60 °С) надходить в елеватор, яким підіймається до сушильного відділення.

Сучасні установки для сушіння білого цукру включають два барабани, що обертаються, з лопатками всередині.

У двобарабанній сушарці через багаторазове пересипання цукру спостерігається досить значне пошкодження поверхні кристалів з утворенням цукрового пилу.

На багатьох вітчизняних цукрових заводах застосовують сушильно-охолоджувальні установки СПС-20 або СК-1, які працюють за принципом

псевдозрідженого шару або шару, що кипить. При проходженні гарячого повітря через шар вологого білого цукру, коли сила тиску повітря дещо перевищує масу цього шару, білий цукор стає рухливим, а його шар за властивостями стає подібним на рідину з малою в'язкістю. Кристали починають переміщатися у межах шару цукру, а він ніби кипить. Тому шар цукру білого і називають таким, що кипить.

У вітчизняній цукровій промисловості використовують сушильно-охолоджувальні установки для білого цукру, продуктивність яких відповідає потужності цукрових заводів (1,5; 3,0; 6,0 тис. т. переробки буряків за добу).

Розглянуто питання пакування та зберігання білого цукру.

Особлива увага зосереджена на технологічному процесі видобування сахарози із відтоків, одержання утфелю.

Метою перероблення відтоків (видобування сахарози із відтоків) є максимальне вилучення з них сахарози та повернення її на I ступінь кристалізації для одержання білого цукру. Перший і другий відтоки, які одержані під час центрифугування утфелю I кристалізації, містять до 50 % сахарози, що надійшла у виробництво з буряками. Вказані відтоки використовуються для одержання утфелю II кристалізації.

II та III кристалізації

Утфель останньої кристалізації це за умов роботи кристалізаційного відділення по технологічній схемі з двома кристалізаціями, коли II кристалізація є останньою кристалізацією. Утфель II кристалізації уварюється з першого відтоку утфелю I кристалізації та афінаційного відтоку. Одержання утфелю другої – останньої кристалізації виключає всі етапи одержання утфелю III кристалізації.

На уварювання утфелю III кристалізації використовують відтік утфелю II кристалізації та афінаційний відтік, а також розчин, одержаний під час промивання сит центрифуг цього ж утфелю. Кристалізацію сахарози на останньому ступені проводять в два етапи. Спочатку утфель уварюють у вакуум-апаратах до вмісту сухих речовин 94–95 %, розбавляють водою для відновлення текучості (рухливості) продукту, а потім направляють у кристалізаційну установку, у якій при повільному охолодженні утфелю процес кристалізації сахарози продовжують. Відтоки, що вводяться у вакуум-апарати не повинні містити кристалів цукру, тому їх нагрівають перед вакуум-апаратами до 85 °С.

Мелясою називають відтік, одержаний під час центрифугування утфелю останньої кристалізації, який містить сахарозу, воду та більшість розчинних несахарозних речовин, що залишилися у дифузійному соку після

його очищення вапном та карбонатом кальцію і утворилися в результаті розкладу сахарози на наступних стадіях виробництва.

У цукровій промисловості меляса – побічна продукція, а для низки галузей харчової та комбікормової промисловості – цінною сировиною.

У вітчизняній цукровій промисловості застосовують два та три кристалізаційні схеми кристалізаційних відділень

Характерна особливість трикристалізаційної схеми – це те, що чистота утфелю завжди вище від чистоти сиропу, а характерною ознакою двокристалізаційної схеми є те, що чистота утфелю дорівнює чистоті сиропу або менша від неї. В умовах виробництва вона звичайно становить 88–89 %, тому, що двокристалізаційній схемі недостатньо для забезпечення низького вмісту сахарози в мелясі при переробці буряків високої якості й у зв'язку з цим виробники вимушені уварювати утфель I кристалізації нижчої чистоти.

Світове виробництво цукру становить близько 130 – 140 млн т, причому приблизно 65 % припадає на частку цукру із тростини і тільки 35 % – із цукрових буряків.

Цукор виробляється в 122 країнах. Із них у 71 країні цукор виробляється з цукрової тростини, у 31 – тільки із буряків і в 10 країнах – з буряків і тростини.

У світі нараховується 1650 цукротростинних і 950 цукробурякових заводів.

Тростинний цукор виробляється декількох видів: цукор-сирець, білий цукор, рафінований цукор і спеціальні цукри.

Ці цукри виробляються за технологією, що відрізняється від цукробурякового виробництва.

Культивування цукрової тростини поширене у країнах із тропічним і субтропічним кліматом, де вона є основною сировиною для одержання цукру.

Перевагою цукрової тростини як сировини є великий період збирання, що забезпечує велику тривалість її перероблення. Так, якщо виробничий сезон перероблення цукрових буряків у середньому 80–100 діб, то зі тростини в країнах Карибського басейну – приблизно 159, у Південній Африканській Республіці – 240, у Перу – майже 360 діб. Це дає можливість ефективніше використовувати виробничі потужності, зменшує накладні витрати.

Цукрова тростина порівняно з цукровими буряками є сировиною, що швидко псується. Зрублена цукрова тростина втрачає кожної доби 0,8 % сахарози. Тому її слід переробляти протягом 48 год після зрізувань. Це

зумовлено хімічним складом тростини. Переважне виробництво цукру з цукрової тростини пов'язане з низкою факторів, найважливішими із яких є :

- витрати на вирощування цукрової тростини, які приблизно на 20% нижчі, ніж цукрових буряків;
- сумарні виробничі витрати на вироблення тростинного цукру складають приблизно 70% витрат на виробництво бурякового цукру.

Завод по виробництву цукру-сирцю з цукрової тростини, так само як і бурякопереробний завод, можливо розділити на три відділення: тростиннопереробне, сокоочисне і кристалізаційне.

Принципова технологічна схема одержання цукру-сирцю на цукротростинному заводі показана рис. 5.1 і практично включає ті самі процеси, що використовуються в цукробуряковому виробництві:

- подрібнення сировини;
- вилучення соку з цукрової тростини;
- очищення соку;
- згущення очищеного соку до сиропу;
- кристалізація сахарози;
- сушіння цукру-сирцю.

З технологічного погляду при переробленні тростинного цукру-сирцю важливим є те, що основна маса несахарозних речовин знаходиться на поверхні кристалів, а частина несахарозних речовин, і в тому числі ВМС і барвних речовин – всередині кристалів у вигляді включення.

При переробленні цукрової тростини застосовуються практично такі ж технологічні процеси, але мають місце певні особливості у зв'язку зі специфічними особливостями цукрової тростини як сировини і отриманого з неї соку.

Опанувавши матеріал вміщений у *третьому томі (розділи 4, 5)*, студенти мусять досконало знати:

- роботу багатокорпусної випарної установки, шляхи зменшення витрат пари та палива, хімічні процеси зниження чи підвищення лужності середовища, утворення барвних речовин, виділення твердої фази солей та відкладання їх на поверхні нагрівання, шляхи запобігання небажаним процесам та умови забезпечення роботи випарної установки з одержанням сиропу зі заданим вмістом сухих речовин;

- теоретичні основи кристалізації сахарози, обґрунтування параметрів одержання утфелів шляхом випаровування розчинника – води, основи кристалізації сахарози за умов охолодження утфелю останньої кристалізації, сучасні способи одержання цукру білого та вилучення сахарози з відтоків з досягненням мінімального вмісту її в мелясі; розділення утфелів на цукор та

відтоки у різних типах центрифуг та вплив основних чинників на ефективність розділення утфелів;

- теоретичні основи сушіння цукру та ефективність використання різних типів сушарок;

- теоретичні основи сушіння цукру, апаратне оформлення, сушіння цукру, параметри;

- умови та особливості зберігання цукру білого зі збереженням якості цукру в складах у мішках та безтарно;

- способи очищення цукрових розчинів з використанням активованого вугілля та іонообмінних матеріалів у виробництві цукру-рафінаду, одержання утфелів для виробництва рафінадного цукру-піску та рафінадної кашки для виробництва пресованого цукру-рафінаду, одержання пресованого цукру-рафінаду різної міцності, вилучення сахарози з відтоків;

- основи виробництва цукру-сирцю з цукрової тростини, склад та зберігання цукру-сирцю, особливості перероблення цукру-сирцю зі зберіганням та розкладанням моносахаридів, вапнування та карбонізація сиропів цукру-сирцю, відокремлення твердої фази після карбонізації та вилучення сахарози з осаду;

- одержання білого цукру та вилучення сахарози з відтоків за умов перероблення цукру-сирцю.

Студенти володіючи певними знаннями, отримують уміння аналізувати причини низької ефективності окремих технологічних процесів, а також навик розробляти заходи щодо:

- збільшення тривалості роботи випарної установки без очищення поверхні нагрівання;

- підвищення якості білого цукру;

- зменшення втрат сахарози від розкладання в кристалізаційному відділенні;

- зменшення вмісту сахарози в мелясі;

- зменшення втрат сахарози у виробництві цукру-рафінаду;

- підвищення виходу цукру білого під час перероблення цукру-сирцю.

Практична значимість. Підручник у запропонованому авторами викладенні дає змогу студентам самостійно, що особливо важливо для заочної та дистанційної форм освіти, опанувати знаннями про складні технологічні процеси, насичені хімічними реакціями та масообмінними процесами, одержання дифузійного соку, очищення його, одержання сиропу та кристалічного цукру і досягнення мінімального вмісту сахарози в мелясі.

Особливо велика увага в підручнику приділяється сучасним розробкам вітчизняних та закордонних вчених, спрямованим на підвищення ефективності вирощування цукрових буряків та проведення окремих технологічних процесів і виробництва в цілому. Наслідком впровадження розробок у виробництво є підвищення чистоти клітинного соку буряків, підвищення ефекту очищення соку під час екстрагування сахарози з бурякової стружки та очищення дифузійного соку вапном і карбонатом кальцію. При цьому досягається зменшення втрат сахарози під час зберігання буряків та у виробництві, зменшення вмісту сахарози в мелясі, підвищення виходу цукру та зменшення витрат палива.

Претенденти:

д.т.н., професор кафедри технології цукру та підготовки води Національного університету харчових технологій

_____ ЛПЕЦ А.А.

д.т.н., професор кафедри технології цукру та підготовки води Національного університету харчових технологій

_____ ЛОГВІН В.М.

к.т.н., професор кафедри цукру та сахаридів Інституту післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

_____ СКОРИК К.Д.

д.т.н., професор, ректор Національного університету харчових технологій

_____ УКРАЇНЕЦЬ А.А.

Спадкоємець д.т.н., професора кафедри технології цукру та підготовки води Національного університету харчових технологій

_____ КУПЧИК Л.А.

