

ТЕХНОЛОГІЯ ЦУКРУ

План

1. Сировина для виробництва цукру.
2. Технологія виготовлення цукру.
3. Очищення сиропу.
4. Використання вторинної сировини при виготовленні цукру.

Цукор вважають одним із найважливіших високоякісних харчових продуктів. Він має високу харчову цінність, легко засвоюється організмом людини, швидко відновлює втрачену енергію, характеризується високою чистотою та приємним смаком.

Сировиною для виробництва цукру є цукрова тростина, цукрові буряки, цукрове сорго, цукровмісний клен та інші цукровмісні рослини. Перші три рослини мають найбільше промислове значення. Вміст цукру в цукровій тростині становить 12-15 % за врожайності 40-60 т/га, у цукрових буряках — понад 16-18 % за врожайності 25-30 т/га. Цукрове сорго за цими показниками приблизно відповідає цукровій тростині, а цукровий клен має цукристість тільки 5-6 %.

Основною сировиною для виробництва цукру в Україні, а також в Європі та інших країнах з помірним кліматом, є цукрові буряки. Як сировину цукрові буряки відкрив у 1747 р. німецький учений Маркграф. Перші 5 т цукру було вироблено в Україні — у 1825 р.

Технологія вилучення цукру із цукрової тростини полягає у збиранні, подрібненні, очищенні стеблин, відокремленні соку на потужних пресах із багаторазовим зневодненням віджатих стеблин. Після оброблення у стеблинах залишається не більше 5 % первинного вмісту цукру, і їх зразу спалюють. Тростинний сік обробляють вапном, фосфорною кислотою та сірчистим газом, фільтрують, випаровують і одержують сироп. Процес очищення сиропу подібний до такого процесу на цукробурякових заводах.

Вихід цукру із цукрової тростини досягає 8-12 % від маси стеблин.

Подібна технологія вилучення цукру може бути застосована для перероблення цукрового сорго.

Сучасні сорти буряків містять у середньому 17-20 % цукру, який має назву цукрози. Його хімічна формула $C_{12}H_{22}O_{12}$. Цукроза належить до групи вуглеводів. До цієї самої групи належать глюкоза, фруктоза, крохмаль та інші речовини, що становлять більшу частину (близько 70 %) харчування людини.

Цукор використовують безпосередньо у харчуванні та як сировину для багатьох харчових виробництв: кондитерського, хлібобулочного, консервного, виноробного тощо.

Коренеплід цукрового буряка — це потовщена частина кореневої системи, що має вигляд веретена і містить чимало поживних речовин. Значну частину маси коренеплоду становить вода — у середньому 75 %. З них 72 % — безпосередньо в соку, а 3 % — зв'язані з речовинами м'якоті буряка. Сухі речовини коренеплоду складаються із цукрози (найцінніша частина) і нецукрів.

Основна мета цукробурякового виробництва полягає у вилученні з буряка цукрози, надання їй товарного вигляду, використання інших складових частин коренеплоду в інших галузях промисловості та сільського господарства.

Зібрані на ланах буряки перевозять на завод, де їх зберігають на відведеній для цього площі — так званому кагатному полі. Катати — це довгі, трапецієподібної форми купи заввишки 3-5 м, завширшки 15-18 і завдовжки 50-100 м.

Укладання буряків у кагати здійснюється кагатоукладальними машинами. Кагати накривають солом'яними або очеретяними матами і засипають землею, щоб уберегти корені від приморозків та в'янення. З кагатного поля буряки надходять до залізобетонних бункерів, що вміщують 2-3-добовий запас сировини. Під дном бункера проходять жолоби гідравлічного транспортера, по яких буряки за допомогою води подаються на перероблення.

Відстань від ланів, на яких вирощують цукрові буряки, до заводу не повинна перевищувати 35-50 км.

Технологія виготовлення цукру

Оскільки солодкі корені швидко псуються, цукробурякове виробництво є сезонним і триває, як правило, 100-120 діб.

Технологічна схема виробництва цукру показана на рисунку 1.

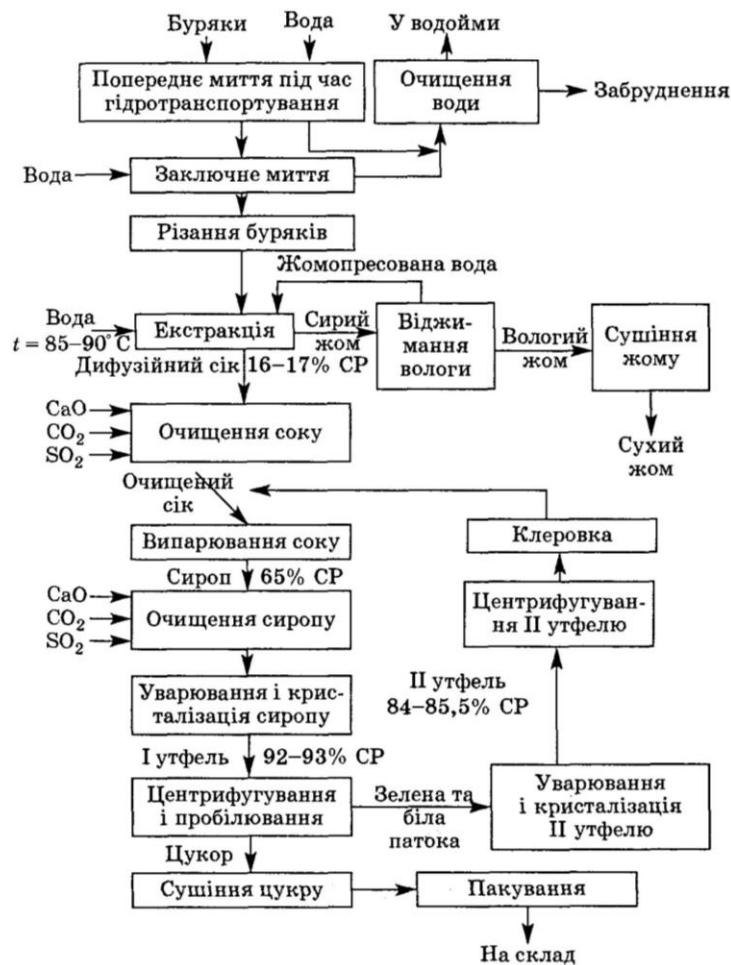


Рисунок 5.1 — Технологічна схема виробництва цукру

Основними технологічними операціями у виробництві цукру можна вважати:

- 1) вилучення цукру з буряків та 2) випарювання води до кристалізації цукру.
- Решта операцій — допоміжні.

Подають буряки на завод із кагатних майданчиків та з бурячних бункерів (бункери для 2-3-добового накопичення буряків) за допомогою гідравлічних транспортерів. Гідравлічні транспортери — жолоби зі сталі, бетону, цегли або

дерева, що мають нахил у бік переміщення буряків. Жолоби мають прямокутний переріз. Дно плоске із заокругленими кутами. Буряки, що надходять до жолобів, підхоплюються водяною течією. Домішки (гичка, солома, тріски, каміння) вилучаються за допомогою вловлювачів різних типів. Остаточне очищення буряків відбувається у мийних машинах. Буряки, що надходять безперервно, шнеком переміщуються до мийної частини горизонтальним валом, на якому розташовані по гвинтовій лінії била.

Обертами вала зі швидкістю 15-20 об/хв буряки переміщуються билами у ночвах до викидної частини. Ударами бил і взаємним тертям коренів буряки очищуються від бруду, піску та інших домішок, які провалюються крізь отвори у сітчастому дні мийки і збираються у трьох пісковловлювачах. Великі грудки вилловлюють двома вловлювачами. На валу викидної частини розташовані черпаки з пальчастими вирізами. Частота обертання вала — 6-8 об/хв. Лапи вибирають буряки з мийки, а вода проходить крізь отвори. Чисті буряки надходять до транспортного пристрою, де водночас здійснюється інспекція, а потім — до ваг. З метою вилучення із маси буряків феромагнітних домішок перед зважуванням потік буряків пропускають через магнітний сепаратор.

Вторинне використання транспортно-мийних вод для гідравлічного транспортування буряків або спускання у водойми можливе тільки після їх очищення. Очищення здійснюється у спеціальних відстійниках та інших більш складних очисних спорудах. Витрати води на миття змінюються залежно від забрудненості буряків.

Цукор, що міститься в буряках, вилучають екстракцією (дифузією).

Відповідно до закону Фіка, швидкість передачі маси прямо пропорційна поверхні контакту фаз і обернено пропорційна шляху (товщині стружки). Для прискорення процесу вилучення цукру збільшують поверхню дотику екстрагента (води) та буряків і зменшують товщину стружки під час подрібнення коренів буряків. Бурякова стружка має форму жолоба та пластин. Стружка у формі жолоба має ширину 4-5 і товщину 0,5-1,0 мм, у формі

пластин — ширину 2,5-3,0 і товщину 1,2-1,5 мм. Зрізування стружки здійснюють бурякорізками.

Буряки, що надходять до корпусу бурякорізки, обертаючи шнеком притискуються до ножів і ріжуться. Стружка, яка утворюється, спускною воронкою направляється до стрічкових або грабельних транспортерів, зважується на автоматичних вагах і надходить до дифузійних апаратів.

На перших етапах розвитку цукрової промисловості цукор із буряків вилучали вичавленням соку на пресах. Після промислового освоєння екстракторів стало економічно вигідним і екстракційне вилучення цукру гарячою водою у так званих дифузійних апаратах. Сучасні цукробурякові заводи обладнані дифузійними установками безперервної дії різних типів: одно- і двоколонні, нахилені, ротаційні, одно- і двопотокові дифузійні апарати. Застосування апаратів безперервної дії створює умови для повної автоматизації процесу, зменшує кількість обслуговуючого персоналу, скорочує витрати води, знижує втрати цукру.

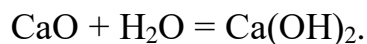
Із бурякопереробного відділення заводу дифузійний сік надходить до відділення очищення соку і підготовки його до випарювання. Дифузійний сік одержують у кількості 115-130 % маси буряків. Він містить 16-17 % сухих речовин і має слабкокислої реакцію (рН 6,0-6,5). 14-15 % сухих речовин припадає на частку цукрози, а решта — близько 2 % нерозчинні і розчинні нецукри. Нерозчинні нецукри мають вигляд решток клітковинних стінок, що скоагульовані білками. Розчинні нецукри, що наявні у дифузійному соку, ускладнюють кристалізацію цукрози і збільшують її втрати у відходах (мелясі).

Тому дифузійний сік повинен бути очищеним, тобто з нього мають бути вилучені завислі часточки і якомога більша кількість нецукрів.

Очищення дифузійного соку — складний комплекс операцій: оброблення соку гідратом окису кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, насичення вуглекислим газом CO_2 , відстоювання та фільтрація соку на фільтрпресах або вакуум-фільтрах, оброблення сірчистим газом SO_2 (сульфітація), відстоювання та

фільтрування. Цей складний процес, що кількаразово повторюється, проводять у різноманітних апаратах: теплообмінниках, сатураторах, сульфитаторах, відстійниках-декантаторах і фільтрах різноманітної конструкції.

Необхідні для оброблення соку CaO та CO₂ одержують у вапняній печі, в якій випалюється вапняк (CaCO₃), що розкладається за високої температури на CaO та CO₂. Одержане випалене вапно гаситься водою у барабанах. У цьому разі одержують вапняне молоко. Під час гасіння відбувається реакція:

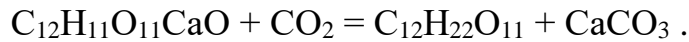


Під час оброблення вапном частина нецукрів утворює нерозчинні солі, які осідають, інші нецукри розкладаються вапном або коагулюють, а частина з них адсорбується на поверхні вуглекислого кальцію. На очищення витрачається близько 2,5 % CaO до маси буряків. Надлишок вапна осаджують вуглекислим газом. Для ослаблення забарвлення соку застосовують оброблення сірчистим газом, який одержують спалюванням сірки у спеціальних печах.

Сульфитація також знижує в'язкість соку і стерилізує його. Тривалість сульфитації — не більше 5 хв за температури соку 85-90 °С. Попри складне оброблення соку вдається вилучити приблизно лише 35-40 % цукрів, а решта переходить у відходи виробництва — мелясу. Наявність нецукрів у соку унеможлиблює вилучення всього цукру у чистому вигляді. Близько 2 % цукру переходить разом із нецукрами у мелясу. Вапно взаємодіє із соком у різноманітних напрямках. Із цукрозою вапно утворює розчинні у воді сполуки C₁₂H₂₂O₁₁CaO. Близько 15 % цукрози у очищеному соку міститься у формі моносахарату кальцію. Взаємодіючи з багатьма нецукрами дифузійного соку, вапно дає осад.

Кілька кислот (щавлева, лимонна, винна, фосфорна тощо) осаджуються. Вапно змінює кислу реакцію соку (рН 6,0-6,5) на лужну (рН 11), запобігаючи інверсії (розкладу) цукрози під час нагрівання соку. Для цього досить 0,3 %

CaO, але додають 2,5-3,0 % CaO для збільшення адсорбції барвників та поліпшення структури осаду. Густина вапняного молока повинна бути 1,19 кг/дм³, час очистки — 8-10 хв. Сатурація призначена для переведення вапна, яке міститься в дифузійному соку, в нерозчинний стан:



Під час пропускання сірчистого газу, що містить 12-15 % сірчистого ангідриду SO₂, одержують сірчисту кислоту:



яка є сильним відновником, а барвники стають безбарвними. Після закінчення сульфитації сік має слабку лужну реакцію (рН = 8,5). Час сульфитації — 1-5 хв. Сатуратори і сульфитатори є по суті адсорберами. Використовують і додаткові засоби для очищення дифузійного соку — кізельгур (адсорбент) та іонообмінні матеріали.

Типову технологічну схему очищення дифузійного соку можна коротко описати так. Очищений від пульпи сік подають у підігрівник, у якому він нагрівається до 85-90 °С, та додають частину недогазованого соку I сатурації, який містить 0,3-0,5 %, CaO або нормально відгазованого соку (0,08-0,1 % CaO).

Сік самопливом надходить у котел основної очистки, куди за допомогою дозатора додають вапняне молоко. Потім сік надходить у котел I сатурації, де обробляється вуглекислим газом до вмісту 0,08-0,10 % CaO. Частину нефільтрованого соку I сатурації насосом перекачують через підігрівник (температура 90-95 °С) на фільтрування. Після цього сік надходить до збірника та на контрольні серветкові фільтри.

Відфільтрований сік I сатурації, підігрітий до 100-102 °С у підігрівнику, насосом надходить у котел сатурації, де він обробляється CO₂ до лужності 0,01-0,25 %, потім він надходить на фільтри, збірник та контрольні серветкові фільтри. Відфільтрований сік II сатурації спрямовують у сульфитатор самопливом, сірчистий газ із сірчаної печі охолоджують у сублиматорі та

вентилятором подають у нижню частину сульфитатора. Потім сульфитований сік через напірний ящик направляють на випарювання.

Очищення сиропу

Густий сироп із концентрацією 65 % сухих речовин (СР) змішують із клеровкою (розчин жовтих цукрів), додають 0,10-0,15 % кізельгуру і подають на сульфитацію (до рН 7,5) до апарата зрошувального типу. Потім сік підігривають і фільтрують. Очищений сироп збирають у приймальних збірниках над вакуум-випарними апаратами. Очищення дифузійного соку і сиропу — достатньо складний процес, адже відбувається складна взаємодія різноманітних за хімічним складом продуктів. Осади вилучаються осадженням і фільтруванням в апаратах різноманітних конструкцій і типів: фільтрпресах, патронних, дискових, відцентрових, листових, пластинчастих фільтрах.

Відстійники застосовують здебільшого гравітаційні, багат шарові з шаром рідини заввишки 0,8 м і об'ємом близько 10 м³. На кожні 100 кг буряків, що надійшли на перероблення, одержують 120-130 кг очищеного соку з вмістом 15-16 % СР, з яких на частку цукрози припадає 14-15 %. Для відокремлення цукрози сік згущують до високої концентрації — 92,5-93,5 % СР. Згущення здійснюють упродовж двох стадій. Спочатку його випарюють у випарних апаратах до концентрації 65 % СР. Потім одержаний сироп додатково очищують, після чого уварюють у вакуум-апаратах до кінцевої концентрації сухих речовин.

Перша стадія згущення — випарювання — відбувається у багатокорпусних випарних установках (БВУ), які використовують принцип утилізації вторинної пари. Вторинна пара першого корпусу випарювання використовується для обігрівання другого корпусу і т. д. 1 кг пари, що надходить до першого корпусу, може випарювати в n-корпусній установці близько 4 кг води. Принцип утилізації вторинної пари дає змогу значно зменшити витрати пари на випарювання. Випарювання здійснюється у 3-, 4-, 5-корпусних випарних апаратах.

Очищений сироп надходить до вакуум-апаратів для остаточного випарювання. Утфель, одержаний після уварювання, містить 7-8 % води та близько 55 % цукру, який викристалізовується з маточного розчину.

Міжкристалічна рідина високої в'язкості містить усі нецукри сиропу і невикристалізований цукор. Уварювання сиропу і дотепер є періодичним процесом, який проводиться в апаратах із нагрівальною камерою. Уварювання проходить чотири стадії: згущення сиропу до високої концентрації (коефіцієнт насичення 1,20-1,25), утворення кристалів після введення до апарата затравки у вигляді цукрової пудри, нарощування кристалів і згущення утфелю до концентрації 92,5-93 %. Цикл роботи апарата триває 2,5-4,0 год. Утфель надходить до утфелемішалок, далі через утфелерозподільник — на центрифуги.

Для вилучення кристалів цукру з міжкристалічного розчину використовують фільтрувальні центрифуги періодичної або безперервної дії. У результаті центрифугування більша частина міжкристалічного розчину вилучається («зелений відтік»), але на поверхні утворюється невеликий шар міжкристалічної рідини, для вилучення якої шар кристалів промивають водою. У результаті цієї операції, що має назву пробілювання, одержують чистий цукор та відтік, або білу патоку.

Кристалічний цукор після центрифугування надходить до сушарок, а потім на склад для пакування.

Перероблення відтоку — патоки, що має назву зеленої, може бути здійснено різними способами (див. рис. 5.1). Зелена патока разом із білою, що містять значну кількість цукрози, надходять до вакуум-апаратів другого продукту (уварювання II утфелю), де знову уварюється до високої концентрації (84,0-85,5 % СР). Водночас цукроза кристалізується і одержаний утфель надходить на центрифугування. Одержаний на цьому етапі центрифугування так званий жовтий цукор надходить до клерувального змішувача. Тут він розчиняється сатураційним соком і надходить до випарників разом з очищеним сиропом. Відтік із центрифуг другого продукту

має назву меляси і є відходом цукробурякового виробництва. Процес розчинення продукту, що утворюється після центрифугування, можна багаторазово повторювати (клерування) і також багаторазово очищати, але витрати на процес одержання додаткової кількості цукру з кожним циклом зростають. На сучасних цукробурякових заводах використовується більш складна економічно обґрунтована трипродуктова схема перероблення зеленого відтоку. Продукт, одержаний після центрифугування III утфелю, називають бурим цукром.

Під час перероблення буряків одержують 4 % меляси, яка містить близько 80 % сухих речовин і 20 % води. До складу сухих речовин входить близько 50 % цукрози, решта — нецукри. Меляса є цінним продуктом і використовується як корм для худоби, сировина для виробництва спирту, дріжджів, молочної і лимонної кислот, харчового пектину тощо. Іншими залишками цукробурякового виробництва є буряковий жом, фільтр-пресний бруд, транспортно-мийні води. Буряковий жом використовують для відгодівлі худоби. Фільтр-пресний бруд може використовуватись як добриво для деяких видів ґрунтів. Транспортно-мийні води спрямовують на поля фільтрації. Мелясу переробляють переважно на спиртових заводах на харчовий спирт-ректифікат, технічний спирт-біопаливо.

Використання вторинної сировини при виготовленні цукру

Асортимент продукції цукрових заводів України обмежений, здебільшого, випуском кристалічного цукру-піску. Водночас у розвинених країнах випускають жовтий цукор, жовтий рафінад, кольоровий цукор та інші види спеціальних цукрів. Жовтий цукор містить у собі, крім цукрози, значну кількість корисних нецукрів-амінокислот, оксикислот, макро- і мікроелементів та інших речовин, необхідних для повноцінного харчування людини. До того ж, собівартість його нижча за собівартість білого цукру і у разі забезпечення відповідної якості цей продукт знайде споживача.

Особливе значення для розширення асортименту продукції цукрових заводів має організація випуску рідких цукропродуктів, надзвичайно цінних для трансформації біологічно активних речовин в організмі людини. Але рідкі цукропродукти, на жаль, в Україні не випускаються.

З погляду фахівців, виробництво рідких цукропродуктів із сиропу з випарної станції дасть змогу створити безмелясну технологію, за якою близько 2,5% цукрози, що втрачається з мелясою, буде залишатися в готовому продукті і продаватися споживачам за вартістю цукру. До того ж, значно зменшаться витрати на вантажно-розвантажувальні роботи.

Заслуговує на увагу технологія очищення меляси для використання її у мікробіологічному виробництві амінокислот та інших продуктів.

Підвищення культури цукробурякового виробництва дасть змогу не лише зменшити втрати цукрози, а й одержати цукор високої мікробіологічної чистоти, оскільки цих вимог уже давно дотримуються на світовому ринку.

Контрольні запитання

1. Яку сировину використовують для виробництва цукру? Охарактеризуйте її хімічний склад.
2. Охарактеризуйте принципово-технологічну схему виробництва цукру.
3. З якою метою сік обробляють вапном?
4. Охарактеризуйте процес випарювання соку та утворення сиропу.
5. Як вилучити кристали цукру з міжкристалічного розчину?
6. У чому полягає раціональне використання відходів цукрових заводів?