

В. М. ПРИЙМАК

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМ- КОНТРОЛЬ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

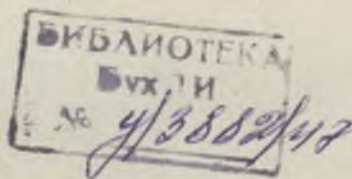




В. М. ПРИЙМАК

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМ- КОНТРОЛЬ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Допущено Министерством пищевой промышленности СССР в качестве учебника для техникумов пищевой промышленности



МОСКВА
«ЛЕГКАЯ И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1981

ББК 36.84
П 75
УДК 664.1+658.562 (075)

Приймак В. М.
П75 Технология и технoхимкoнтрoль сахарнoгo прoизвoдст-
ва. — М.: Легкая и пищевая прoм-сть, 1981. — 240 с.

В пер.; 65 коп.

В учебнике приведены характеристика сырья (сахарной свеклы и сахара-сырца из тростника) и технологические схемы получения сахара. Освещены теоретические основы технологических процессов свеклосахарного и сахарорафинадного производств, показано их аппаратное оформление. Большое внимание уделено химическим и физико-химическим процессам, протекающим в производстве, и технoхимическoму кoнтрoлю их. Изложены основные принципы организации производства.

Предназначен для учащихся техникумов, специализирующихся по технологии сахара и сахаристых веществ.

31707—013
П 044(01)—81

13—81 (П. П.)

2907000000

ББК 36.84
6П8.3

Рецензенты: Смелянский техникум пищевой промышленности (ГРОХОВСКИЙ А. А.), Сумской техникум сахарной промышленности (ДУМАНЧУК Л. М.), Московский заочный техникум пищевой промышленности (ГРИГОРЬЕВА Г. В.), СТЕМПКОВСКИЙ В. И. (Главсахар Минпищепрома СССР)

ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ ПРИЙМАК

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМКОНТРОЛЬ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор И. П. Вейшторд
Художник А. Е. Григорьев
Художественный редактор В. А. Чуракова
Технический редактор Г. Б. Жарова
Корректоры Е. А. Постникова и Т. М. Родичева

ИБ № 1360

Сдано в набор 11.07.80. Подписано в печать 4.03.81. Т-01099. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 15 п. л. Усл. п. л. 15. Усл. кр.-отг. л. 15,125. Уч.-изд. л. 17,31. Тираж 6000 экз. Заказ 640. Цена 65 коп.

Издательство «Легкая и пищевая промышленность»,
113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль,
ул. Свободы, 97.

© Издательство
«Легкая и пищевая промышленность», 1981 г.

Среди отраслей, обеспечивающих неуклонный рост материального благосостояния и удовлетворение потребностей советского народа, существенная роль принадлежит пищевой промышленности, являющейся материально-технической базой производства продуктов питания.

Сахарная промышленность СССР — одна из ведущих отраслей пищевой промышленности — за годы Советской власти превратилась в крупнейшую отрасль пищевой индустрии. В настоящее время она вырабатывает более $\frac{1}{3}$ всей мировой сахарной продукции и имеет четко выраженную тенденцию дальнейшего развития.

Углеводы составляют 67% в пищевом рационе человека и являются основным источником энергии для его организма. В суточном рационе суммарная калорийность углеводов составляет около 55%. Благодаря ценным пищевым, вкусовым и физиологическим свойствам сахароза (сахар) наряду с главным углеводом (крахмалом) является пищевым продуктом первой необходимости.

Источником получения пищевых углеводов является растительное сырье. Все растения, используемые для промышленного получения пищевых углеводов, могут быть условно разделены на сахаро-, крахмало- и инулиносы.

К сахароносам принадлежат растения, из которых вырабатывается или может вырабатываться сахароза. К несвекловичным сахароносам относятся сахарный тростник, сахарное сорго, сахарный клен, сахарные пальмы, рожковое дерево.

Для получения крахмала используются главным образом картофель, кукуруза, рис. Кислотным гидролизом крахмала получают крахмальную патоку, из которой вырабатывают кристаллическую глюкозу. При осахаривании крахмала солодом получают мальтозную патоку. Все продукты осахаривания крахмала имеют высокую питательную ценность и находят широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности (например, в кондитерской).

К инулиносам относятся цикорий и топинамбур, из которых извлекают инулин и гидролизуют его для получения фруктозы.

Производство и потребление сахара было известно в глубокой

древности. Сырьем для получения сахара служил сахарный тростник.

С сахаром древняя Греция, а потом и Рим познакомились после похода Александра Македонского в Индию и дали ему название «тростниковый мед» (*mel agundinaceum*). Дальнейшему распространению сахара как пищевого продукта способствовали арабы.

После открытия Америки культура сахарного тростника была завезена на Ангильские острова (Куба, Пуэрто-Рико), а также в Мексику, Бразилию. Экспорт сахара из этих стран в Европу сделался одним из факторов развития морской торговли между Америкой и Европой. Нехватка импортируемого тростникового сахара и высокая его цена способствовали в европейских странах поискам других источников получения сахара.

В 1747 г. немецкий химик Маргграф открыл, что тростниковый сахар содержится также в различных сортах белой свеклы. Это открытие сразу практического применения не получило, так как Европа была обеспечена привозным тростниковым сахаром. Только через 50 лет (в 1797 г.) работу Маргграфа продолжил немецкий химик Ахард. В 1799 г. Ахард получил первый свекловичный сахар в количестве 4 кг.

Приблизительно с 1830 г. в Европе свеклосахарное производство вступило на путь непрерывного и интенсивного развития.

В документах Руси первое упоминание о тростниковом сахаре как о «заморском товаре» встречается в XIII в.

Первый кустарный завод по получению сахара из тростникового сахара-сырца по указу Петра I был построен в Петербурге в 1719 г. В 1723 г. такие же заводы были построены в Москве, Риге и Одессе. В середине XVIII в. в России было уже известно об открытии Маргграфа.

Первым организатором свеклосахарного производства в России был Яков Степанович Есипов, который одновременно с Ахардом занимался в подмосковном селе Никольском подбором сорта свеклы, содержащего наибольшее количество сахара, и разработкой способа получения из нее сахара. В 1802 г. было организовано промышленное получение сахара одновременно в России Я. С. Есиповым и в Германии (Пруссии) — Ахардом. По производству свекловичного сахара дореволюционная Россия занимала второе (после Германии) место в мире.

Отечественные ученые, инженеры и рабочие сахарной промышленности внесли существенный вклад в развитие и совершенствование техники свеклосахарного производства. Крупным достижением в технике сахароварения было применение в 1852 г. на Балаклеевском сахарном заводе способа варки утфеля «на кристалл» (А. Федосеев и И. Фоменко). На том же заводе в 1854 г. был применен по предложению М. А. Толпыгина метод закожушной пробелки утфеля паром.

В 1862 г. Д. И. Менделеев опубликовал работу по «оптической сахарометрии», в которой отметил важность этого метода для сахарного производства. В 1898 г. Абрагам разработал конструкцию

фильтр-пресса, который нашел широкое применение на отечественных и зарубежных сахарных заводах.

Известны также поиски отечественных сахаротехников в деле конструирования непрерывнодействующей аппаратуры. Сюда относятся работы по созданию непрерывнодействующего диффузионного аппарата Чапиковским, Абрагамом и др.

В 1889 г. Щениовский и Пионтковский впервые предложили для фуговки сахара непрерывнодействующую центрифугу.

В 1907 г. на Мироновском сахарном заводе Овсянников применил батарейную кристаллизацию утфеля последнего продукта, используемую по настоящее время, а в 1910—1912 гг. — непрерывную сатурацию.

После революции сахарная промышленность России — 199 работоспособных сахарных заводов — декретом СНК от 2 мая 1918 г. была национализирована. Коллективизация сельского хозяйства позволила укрепить сырьевую базу сахарной промышленности.

В период Великой Отечественной войны сахарные заводы основных сахаропроизводящих районов были разрушены врагом.

В первой послевоенной пятилетке были восстановлены разрушенные сахарные заводы, построен ряд новых. Современные сахарные заводы являются крупными высокомеханизированными и в значительной степени автоматизированными предприятиями социалистического типа.

Прогрессу в отечественной сахарной промышленности способствовали исследования М. Д. Зуева, И. А. Тищенко, И. А. Кухаренко, П. М. Силина, П. В. Головина, Н. Е. Логинова, С. З. Иванова и др. Известны работы по теоретическому обоснованию процессов очистки П. М. Силина, А. К. Карташова и др. Значительны достижения работников советской сахарной промышленности в создании новых конструкций машин.

Большой вклад в развитие техники сахарной промышленности внесли работники Всесоюзного научно-исследовательского института сахарной промышленности (ВНИИСП) Минпищепрома СССР.

Свеклосахарная промышленность является отраслью, географическое размещение которой зависит от расположения ее сырьевой базы. При этом важнейшими факторами, определяющими эффективность развития и размещения промышленного свеклосаения и сахарной промышленности, являются почвенно-климатические условия района, обеспеченность его трудовыми ресурсами, транспортом, себестоимость производства и доставки сахара в район потребления и т. д. При размещении новых сахарных заводов необходимо тщательно выбирать районы, обеспечивающие высокую экономическую эффективность производства без ущерба для сырьевой базы других отраслей пищевой промышленности.

В настоящее время возделыванием сахарной свеклы и производством сахара в СССР занимаются 10 союзных республик: РСФСР, УССР, БССР, Казахская ССР, Грузинская ССР, Литовская ССР, Молдавская ССР, Латвийская ССР, Киргизская ССР и Армянская ССР.

образующиеся из почки. С появлением второй пары листьев начинается утолщаться корешок свеклы, постепенно образуется корнеплод.

В начале вегетационного периода наибольшее развитие получает листовой аппарат свеклы, а в конце — корнеплод. Содержание сахара в свекле возрастает в течение всего вегетационного периода.

На второй год из высаженного корнеплода развивается розетка листьев, как и у свеклы первого года, а несколько позднее — цветоносные побеги, образующие куст высотой 1,0—1,5 м. Цветение начинается с середины июня и продолжается 20—40 дней.

Небольшой процент растений в некоторых местах возделывания свеклы дает цветоносный стебель в первый же год жизни — «цветуха». Корнеплоды «цветухи» волокнисты и содержат меньше сахара, чем корнеплод первого года развития свеклы.

Строение корнеплода свеклы

Корнеплод свеклы обычно имеет коническую форму. С двух сторон расположены по спирали углубления — бороздки. Из этих углублений растут тонкие корешки с корневыми волосками, через которые растение получает из почвы влагу и комплекс питательных веществ. Растворы питательных веществ движутся внутри корнеплода свеклы по сосудисто-волокнистым пучкам к листьям, по другим пучкам поступают в корень образовавшиеся в листьях моносахариды. Сосудисто-волокнистые пучки расположены кольцеобразно в плоскости поперечного сечения корня. Таких колец бывает 10 и более. Чем их больше, тем сахаристее свекла.

Корень состоит из микроскопических клеток различных видов, которые образуют клеточную ткань.

Наружная кожица свеклы — перидерма состоит из плотных, непроницаемых для влаги клеток. Далее внутрь корня идут ткань коры, затем волокнистая ткань и, наконец, основная паренхимная ткань из продолговатых клеток, содержащая в своих вакуолях главную массу сахаристого сока свеклы.



Рис. 1. Клетка паренхимы свеклы:
1 — ядро; 2 — сок;
3 — протоплазма; 4 —
клеточная стенка.

Клетка паренхимы свеклы (рис. 1) имеет оболочку, или клеточную стенку, состоящую из целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновых веществ. Внутри клетки расположена протоплазма с ядром.

Ядро клетки состоит в основном из нуклеиновых кислот и является носителем наследственности.

Протоплазма состоит в основном из белковых веществ и содержит тела — пластиды, выполняющие важные физиологические функции. Внутри каждой клетки протоплазма охватывает вакуоль — внутреннее пространство клетки, заполненное клеточным соком, т. е. водным раствором сахарозы и комплексом различных несахаристых веществ.

От сокового пространства и от клеточной стенки протоплазма отделена полупроницаемой пленкой (гиалиновый слой) с избирательной пропускающей способностью. Основной составной частью гиалинового слоя протоплазмы является белок, который денатурируется при воздействии на клетку тепла, щелочи или кислоты, что делает протоплазму проницаемой для всех веществ клеточного сока.

Рост тканей обусловлен делением клеток. При этом клеточное ядро и протоплазма распределяются на две равные части, разделяемые образующейся срединной пластинкой.

Клетки в зрелом корне отделены друг от друга и образуют межклеточное пространство в виде системы каналов, простирающихся до наружной поверхности корня. Каналы служат для газообмена клеток с атмосферным воздухом при дыхании.

Свекловичный лист с верхней и нижней сторон защищен от потери влаги и проникновения микроорганизмов эпидермисом. Регулирование газового и водного баланса растения осуществляется посредством открытия и закрытия щелевидных отверстий (устийц), расположенных в защитном слое. Устьица соединены с межклеточным пространством листа. К эпидермису примыкает паренхимная ткань листа, насыщенная хлорофиллом. В паренхиме листа расположены сосудистые пучки, по которым к свекловичному корню транспортируются продукты ассимиляции, а к листьям — вода и питательные вещества. Кроме того, сосудистые пучки придают листьям прочность.

Сахар в корне распределяется неравномерно. Наибольшее содержание сахара в центральной части корня, минимальное — в головке корня и немногим больше, чем в головке, — в хвостике. Размер корня не всегда определяет его низкую или высокую сахаристость.

Процесс образования сахара в свекле

Углевод сахара в клетках листа образуется в результате фотохимического процесса ассимиляции (assimilatio). Исходными веществами процесса являются диоксид углерода CO_2 , поступающий из воздуха, и вода, поступающая из почвы. Работами К. А. Тимирязева установлена роль лучистой энергии солнца и хлорофилла в процессе усвоения растением CO_2 .

При ассимиляции CO_2 образуется в качестве промежуточного продукта формальдегид CH_2O , который конденсируется в моносахариды гексозы. Молекула моносахарида образована из 6 молекул формальдегида.

По современным представлениям фотохимическая реакция образования моносахарида состоит из двух процессов:

1 — фотохимическое разложение воды под действием водородного акцептора X : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{X} \rightarrow 2(\text{X} \cdot 2\text{H}) + \text{O}_2 \uparrow$. При этом установлено, что присоединение водорода к акцептору X может осуществляться только под действием солнечной световой энергии;

2 — восстановление CO_2 за счет энергии, полученной при фотоллизе воды; этот процесс не требует солнечной энергии и может протекать в темноте: $\text{CO}_2 + 2(\text{X} \cdot 2\text{H}) \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{X}$.

В общем виде реакция образования моносахаридов осуществляется по уравнению $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 0,9 \text{ кДж} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \uparrow$.

В листе происходят взаимные превращения гексоз (глюкозы во фруктозу и др.) и при участии ферментных систем — переход гексоз в дисахарид сахарозу и в незначительном количестве — в крахмал и декстрины. Часть гексоз идет на образование и рост клеточных тканей и используется корнем как материал для дыхания. Сахароза, синтезирующаяся в листьях, транспортируется по сосудистой системе в корень, где и накапливается.

Прогрессивная технология возделывания сахарной свеклы

Технология возделывания свеклы включает прореживание всходов, довсходовое и послеवсходовое боронование, внесение гербицидов для борьбы с сорняками, 2—3-кратное лущение стерни или осеннюю обработку почвы, очистку корней при уборке. Наиболее трудоемкими в этом комплексе мероприятий являются прореживание всходов и очистка корней при уборке. Для снижения затрат труда, в особенности ручного, операции, входящие в комплекс мероприятий, механизмируются, что в конечном итоге позволяет снизить стоимость сырья и соответственно себестоимость сахара-песка, повысить эффективность всего свеклосахарного производства.

В настоящее время применяют единую технологию с различными агротехническими приемами в зависимости от условий — зональных, почвенных, метеорологических, организационно-хозяйственных и др. В понятие прогрессивной технологии входит также механизированная уборка свеклы поточным или поточно-перевалочным способом без ручной доочистки корней.

Высокая эффективность поточного способа уборки свеклы в сочетании с перевалочным доказана не только научными опытами, но и хозяйственной практикой.

Для уборки свеклы применяют трехрядные (СКЕМ-3) и шестирядные (КС-6) свеклокомбайны, которые направляют убранный свеклу непосредственно в кузов движущейся рядом автомашины — поточный метод уборки. Таким методом звеньевой механизированного звена свекловодов Кубанского НИИ испытания сельскохозяйственных машин Герой Социалистического Труда В. А. Светличный добился высоких результатов: минимальное использование ручного труда позволило сократить время на получение 1 ц свеклы до 9,2 мин. В настоящее время на производство 1 ц свеклы затрачивается в колхозах в среднем 0,25 чел.-дня, а в звеньях комплексной механизации — 0,09—0,13 чел.-дня.

Для получения высоких показателей на всем конвейере — от свекловичного поля до сахарного завода, перерабатывающего сырье, — разрабатывается единый комплексный план уборки, заго-

товки, хранения и переработки сахарной свеклы. Все это позволяет получать в передовых хозяйствах до 500 ц свеклы с 1 га и вырабатывать из нее до 40 ц и более сахара.

Вредители и болезни свеклы

Вредители уничтожают значительную часть урожая, повреждая корнеплоды, листья и семена. На поврежденных растениях легко развиваются гнили.

Основным условием успешной борьбы с вредителями являются осенние и весенние обследования почвы для выявления мест накопления главных вредителей и систематические наблюдения за сроками их появления и развития.

Из предупредительных мероприятий важно систематически проводить глубокую зяблевую вспашку, ранний посев свеклы по хорошо обработанной почве, своевременно вносить удобрения, систематически уничтожать сорняки, собирать и уничтожать все остатки растений после уборки урожая, проводить севооборот с правильным чередованием культур.

Долгоносик обыкновенный (*Bothynoderes punctiventris* Germ.) — серовато-бурый жук длиной 10—16 мм. Весной питается сорняками, а затем переходит на свеклу. Для борьбы с ним необходимо своевременно выполнять полный комплекс агротехнических мероприятий, вносить перед культивацией почвы или одновременно с посевом 25%-ный раствор гексахлорана из расчета 40—60 кг/га в смеси с минеральными удобрениями и др.

Озимая совка (*Agrotis segetum* Schiff) — гусеница светлая с более темными полосами вдоль тела длиной 36—40 мм. Для борьбы с ней растения обрабатывают 12%-ным раствором гексахлорана или его эмульсией (125—150 г 20%-ного концентрата на 10 л воды).

Свекловичный клоп (*Polciloscytus sognatus* Fieb) — клоп длиной 3,5—5 мм, черновато-серый с желтым рисунком. Для уничтожения его свеклу также обрабатывают гексахлораном (15—20 кг/га).

Свекловичная тля (*Aphis fabal* Scop.) — мелкие, около 2 мм, насекомые черного цвета с зеленоватым оттенком. Для борьбы с ней растения опрыскивают раствором анабазинсульфата (10 г 30%-ного яда и 40 г мыла) или никотинсульфата (7 г 40%-ного яда и 40 г мыла) и др.

Болезни могут поражать различные части растения: листья, черешки, корни, что приводит к значительному снижению урожая.

Основой защиты растений от заболеваний должны быть предупредительные мероприятия, обеспечивающие искоренение первичной инфекции, — дезинфекция семян, плодосемян с применением правильного севооборота, приводящего к подавлению болезней и заболеваний, опрыскивание для предупреждения развития болезней.

Церкоспороз (*Cercospora beticola* Sacc) — болезнь прояв-

ляется с июля и до осени на листьях, черешках в виде мелких пятен диаметром 2—4 мм (иногда до 1 см) пепельно-серого цвета. Во влажную погоду на пятнах образуется серый налет, и ткань отмирает. Для борьбы с болезнью растения опрыскивают 1%-ным раствором бордосской жидкости (3—4 раза), систоксом (0,1—0,2%-ным раствором) или хлорокисью меди (во влажные теплые дни).

Мозаичность — болезнь, вызываемая вирусом. Проявляется на листьях в виде мраморного или мозаичного рисунка из темно-зеленых и светлых водянистых пятен. Заболевшие растения удаляют с поля и уничтожают вместе с переносчиками болезни.

Ложная мучнистая роса (*Peronospora schachtii* Fuck) — поражает наиболее молодые листья в центре розетки. Для предупреждения заболевания семена протравливают гранозаном; больные растения уничтожают.

Серая гниль — болезнь, вызываемая грибом *Botrytis cinerea* Pers. На головке или местах ранений корня развивается ватоподобная грибница белого, а затем серого или темно-серого цвета. Для борьбы с заболеванием принимают меры по предохранению корней от ранений, подвяливания и подмораживания.

Корнеед (грибы *Pythium de Baryanum* Hesse и *Phoma betal* Frank) — поражает корешок свеклы в самой ранней стадии, вызывая появление черных пятен и полосок загнившей ткани. Для предупреждения болезни семена протравливают гранозаном (4 г на 1 кг семян) или формалином с последующим их замачиванием и подсушиванием.

Глава II. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Общий состав сахарной свеклы

Состав корня свеклы изменяется в зависимости от сорта, почвенно-климатических условий, агротехники, условий хранения и т. д.

Обычно средний состав сахарной свеклы следующий (в %): вода — 75, сухие вещества (СВ) — 25, в том числе сахароза — 17,5, несахара — 7,5. Несахара находятся как в соке (2,5%), так и в мякоти (5%). В свою очередь несахара сока состоят из азотистых органических веществ (1,1%), безазотистых органических (0,9%) и минеральных веществ (0,5%).

Знание химического состава и свойств отдельных компонентов сахарной свеклы необходимо для понимания физико-химических процессов свеклосахарного производства.

КЛЕТОЧНЫЙ СОК

Сок, заполняющий вакуоли клеток, представляет собой водный раствор сахарозы и несахаров.

Количество сока, которое можно получить из той или иной мас-

сы свеклы, рассчитывается следующим образом. Количество сахара (сахаристость — C) и содержание его в отжатом клеточном соке Cx определяют путем анализа. Например, содержание сахара в свекле 17,5%, в клеточном соке — 19,0%. Тогда содержание сока x в свекле составляет: $x = 17,5 : 19,0 \cdot 100 = 92,1\%$. Это так называемый «соковый коэффициент» свеклы C_k ($C_k = C \cdot 100 : Cx$).

Реакция сока кислая и колеблется в пределах рН 5,8—6,7 (при 20°C).

МЯКОТЬ И СВЯЗАННАЯ ВОДА

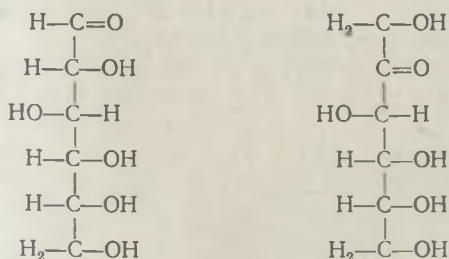
Путем промывания навески тонко измельченной свеклы и высушивания отмытого остатка определяют количество мякоти, содержание которой в свекле в среднем составляет 5%. Кроме сухой мякоти и сока в свекле содержится так называемая связанная вода, которую называют «имбиционной» или «коллоидной водой». Количество ее составляет $100 - (5,0 + 92,1) = 2,9\%$.

Эта вода не находится в соке и удерживается несахарами мякоти силами притяжения, возникающими между поверхностью мякоти и молекулами воды. Эта вода не замерзает, является плохим растворителем, обладает высокой плотностью, трудно испаряется и трудно отпрессовывается.

САХАРОЗА

Как уже было сказано, в свекле содержится приблизительно 25% сухих веществ, из них 17,5% сахарозы.

Сахароза является основным веществом, участвующим в процессе свеклосахарного производства. Она представляет собой дисахарид. Эмпирическая формула сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$. Молекула сахарозы состоит из двух молекул моносахаридов: *d*-глюкозы и *d*-фруктозы:



Сахароза хорошо растворима в воде. С повышением температуры растворимость ее увеличивается: если при 0°C в 1 части воды растворяется 1,792 части сахара, то при 50°C — 2,614.

В чистых (безводных) этиловом и метиловом спиртах сахароза не растворяется. В водно-спиртовых растворах при понижении их концентрации растворимость сахарозы увеличивается.

ляется с июля и до осени на листьях, черешках в виде мелких пятен диаметром 2—4 мм (иногда до 1 см) пепельно-серого цвета. Во влажную погоду на пятнах образуется серый налет, и ткань отмирает. Для борьбы с болезнью растения опрыскивают 1%-ным раствором бордосской жидкости (3—4 раза), систоксом (0,1—0,2%-ным раствором) или хлорокисью меди (во влажные теплые дни).

Мозаичность — болезнь, вызываемая вирусом. Проявляется на листьях в виде мраморного или мозаичного рисунка из темно-зеленых и светлых водянистых пятен. Заболевшие растения удаляют с поля и уничтожают вместе с переносчиками болезни.

Ложная мучнистая роса (*Peronospora schachtii* Fuck) — поражает наиболее молодые листья в центре розетки. Для предупреждения заболевания семена протравливают гранозаном; больные растения уничтожают.

Серая гниль — болезнь, вызываемая грибом *Botrytis cinerea* Pers. На головке или местах ранений корня развивается ватоподобная грибница белого, а затем серого или темно-серого цвета. Для борьбы с заболеванием принимают меры по предохранению корней от ранений, подвяливания и подмораживания.

Корнеед (грибы *Pythium de Baryanum* Hesse и *Phoma betal* Frank) — поражает корешок свеклы в самой ранней стадии, вызывая появление черных пятен и полосок загнившей ткани. Для предупреждения болезни семена протравливают гранозаном (4 г на 1 кг семян) или формалином с последующим их замачиванием и подсушиванием.

Глава II. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Общий состав сахарной свеклы

Состав корня свеклы изменяется в зависимости от сорта, почвенно-климатических условий, агротехники, условий хранения и т. д.

Обычно средний состав сахарной свеклы следующий (в %): вода — 75, сухие вещества (СВ) — 25, в том числе сахароза — 17,5, несахара — 7,5. Несахара находятся как в соке (2,5%), так и в мякоти (5%). В свою очередь несахара сока состоят из азотистых органических веществ (1,1%), безазотистых органических (0,9%) и минеральных веществ (0,5%).

Знание химического состава и свойств отдельных компонентов сахарной свеклы необходимо для понимания физико-химических процессов свеклосахарного производства.

КЛЕТОЧНЫЙ СОК

Сок, заполняющий вакуоли клеток, представляет собой водный раствор сахарозы и несахаров.

Количество сока, которое можно получить из той или иной мас-

сы свеклы, рассчитывается следующим образом. Количество сахара (сахаристость — C) и содержание его в отжатом клеточном соке Cx определяют путем анализа. Например, содержание сахара в свекле 17,5%, в клеточном соке — 19,0%. Тогда содержание сока x в свекле составляет: $x = 17,5 : 19,0 \cdot 100 = 92,1\%$. Это так называемый «соковый коэффициент» свеклы C_k ($C_k = C \cdot 100 : Cx$).

Реакция сока кислая и колеблется в пределах рН 5,8—6,7 (при 20°C).

МЯКОТЬ И СВЯЗАННАЯ ВОДА

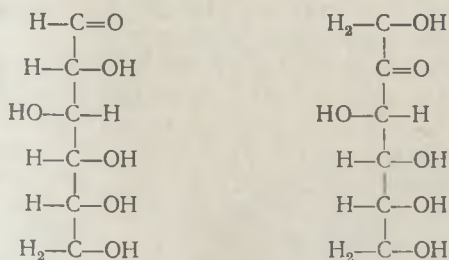
Путем промывания навески тонко измельченной свеклы и высушивания отмытого остатка определяют количество мякоти, содержание которой в свекле в среднем составляет 5%. Кроме сухой мякоти и сока в свекле содержится так называемая связанная вода, которую называют «имбиционной» или «коллоидной водой». Количество ее составляет $100 - (5,0 + 92,1) = 2,9\%$.

Эта вода не находится в соке и удерживается несахарами мякоти силами притяжения, возникающими между поверхностью мякоти и молекулами воды. Эта вода не замерзает, является плохим растворителем, обладает высокой плотностью, трудно испаряется и трудно отпрессовывается.

САХАРОЗА

Как уже было сказано, в свекле содержится приблизительно 25% сухих веществ, из них 17,5% сахарозы.

Сахароза является основным веществом, участвующим в процессе свеклосахарного производства. Она представляет собой дисахарид. Эмпирическая формула сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$. Молекула сахарозы состоит из двух молекул моносахаридов: *d*-глюкозы и *d*-фруктозы:



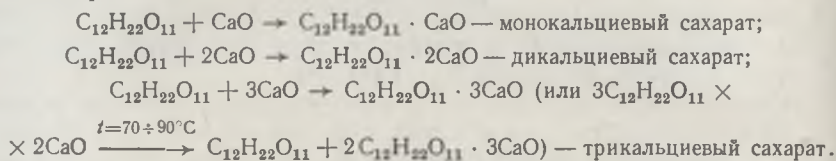
Сахароза хорошо растворима в воде. С повышением температуры растворимость ее увеличивается: если при 0°C в 1 части воды растворяется 1,792 части сахара, то при 50°C — 2,614.

В чистых (безводных) этиловом и метиловом спиртах сахароза не растворяется. В водно-спиртовых растворах при понижении их концентрации растворимость сахарозы увеличивается.

Под влиянием биологически активных веществ (ферментов) или кислот сахаразы в растворе подвергается гидролизу с образованием глюкозы и фруктозы. Этот процесс называется инверсией, а полученная смесь моносахаридов — инвертным сахаром. Полученная смесь вращает плоскость поляризации влево (—), так как левое вращение фруктозы ($-93,2^\circ$) больше правого вращения глюкозы ($+52,5^\circ$).

Инверсия является нежелательным процессом в свеклосахарном производстве. Разложение сахаразы при нагревании в щелочной и нейтральной средах происходит в результате автокаталитической реакции, т. е. реакции, протекающей под влиянием продукта реакции, играющего роль катализатора. В автокаталитическом гидролизе сахаразы роль катализатора выполняют водородные ионы (и, следовательно, pH). Величина pH продуктов свеклосахарного производства имеет прямо пропорциональную зависимость от температуры. При ведении технологического процесса величину pH поддерживают на определенном уровне, рассчитанном по формуле $pH_t = pH_{20} - K(t - 20)$, где pH_t — величина pH продукта при технологической температуре $t^\circ\text{C}$; pH_{20} — величина pH продукта, измеренная при 20°C ; K — температурный коэффициент изменения pH продукта ($K = \Delta pH / \Delta t$).

В присутствии щелочей сахаразы образует сахараты: соли стронция, бария и кальция. Техническое значение имеют кальциевые сахараты:



Реакцию образования труднорастворимого трикальциевого сахарата используют для практического извлечения сахаразы из мелассы, добавляя избыток извести. Моно- и дикальциевые сахараты образуются в процессе основной дефекации.

Для характеристики качества соков в сахарном производстве используется понятие чистота, или доброкачественность ($Дб$) продукта, т. е. процентное содержание сахаразы в растворенном сухом веществе. Для раствора чистой сахаразы $Дб = 100\%$. Клеточный сок (92,1 кг, полученный из 100 кг свеклы), содержащий 20 кг СВ (17,5 кг сахаразы и 2,5 кг растворенных несахаров), или $20 \cdot 100 : 92,1 = 21,72\%$ СВ при содержании $17,5 \cdot 100 : 92,1 = 19\%$ Сх, имеет доброкачественность $19 \cdot 100 : 21,72 = 87,5\%$, т. е. в 100 частях сухого вещества клеточного сока содержится 87,5 частей сахаразы.

НЕСАХАРА

В сахарной свекле содержится приблизительно 7,5% (по массе) несахаров, в том числе нерастворимых (мякоть) — 5%, растворимых — 2,5%.

В состав нерастворимых несахаров (несахаров мякоти) входят (на 100 кг свеклы):

	кг	%
Клетчатка	1,2	24
Гемицеллюлозы	1,1	22
Пектиновые вещества	2,4	48
Белки	0,1	2
Сапонин	0,1	2
Зола	0,1	2
Итого	5,0	100

Растворимый несахар представляет собой полидисперсную систему из растворенных низко- и высокомолекулярных соединений, гелей и тонких суспензий нерастворимых белков, а также жиров и окрашенных веществ — меланинов.

Азотистые органические вещества. К ним относятся белки и продукты их распада, азотистые основания и минеральные азотсодержащие вещества. Азотистые вещества распределяются по группам (на 100 кг свеклы) следующим образом: белок («безвредные») — 0,7 кг, или 58% (на общую сумму), прочие («вредные») — они называются так потому, что отрицательно влияют на проведение технологического процесса) — 0,5 кг, или 42%.

В общем количестве азотистых веществ около 40% составляют «вредные» (0,5 кг), из них 0,2 кг приходится на бетаин и 0,1 кг — на амиды и соли аммония. Остальные 0,5—0,2—0,1=0,2 кг азотистых веществ приходятся главным образом на аминокислоты и относительно мало — на пуриновые основания. Таким образом, общий азот в свекле состоит из суммы «вредного» и «безвредного» азотов. Содержание собственно азота (по Кьельдалю) в свекле составляет около $\frac{1}{6,25}$ от содержания азотистых веществ.

В свекле азот разных форм содержится обычно в следующих соотношениях (в % к сумме общего азота): белковый — 57,5; аммиачный и амидный — 10,0; «вредный» (по Андрлику) — 32,5.

«Вредным» считается общий азот за вычетом только белкового. Содержание азота в свекле, и особенно «вредного», значительно колеблется в зависимости от условий вегетации и хранения свеклы.

Безазотистые органические вещества. К ним относятся углеводы, органические кислоты, жиры, красящие вещества, минеральные вещества, не содержащие азота. Всего в свекле содержится 0,9% безазотистых органических веществ. Распределение их по группам следующее (в % к общей сумме): сумма редуцирующих веществ (в том числе инвертный сахар) — 11; пектиновые вещества — 11; органические кислоты — 52; жир — 3; сапонин — 11; прочие — 12.

Основную массу безазотистых растворимых несахаров составляют органические кислоты, из них в наибольшем количестве (0,15%) содержится щавелевая кислота.

Растворимые пектиновые вещества обычно содержатся в незрелой свекле.

Редуцирующих веществ, в том числе инвертного сахара, больше в незрелой и особенно в порченной свекле (гнилой, замороженной и оттаявшей).

Минеральные вещества. Минеральные вещества содержатся в соке свеклы (0,5%) и в мякоти (0,1%). При сжигании 100 кг свеклы образуется 0,6 кг чистой золы. В пересчете на золу минеральные элементы распределяются в следующей пропорции (в %): K_2O — 42; Na_2O — 8; CaO — 13; MgO — 13; P_2O_5 — 15; SO_3 — 3; $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ — 2; SiO_2 — 2; Cl — 2.

Содержание золы определяют сжиганием, при этом часть металлов, связанных с органическими кислотами, которые сгорают, образуют карбонаты. Таким образом определяют «карбонатную» золу, в которой CO_2 является нехарактерной для свеклы составной частью, образовавшейся в процессе сжигания. Поэтому различают «карбонатную» золу (0,7 кг) и «чистую» золу (0,6 кг) — золу за вычетом CO_2 .

Из растворимых несахаров, перешедших с сахарозой в диффузионный сок, при известково-углекислотной очистке удаляется приблизительно 0,04% (на 100% сахарозы в соке), а остальные накапливаются в отходе производства — мелассе. Примерный состав мелассы следующий (в %): СВ — 82—85; Сх — 45—50; Нс — 32—35; вода — 15—18%. Дб мелассы составляет 56—60%.

Выход мелассы колеблется в пределах 3,5—5% по массе свеклы и зависит от качества свеклы и условий ее переработки. В состав несахаров входят органические вещества (примерно 28—32% к массе СВ) и зола (примерно 7—8% к массе СВ). Большая часть органических несахаров мелассы (примерно 17—18% к массе СВ) — это безазотистые органические вещества: продукты разложения пектиновых веществ, органические кислоты, продукты разложения редуцирующих веществ и др. Меньшая часть несахаров (примерно 14% к массе СВ) состоит из азотсодержащих веществ: бетаина, аминокислот и др., причем бетаин содержится около 5% к массе сухих веществ мелассы.

Кроме несахаров, меласса содержит значительное количество сахара, который извлечь обычными методами кристаллизации невозможно, так как он удерживается несахарами. Величина, показывающая, сколько частей сахара удерживается от выкристаллизовывания одной частью несахаров мелассы, называется мелассным коэффициентом и определяется как $m = Cx/Hc$.

Установлено, что присутствие некоторых несахаров увеличивает растворимость сахарозы в воде и что присутствие сахарозы также влияет на растворимость этих веществ. По отношению к мелассообразованию несахара можно разделить на так называемые положительные, отрицательные и индифферентные. К положительным мелассообразователям относят те несахара, присутствие которых увеличивает растворимость сахарозы, к отрицательным — несахара, которые уменьшают ее растворимость, к индифферентным — несахара, присутствие которых не влияет на растворимость сахарозы.

Кроме того, существуют несахара, обладающие поверхностной активностью, которые адсорбируются на поверхности кристаллов, что приводит к замедлению, а иногда и к полному прекращению процесса кристаллизации. Следовательно, чем больше поверхностно-активных несахаров в растворе, тем труднее выделить из него сахар кристаллизацией. Поэтому для уменьшения выхода мелассы необходимо тщательно очищать соки и сиропы от поверхностно-активных несахаров.

Мелассообразовательная способность отдельных несахаров определена под руководством П. М. Силина. Было установлено, что каждое вещество, входящее в состав несахаров мелассы, оказывает влияние на ее образование; на мелассообразование влияют как катионы, так и анионы; «вредный» азот не является сильным мелассообразователем; соли аминокислот, а также бетаин имеют коэффициенты мелассообразования в пределах 0,11—1,08; сильными мелассообразователями являются соли калия, немного слабее соли натрия и очень слабы — соли кальция; мелассообразующее действие различных анионов дает следующий убывающий ряд: OH^- , CO_3^{2-} , CH_3COO^- , Cl^- , глутаминовая кислота, тирозин, молочная кислота, продукты разложения инвертного сахара известью, NO_3^- .

Зависимость химического состава свеклы от условий роста

Химический состав сахарной свеклы изменяется в зависимости от ряда факторов со значительным отклонением от обычного нормального состава. Содержание сахарозы в свекле, например, может колебаться от 12 до 25%. Обильные осадки в июне, июле и августе и сухая осень (сентябрь, октябрь) обеспечивают высокий процент сахара в свекле. В дождливое лето сахара в свекле содержится меньше.

Дожди в осенний период повышают урожай, но не благоприятствуют накоплению сахарозы в свекле. При обильных осадках в период вегетации в свекле содержится больше минеральных солей.

Засуха в период вегетации приводит к увеличению «вредного» азота в 2—3 раза. Масса корней свеклы, выросшей в засушливое лето, ниже, а процентное содержание сахарозы в них повышено. В незрелой свекле содержится больше редуцирующих веществ (выше 0,15%), растворимых пектиновых (до 0,20%) и «вредных» азотистых; доброкачественность сока и содержание сахара в такой свекле ниже.

В восточных районах содержание сахарозы в свекле выше, так как вследствие недостаточного количества влаги масса корня меньше при достаточном накоплении сахарозы.

На западе — в ГДР и особенно во Франции — при большем количестве осадков выращивают свеклу с меньшей сахаристостью и меньшим количеством вредного азота. При производстве сахара получают относительно небольшой выход мелассы повышенной доброкачественности.

На Северном Кавказе (Краснодарский край) обычно бывает за-

сушливое лето. Рост свеклы задерживается, увядает и отмирает часть листового аппарата; затем выпадают дожди, и начинается вторичное отрастание листьев, на что расходуются запасы сахарозы из корня. Свекла обладает пониженной сахаристостью, низкой доброкачественностью сока и при переработке дает большой выход мелассы.

Критерий оценки технологических качеств сахарной свеклы

Основным критерием оценки технологических качеств свеклы считают возможный или ожидаемый выход из нее кристаллического сахара. При этом учитываются содержание сахарозы в корне, выход мелассы и содержание в ней сахарозы. Однако по вопросу о том, как прогнозировать ожидаемый выход мелассы и содержание сахарозы в ней, существуют различные мнения. Наиболее теоретически обоснованным для расчета ожидаемого выхода сахара из свеклы и практически удовлетворительным является критерий, предложенный П. М. Силиным и основанный на определении доброкачественности очищенного сока свеклы и мелассного коэффициента несахаров, в частности содержание в мелассе ионов K^+ и Na^+ .

Одним из оперативных методов оценки технологических качеств сахарной свеклы является лабораторный метод, предложенный П. М. Силиным в 1930 г. Сущность метода заключается в определении в очищенном клеточном соке калийно-натриевой или щелочной (карбонатной) золы и расчете по содержанию последней мелассного коэффициента несахаров и ожидаемого выхода сахара из данной свеклы (в % к массе свеклы):

$$S = (C - 0,9) [1 - (100 - Dб) m / Dб], \quad (1)$$

где S — ожидаемый выход сахара, %;

C — содержание сахара в свекле, %;

0,9 — потери сахара в производстве до мелассы, %;

$Dб$ — доброкачественность очищенного клеточного сока свеклы;

m — мелассный коэффициент несахаров сока.

Величину $m = f(a)$ определяют из номограммы (рис. 2).

Величину a определяют по количеству калийно-натриевой карбонатной золы $A_{щ}$, которое равно разности между содержанием общей карбонатной золы A и кальциевых солей в соке: $A_{щ} = A - 1,8 CaO$ (где 1,8 — коэффициент перевода CaO в $CaCO_3$). Тогда в пересчете на 100 частей несахаров сока $a = A_{щ} \cdot 100 : Hс$.

Золу в неочищенном клеточном соке определяют по любой из известных методик: карбонатную — сжиганием или кондуктометрически по электропроводности; калий-

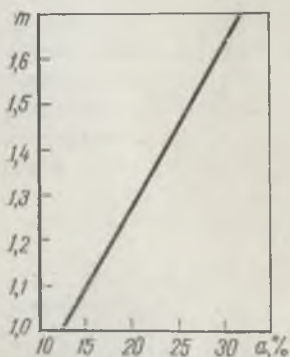


Рис. 2. Номограмма зависимости величины мелассного коэффициента m от содержания карбонатной золы a в несахарах очищенного сока.

но-натриевую — пламенной фотометрией при коэффициентах эквивалентности $K_2CO_3 : K_2O = 1,467$ и $Na_2CO_3 : Na_2O = 1,710$.

Для массовой оценки качества свеклы, выращиваемой для промышленной переработки, можно пользоваться упрощенной методикой. При этом для расчета по формуле (1) достаточно иметь три показателя клеточного сока исследуемой свеклы: содержание сахара, содержание сухих веществ и золы. В формулу (1) вместо D_6 очищенного клеточного сока вносится поправка на количество несахаров, которые удаляются при очистке сока известью и диоксидом углерода. Величина этой поправки постоянна и равна в среднем 0,044 на 100 частей сахара в соке в интервале D_6 клеточного сока от 79 до 91 %.

Расчетная формула имеет вид

$$S = (C - 0,9) \{1 - [(100 - D_6) / D_6 - 0,044] m\}, \quad (2)$$

где D_6 — доброкачественность неочищенного клеточного сока;

0,044 — поправочный коэффициент на несахара, удаляемые при очистке клеточного сока известью и диоксидом углерода.

Пример. Определить предполагаемый выход сахара из свеклы сахаристостью 16,5 % при следующих аналитических показателях клеточного сока свеклы: $Sx = 13,05\%$, $CB = 15\%$, $K_2O = 0,16\%$ и $Na_2O = 0,04\%$ (по пламенному фотометру) при коэффициентах эквивалентности $K_2CO_3 : K_2O = 1,467$ и $Na_2CO_3 : Na_2O = 1,710$.

Доброкачественность клеточного сока $D_6 = 13,05 : 15,0 \times 100 = 87,0\%$.

Количество калорийно-натрисвой золы $a = 0,16 \cdot 1,467 + 0,04 \times 1,710 = 0,302\%$.

Количество несахаров в соке $Hc = 15,00 - 13,05 = 1,95\%$.

Содержание щелочной золы в 100 частях несахаров сока составляет $0,302 : 1,95 \cdot 100 = 15,5\%$, что по номограмме (см. рис. 2) соответствует значению $m = 1,1$.

Предполагаемый выход сахара из данной свеклы по формуле (2) $S = (16,5 - 0,9) \{1 - [(100 - 87) / 87 - 0,044] \cdot 1,1\} = 13,79\%$.

Следует отметить, что расчетное значение выхода сахара является максимальной потенциальной величиной, сравнимой с содержанием сахара в свекловичной стружке, поступающей в диффузионный аппарат. В конкретных производственных условиях фактический выход сахара значительно ниже. Это обусловлено увеличением зольности очищенных соков за счет наличия щелочных элементов в воде, применяемой в диффузионном процессе, и в извести, идущей на приготовление молока; повышением содержания солей кальция в очищенном соке за счет образования органических кислот при микробиологических процессах в диффузионном аппарате, а также разложения амидов, редуцирующих веществ и сахарозы при очистке и на выпарке, что приводит к необходимости добавления на первой сатурации значительного количества щелочной добавки в форме соды и тринатрийфосфата и также увеличивает зольность очищенного сока; плохой работой кристаллизационного отделения завода.

Сопоставление расчетной и фактической величин выходов сахара для условий работы конкретного завода, перерабатывающего конкретное сырье, может служить объективным показателем степени организации производства, уровня и состояния техники и технологии, эффективности хранения сырья, квалификации производ-

ственного персонала, степени автоматизации технологических процессов, качества ремонта технологического оборудования.

Глава III. УБОРКА, ПРИЕМКА И ХРАНЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Наблюдение на пробных участках за ростом свеклы

Для систематического наблюдения за ростом сахарной свеклы и накоплением в ней сахара заводы и свеклобазы выделяют в свеклосеющих колхозах и совхозах своей зоны пробные участки. Данные этих участков характеризуют состояние развития и густоту насаждения свеклы по зоне свеклосеяния завода в целом.

Густоту насаждений определяют на всей площади посева сахарной свеклы дважды — 1 июля и 20 августа. Причем 20 августа одновременно с проверкой густоты насаждений определяют среднюю массу корня на 50% площади посева.

Массу корня и листьев, а также сахаристость свеклы определяют каждую декаду (10, 20 и 30 числа), начиная с 1 июля по 1 октября, на отведенных пробных участках. Пробы отбирает химик по сырью или агроном-инспектор. Результаты учета по каждому пробному участку заносят в журнал учета.

Заведующий сырьевой лабораторией за каждую декаду выводит среднединамические показатели массы корня и листьев, а также сахаристости свеклы по всей сырьевой зоне завода или свеклобазы.

За 10—15 дней до начала уборки (по достижении сахаристости свеклы 15%) проводится химико-фитопатологическое обследование свекловичных плантаций сырьевой зоны для выявления колебаний сахаристости свеклы и наличия корней, пораженных болезнями и сельскохозяйственными вредителями. Результаты обследования позволяют установить степень пригодности свеклы к хранению и наметить очередность и сроки уборки площадей посевов свеклы с учетом пригодности ее к разным срокам хранения.

Порядок, сроки уборки и вывозки свеклы определяют в соответствии с ежегодными постановлениями правительств союзных республик на основании контрактационных договоров и действующей Инструкцией по уборке, полевому кагатированию, вывозке, приемке и определению качества сахарной свеклы.

Результаты изучения динамики роста массы корня и содержания сахара в свекле по данным пробных участков могут быть использованы для планирования технико-экономических показателей работы сахарного завода.

Сроки и способы уборки свеклы

Начало и конец уборки свеклы, а также суточный темп уборки оказывают влияние на технологические качества свеклы. Иногда сроки уборки свеклы зависят от ряда организационных и хозяйственных условий.

Обычно уборку свеклы начинают в конце августа или в первых числах сентября. Гарантией хороших технологических качеств сахарной свеклы является ее зрелость. Желательно приступить к уборке, когда свекла достигает технической зрелости, под которой понимаются оптимальное соотношение в корне сахарозы и несахаров, высокая доброкачественность сока, минимальное содержание вредных несахаров, хорошие физические качества, обеспечивающие устойчивость свеклы при хранении, нормальное изрезывание в стружку и нормальное протекание технологических процессов.

Уборку свеклы осуществляют трехрядным свекловичным комбайном теребильного типа СКЕМ-3 и шестьюрядным типа КС-6. Характерной особенностью работы свеклокомбайнов до сих пор является колебание в широких пределах качественных показателей по обрезке и очистке корней. Применение таких комбайнов делает необходимым выборочную ручную доочистку корней от зеленой массы.

Модернизированный вариант комбайна КСКЕМ-3 позволил применить поточный метод уборки свеклы. Дальнейшее совершенствование комбайна привело к созданию конструкций СКД-2, а затем РКС-6. Все эти комбайны имеют дополнительные доочистные устройства и элеваторы для подачи корней в рядом идущий автомобиль, который вывозит свеклу непосредственно на завод.

Обычно свеклу убирают свеклокомбайнами в продолжение светового дня. Часть убранной свеклы направляют непосредственно на завод (поточный способ), а остальную свеклу собирают в небольшие кучки на поле и вывозят вечером (поточно-перевалочный способ уборки). При поточно-перевалочном способе уборки применяют свеклопогрузчики типа СНТ-2,1, ГРС-50. Для уборки свеклы поточным или перевалочным способами предназначены модернизированный свеклоуборочный комбайн КС-3А и комбайн типа СКН-2, который предварительно срезает ботву на корню. Недостатком перечисленных свеклокомбайнов является то, что при некотором снижении количества земляных примесей они значительно увеличивают процент корней с механическими повреждениями (в отдельных партиях до 50—70% всех корней), а главное, процент корней с необрезанной или частично обрезанной ботвой.

Транспортировка и приемка сахарной свеклы

Убранная сахарная свекла вывозится с поля на автомобилях различной грузоподъемности (до 16 т) на ближайшие свеклоприемные пункты сахарного завода, включая свеклопункт, расположенный на территории сахарного завода. Крупные и удаленные свеклопункты располагают на железнодорожных ветках. Для транспортировки свеклы в основном применяют комбинированный автомобильный и железнодорожный транспорт.

Свеклоприемные пункты принимают свеклу от свеклосдатчиков в соответствии с договором контрактации, действующей Инструкцией по уборке, полевому катагированию, вывозке, приемке и опре-

ственного персонала, степени автоматизации технологических процессов, качества ремонта технологического оборудования.

Глава III. УБОРКА, ПРИЕМКА И ХРАНЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Наблюдение на пробных участках за ростом свеклы

Для систематического наблюдения за ростом сахарной свеклы и накоплением в ней сахара заводы и свеклобазы выделяют в свеклосеющих колхозах и совхозах своей зоны пробные участки. Данные этих участков характеризуют состояние развития и густоту насаждения свеклы по зоне свеклосеяния завода в целом.

Густоту насаждений определяют на всей площади посева сахарной свеклы дважды — 1 июля и 20 августа. Причем 20 августа одновременно с проверкой густоты насаждений определяют среднюю массу корня на 50% площади посева.

Массу корня и листьев, а также сахаристость свеклы определяют каждую декаду (10, 20 и 30 числа), начиная с 1 июля по 1 октября, на отведенных пробных участках. Пробы отбирает химик по сырью или агроном-инспектор. Результаты учета по каждому пробному участку заносят в журнал учета.

Заведующий сырьевой лабораторией за каждую декаду выводит среднединамические показатели массы корня и листьев, а также сахаристости свеклы по всей сырьевой зоне завода или свеклобазы.

За 10—15 дней до начала уборки (по достижении сахаристости свеклы 15%) проводится химико-фитопатологическое обследование свекловичных плантаций сырьевой зоны для выявления колебаний сахаристости свеклы и наличия корней, пораженных болезнями и сельскохозяйственными вредителями. Результаты обследования позволяют установить степень пригодности свеклы к хранению и наметить очередность и сроки уборки площадей посевов свеклы с учетом пригодности ее к разным срокам хранения.

Порядок, сроки уборки и вывозки свеклы определяют в соответствии с ежегодными постановлениями правительств союзных республик на основании контрактационных договоров и действующей Инструкции по уборке, полевому кагатированию, вывозке, приемке и определению качества сахарной свеклы.

Результаты изучения динамики роста массы корня и содержания сахара в свекле по данным пробных участков могут быть использованы для планирования технико-экономических показателей работы сахарного завода.

Сроки и способы уборки свеклы

Начало и конец уборки свеклы, а также суточный темп уборки оказывают влияние на технологические качества свеклы. Иногда сроки уборки свеклы зависят от ряда организационных и хозяйственных условий.

Обычно уборку свеклы начинают в конце августа или в первых числах сентября. Гарантией хороших технологических качеств сахарной свеклы является ее зрелость. Желательно приступить к уборке, когда свекла достигает технической зрелости, под которой понимается оптимальное соотношение в корне сахарозы и несахаров, высокая доброкачественность сока, минимальное содержание вредных несахаров, хорошие физические качества, обеспечивающие устойчивость свеклы при хранении, нормальное изрезывание в стружку и нормальное протекание технологических процессов.

Уборку свеклы осуществляют трехрядным свекловичным комбайном теребильного типа СКЕМ-3 и шестирядным типа КС-6. Характерной особенностью работы свеклокомбайнов до сих пор является колебание в широких пределах качественных показателей по обрезке и очистке корней. Применение таких комбайнов делает необходимым выборочную ручную доочистку корней от зеленой массы.

Модернизированный вариант комбайна КСКЕМ-3 позволил применить поточный метод уборки свеклы. Дальнейшее совершенствование комбайна привело к созданию конструкций СКД-2, а затем РКС-6. Все эти комбайны имеют дополнительные доочистные устройства и элеваторы для подачи корней в рядом идущий автомобиль, который вывозит свеклу непосредственно на завод.

Обычно свеклу убирают свеклокомбайнами в продолжение светового дня. Часть убранной свеклы направляют непосредственно на завод (поточный способ), а остальную свеклу собирают в небольшие кучки на поле и вывозят вечером (поточно-перевалочный способ уборки). При поточно-перевалочном способе уборки применяют свеклопогрузчики типа СНТ-2,1, ГРС-50. Для уборки свеклы поточным или перевалочным способами предназначены модернизированный свеклоуборочный комбайн КС-3А и комбайн типа СКН-2, который предварительно срезает ботву на корню. Недостатком перечисленных свеклокомбайнов является то, что при некотором снижении количества земляных примесей они значительно увеличивают процент корней с механическими повреждениями (в отдельных партиях до 50—70% всех корней), а главное, процент корней с необрезанной или частично обрезанной ботвой.

Транспортировка и приемка сахарной свеклы

Убранная сахарная свекла вывозится с поля на автомобилях различной грузоподъемности (до 16 т) на ближайшие свеклоприемные пункты сахарного завода, включая свеклопункт, расположенный на территории сахарного завода. Крупные и удаленные свеклопункты располагают на железнодорожных ветках. Для транспортировки свеклы в основном применяют комбинированный автомобильный и железнодорожный транспорт.

Свеклоприемные пункты принимают свеклу от свеклосдатчиков в соответствии с договором контракта, действующей Инструкцией по уборке, полевому катагированию, вывозке, приемке и опре-

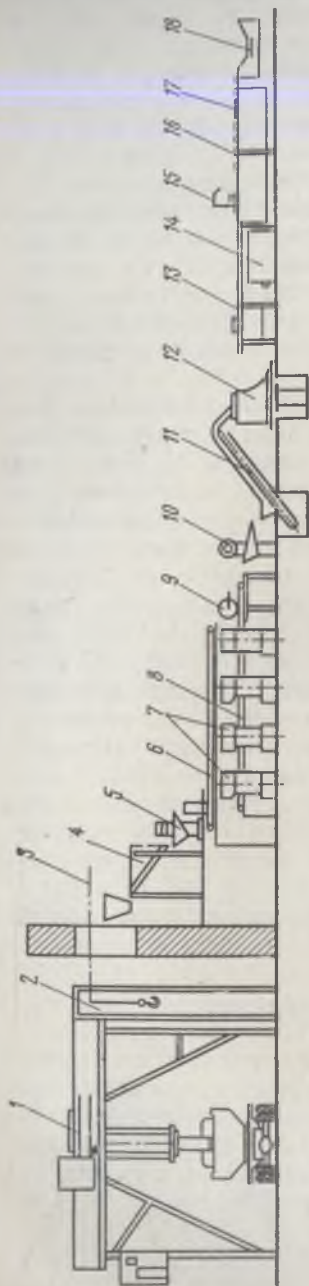


Рис. 3. Автоматизированная линия ПЛС для механизированного отбора проб свеклы, определения ее загрязненности и сахаристости:

1 — прибор для взвешивания; 2 — механизм взвешивания и навески грязной свеклы; 3 — контейнер для грязной свеклы; 4 — весы для грязной свеклы; 5 — весы для чистой свеклы; 6 — механизм взвешивания чистой свеклы; 7 — механизм взвешивания чистой свеклы; 8 — механизм взвешивания чистой свеклы; 9 — механизм взвешивания чистой свеклы; 10 — механизм взвешивания чистой свеклы; 11 — механизм взвешивания чистой свеклы; 12 — механизм взвешивания чистой свеклы; 13 — механизм взвешивания чистой свеклы; 14 — механизм взвешивания чистой свеклы; 15 — механизм взвешивания чистой свеклы; 16 — механизм взвешивания чистой свеклы; 17 — механизм взвешивания чистой свеклы; 18 — механизм взвешивания чистой свеклы.

делению качества сахарной свеклы, а также в соответствии с Инструкцией по приемке, хранению и учету сахарной свеклы. Свекла принимается по массе с учетом фактической загрязненности и засоренности (ФЗ) и с определением установленных кондиций.

При направлении поступающей свеклы непосредственно на переработку и при распределении в кагаты по срокам хранения учитывают ее состояние, сроки уборки, фактическую загрязненность и данные предуборочного обследования плантаций.

Свеклу кондиционную, доставленную на свеклопункты в конце сентября и октябре, без признаков поражения какими-либо микроорганизмами направляют в кагаты на длительное хранение. Свеклу кондиционную, но более ранних сроков уборки (в начале сентября) и с несколько пониженным тургором направляют в кагаты средних сроков хранения (до декабря). Свеклу некондиционную направляют немедленно на переработку.

На каждом призаводском и крупном железнодорожном (более 80 тыс. т) свеклопункте организуется сырьевая лаборатория, которую размещают по возможности ближе к весовым и кагатам с учетом расположения бурчаных, железнодорожных путей и автомобильных дорог. Качество поступающей свеклы определяют по загрязненности, сахаристости

и данным фитопатологического анализа. Для отбора проб свеклы применяют специальные установки типа «Рюпро».

Для механизированного отбора проб свеклы из автомашин, передачи отобранных проб в сырьевую лабораторию и проведения анализов с целью определения фактической загрязненности и сахаристости свеклы предназначена также автоматизированная линия ПЛС (рис. 3), разработанная ВНИЭКИпродмашем. Производительность линии до 60 проб свеклы в час.

Работает линия следующим образом. Отобранную из автомобиля пробу свеклы пробоотборник выталкивает через течку в контейнер, предварительно снятый съемным механизмом с цепного кольцевого конвейера. В специальный карман контейнера вставляется кассета с сопроводительной карточкой, на которой указан номер автомашины и наименование свеклосдатчика. Контейнер цепным кольцевым конвейером транспортируется в здание сырьевой лаборатории, где он опрокидывается, и проба попадает в чашу весов для загрязненной свеклы. Масса брутто пробы автоматически фиксируется на чеке, который оператор вкладывает в кассету, сопровождающую пробу.

Чаша весов автоматически опрокидывается, и проба свеклы ленточным конвейером направляется в одну из трех свекломоек, загружающихся автоматически последовательно. В бочкообразном корпусе свекломойки свекла вращается ротором и моется водой из форсунок.

По истечении 1—2,5 мин гидравлический цилиндр открывает крышку свекломойки и свекла выгружается на транспортер, где корни подсушиваются воздухом. Доочистка корней от хвостиков и ботвы производится вручную. После этого проба свеклы направляется в чашу весов для чистой свеклы, и масса нетто пробы фиксируется на чеке, который также вкладывается в сопровождающую кассету.

Проба свеклы из чаши весов попадает в подъемный транспортер, который перемещает ее в механическую терку. Мезгу собирают в стальной сосуд, а остатки корней удаляют транспортером и элеватором в бункер и далее в тележку. Сосуд с мезгой и сопровождающая кассета ленточным транспортером доставляются в лабораторию для определения сахаристости.

После перемешивания в сосуде берется навеска мезги. Весовое устройство с дозатором пропорционального действия типа ВУД-Б дозирует осветлитель (свинцовый уксус) в количестве, соответствующем массе взятой навески мезги; осветлитель и навеска мезги попадают в один из дигестивных стаканов на конвейере, в котором они смешиваются, и выливаются в один из стаканчиков фильтрационного конвейера. При движении фильтрационного конвейера проба фильтруется, а затем фильтрат выливается в приемную воронку автоматического сахариметра с печатающим устройством типа САП-Е. Сахаристость пробы фиксируется на чеке.

В кассете собраны полные данные анализов пробы свеклы, необходимые для расчетов с поставщиком свеклы.

Хранение сахарной свеклы

При имеющихся в настоящее время производственных мощностях в свеклосахарной промышленности и большой длительности производственного сезона (более 100 сут) не менее 50% всего поступающего с полей сырья закладывают на хранение. Поэтому важнейшей задачей сахарных заводов и их свеклоприемных пунктов является организация рационального хранения сахарной свеклы.

При кратковременном хранении свеклы ее укладывают в кагаты на поле вблизи дороги (кагатами называются длинные наземные кучи свеклы трапецеидального сечения). Состояние свеклы при длительном хранении на свеклоприемных пунктах находится в прямой зависимости от качества хранения ее в поле.

Для хранения свеклы на свеклоприемном пункте завода или на пунктах при железнодорожных станциях ее также укладывают в кагаты. Участок земли, используемый для хранения свеклы, называют кагатным полем. Площадь кагатного поля определяется в зависимости от количества хранимой свеклы и от высоты кагатов.

Отношение высоты к ширине кагатов принимается 1 : (4—5) как оптимальное по водоотводу и тепловлагообмену. В соответствии с этим свеклу, предназначенную для длительного хранения, укладывают в кагаты высотой до 5—6 и шириной по основанию 18—25 м; средних сроков хранения (до декабря) — в кагаты высотой до 3—4 и шириной по основанию 12—16 м; краткосрочного хранения (некондиционная свекла) — в кагаты высотой до 2—3 и шириной по основанию 8—12 м.

Длина кагатов принимается в зависимости от размеров площади складирования, расположения дорог, вентиляционных каналов и гидравлических транспортеров, а также способов подачи свеклы на переработку.

Площадки для складирования свеклы, а также поверхности кагата по мере укладки его обрабатывают известковым молоком с помощью передвижного опрыскивателя типа ОВТ-1 или «Украина».

После укладки кагат немедленно укрывают с боков, чтобы не допустить увядания свеклы. Для этой цели применяют различные тепло- и гидроизоляционные материалы неорганического и органического происхождения: минеральный войлок в виде рулонов или листов, минераловаты, перлит, прессованные камышовые щиты, соломитовые плиты, древесностружечные плиты, фибролит, шевелин и др. Наиболее перспективными являются изоляционные материалы из полистирола, полиуретана и полихлорвинила. К конструкциям элементов укрытий любого типа предъявляются следующие требования: они должны иметь небольшую массу при значительных габаритных размерах, достаточную прочность, биостойкость. Они должны обладать легкостью в сборке и разборке, транспортировке.

Кагатное поле осенью вспахивают, боронуют, укатывают и дезинфицируют известью.

Кагаты располагают по длине с севера на юг, чтобы влияние холодного северного ветра было минимальным. Кагаты располага-

ют обычно попарно, оставляя между ними промежуток в 3—5 м, а между соседними парами кагатов — 5—7 м для проезда.

В настоящее время все операции по разгрузке и укладке свеклы в кагаты полностью механизированы. Для этой цели созданы машины БУМ-УЧ-МЗ, «Комплекс-65М», БУМ-У-25, тракторный погрузчик ТЛ-5-ЦИНС.

Буртоукладчик БУМ-УЧ-МЗ состоит из двух соединенных агрегатов: проездной опрокидной площадки для разгрузки автомашин и укладочной машины, снабженной устройством для доочистки свеклы в процессе разгрузки и складирования. Очистная и укладочная части комплекса установлены на тракторе и могут перемещаться, а опрокидная площадка, установленная на колесах, связана с трактором сбоку и перемещается вместе с ним.

Буртоукладчик Обрывко МБО-5М, аналогичный предыдущему, скомпонован как единая машина на тракторном шасси.

Машина «Комплекс-65М» устроена так, что опрокидная площадка наклоняет автомашину и разгружает свеклу через боковой откидной борт.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАГАТАМИ СВЕКЛЫ

Основным показателем, характеризующим состояние свеклы в кагате, служит температура. Для контроля температуры в кагатах устанавливают длинные ртутные термометры. Кроме того, устраивают дополнительные отверстия путем предварительной установки трубок, в которые периодически помещают переносные термометры. Для дистанционного контроля температуры во внутренних зонах кагатов применяют системы типа УБС-ДКТ-К с термометрами сопротивления. Одновременно с замером температуры внутри кагатов замеряют температуру наружного воздуха.

Осенью, когда кагаты не укрывают, температура свеклы в них держится на сравнительно высоком уровне — 5—10°C. Однако свежая здоровая свекла хранится хорошо, так как обладает хорошим иммунитетом. На зиму кагаты укрывают, чтобы температура в них была несколько выше 0°C (1—4°C). Свекла в это время уже имеет пониженный иммунитет, но низкая температура тормозит развитие микроорганизмов и снижает потери сахарозы на дыхание. При хорошем укрытии кагатов разница между утренней и дневной температурой в них не должна быть больше 1—2°C при любых колебаниях наружной температуры.

Зимой и весной тщательно следят за возможным появлением в кагатах очагов гниения. О наличии таких очагов судят по повышению в этих местах температуры, появлению на поверхности мокрых пятен или проталин, а также по выделению легкого пара. При обнаружении очагов гниения всю порченную свеклу выбирают, а остальную часть направляют на переработку.

Если свекла в кагате частично подмерзла, то весь кагат перебирают и подмороженную свеклу направляют на переработку или же замораживают весь кагат и хранят отдельно в замороженном со-

Хранение сахарной свеклы

При имеющихся в настоящее время производственных мощностях в свеклосахарной промышленности и большой длительности производственного сезона (более 100 сут) не менее 50% всего поступающего с полей сырья закладывают на хранение. Поэтому важнейшей задачей сахарных заводов и их свеклоприемных пунктов является организация рационального хранения сахарной свеклы.

При кратковременном хранении свеклы ее укладывают в кагаты на поле вблизи дороги (кагатами называются длинные наземные кучи свеклы трапецидального сечения). Состояние свеклы при длительном хранении на свеклоприемных пунктах находится в прямой зависимости от качества хранения ее в поле.

Для хранения свеклы на свеклоприемном пункте завода или на пунктах при железнодорожных станциях ее также укладывают в кагаты. Участок земли, используемый для хранения свеклы, называют кагатным полем. Площадь кагатного поля определяется в зависимости от количества хранимой свеклы и от высоты кагатов.

Отношение высоты к ширине кагатов принимается 1 : (4—5) как оптимальное по водоотводу и тепловлагообмену. В соответствии с этим свеклу, предназначенную для длительного хранения, укладывают в кагаты высотой до 5—6 и шириной по основанию 18—25 м; средних сроков хранения (до декабря) — в кагаты высотой до 3—4 и шириной по основанию 12—16 м; краткосрочного хранения (некондиционная свекла) — в кагаты высотой до 2—3 и шириной по основанию 8—12 м.

Длина кагатов принимается в зависимости от размеров площади складирования, расположения дорог, вентиляционных каналов и гидравлических транспортеров, а также способов подачи свеклы на переработку.

Площадки для складирования свеклы, а также поверхности кагата по мере укладки его обрабатывают известковым молоком с помощью передвижного опрыскивателя типа ОВТ-1 или «Украина».

После укладки кагат немедленно укрывают с боков, чтобы не допустить увядания свеклы. Для этой цели применяют различные тепло- и гидроизоляционные материалы неорганического и органического происхождения: минеральный войлок в виде рулонов или листов, минераловаты, перлит, прессованные камышовые щиты, соломитовые плиты, древесностружечные плиты, фибролит, шевелин и др. Наиболее перспективными являются изоляционные материалы из полистирола, полиуретана и полихлорвинила. К конструкциям элементов укрытий любого типа предъявляются следующие требования: они должны иметь небольшую массу при значительных габаритных размерах, достаточную прочность, биостойкость. Они должны обладать легкостью в сборке и разборке, транспортировке.

Кагатное поле осенью вспахивают, боронуют, укатывают и дезинфицируют известью.

Кагаты располагают по длине с севера на юг, чтобы влияние холодного северного ветра было минимальным. Кагаты располага-

ют обычно попарно, оставляя между ними промежуток в 3—5 м, а между соседними парами кагатов — 5—7 м для проезда.

В настоящее время все операции по разгрузке и укладке свеклы в кагаты полностью механизированы. Для этой цели созданы машины БУМ-УЧ-МЗ, «Комплекс-65М», БУМ-У-25, тракторный погрузчик ТЛ-5-ЦИНС.

Буртоукладчик БУМ-УЧ-МЗ состоит из двух соединенных агрегатов: проездной опрокидной площадки для разгрузки автомашин и укладочной машины, снабженной устройством для доочистки свеклы в процессе разгрузки и складирования. Очистная и укладочная части комплекса установлены на тракторе и могут перемещаться, а опрокидная площадка, установленная на колесах, связана с трактором сбоку и перемещается вместе с ним.

Буртоукладчик Обрывко МБО-5М, аналогичный предыдущему, скомпонован как единая машина на тракторном шасси.

Машина «Комплекс-65М» устроена так, что опрокидная площадка наклоняет автомашину и разгружает свеклу через боковой откидной борт.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАГАТАМИ СВЕКЛЫ

Основным показателем, характеризующим состояние свеклы в кагате, служит температура. Для контроля температуры в кагатах устанавливают длинные ртутные термометры. Кроме того, устраивают дополнительные отверстия путем предварительной установки трубок, в которые периодически помещают переносные термометры. Для дистанционного контроля температуры во внутренних зонах кагатов применяют системы типа УБС-ДКТ-К с термометрами сопротивления. Одновременно с замером температуры внутри кагатов измеряют температуру наружного воздуха.

Осенью, когда кагаты не укрывают, температура свеклы в них держится на сравнительно высоком уровне — 5—10°C. Однако свежая здоровая свекла хранится хорошо, так как обладает хорошим иммунитетом. На зиму кагаты укрывают, чтобы температура в них была несколько выше 0°C (1—4°C). Свекла в это время уже имеет пониженный иммунитет, но низкая температура тормозит развитие микроорганизмов и снижает потери сахарозы на дыхание. При хорошем укрытии кагатов разница между утренней и дневной температурой в них не должна быть больше 1—2°C при любых колебаниях наружной температуры.

Зимой и весной тщательно следят за возможным появлением в кагатах очагов гниения. О наличии таких очагов судят по повышению в этих местах температуры, появлению на поверхности мокрых пятен или проталин, а также по выделению легкого пара. При обнаружении очагов гниения всю порченную свеклу выбирают, а остальную часть направляют на переработку.

Если свекла в кагате частично подмерзла, то весь кагат перебирают и подмороженную свеклу направляют на переработку или же замораживают весь кагат и хранят отдельно в замороженном со-

стоянии. Подмороженную свеклу нельзя оставлять вместе с нормальной свеклой, так как при повышении температуры в кагате начнется гниение подмороженной свеклы и весь кагат пропадет.

Систематическое наблюдение за состоянием свеклы в кагатах определяет очередность переработки свеклы: в первую очередь перерабатывают менее кондиционную свеклу, а на долговременное хранение оставляют кондиционную здоровую свеклу.

В высоких кагатах (4—5 м) для отвода теплоты дыхания естественной циркуляции воздуха недостаточно, поэтому для надежной регулировки температуры применяют активное механическое вентилирование. Без принудительной вентиляции температура в кагатах повышается и потери сахара увеличиваются. В качестве воздухопроводов используют гидротранспортеры, металлические и железобетонные круглые трубы диаметром 500 мм со щелями через 1—2 м для выхода воздуха. Для подачи воздуха используют экономичные и высокопроизводительные осевые вентиляторы типа МЦ № 7 и 8.

Относительная влажность воздуха, подаваемого в кагаты, не должна быть ниже 80%, что достигается искусственным увлажнением воздуха в специальной установке.

ПОТЕРИ САХАРА ПРИ ХРАНЕНИИ СВЕКЛЫ

Рациональные методы хранения сахарной свеклы основаны на регулировании протекающих при хранении процессов, в результате которых теряется сахар, уменьшается масса свеклы. При этом выделяются процессы, протекающие в самом корне свеклы, обусловленные деятельностью внутренних факторов, и процессы, возникающие в результате деятельности микроорганизмов.

При хранении свеклы содержание сахара в ней уменьшается. Сахароза сначала расщепляется ферментом инвертазой на глюкозу и фруктозу, которые затем окисляются, превращаясь в воду и диоксид углерода. Процесс дыхания при доступе кислорода воздуха (аэробное дыхание) протекает по реакции $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 \uparrow + 0,9 \text{ кДж}$.

При дыхании без доступа кислорода (анаэробное дыхание) сахара окисляются до спирта и диоксида углерода: $2C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4C_2H_5OH + 4CO_2 \uparrow$.

Таким образом, при хранении живых корней свеклы потери сахарозы на процесс дыхания неизбежны. Интенсивность дыхания и потери сахарозы при этом зависят от температуры: при низких температурах потери меньше, с повышением температуры на каждые 10°C потери сахарозы на дыхание увеличиваются в 2—2,5 раза.

Потери сахарозы на дыхание в 1 сут, по определениям П. М. Силкина, следующие:

Температура, °С	0	3	5	7	10	12
Потери сахарозы, % к массе свеклы	0,0061	0,0070	0,0079	0,0093	0,0130	0,0192

При анаэробном дыхании количество выделяемого диоксида уг

лерода уменьшается вдвое, но зато увеличивается превращение сахарозы в сахара. Существующие рациональные методы длительного хранения свеклы обеспечивают нормативные затраты сахарозы на дыхание свеклы.

В процессе хранения вследствие испарения влаги свекла частично теряет в массе. Потеря влаги приводит к увяданию корня и ослаблению иммунитета, т. е. сопротивляемости различным заболеваниям, особенно поверхностного слоя тканей свеклы. Степень усушки свеклы зависит как от температуры наружного воздуха, так и качества укрытия кагатов.

В табл. 1 приведены результаты исследований Рамонской станции по хранению свежей и вялой свеклы в течение 60 сут.

На потери влаги свеклой влияет также влажность воздуха. По данным А. И. Опарина, свекла при ее хранении в атмосфере с относительной влажностью 75% теряет воды:

Срок хранения, сут	37	61	86	111
Потери воды, % к массе свеклы	0,9	2,7	6,1	12,7

Такое повышение потерь воды объясняется значительными изменениями проницаемости и водоудерживающей способности протоплазмы клеток.

Для учета изменения массы свеклы и потерь сахара при хранении в каждый кагат укладывают на различной высоте пробы свеклы в сетках из мягкой проволоки или просмоленного шпагата. В каждую сетку помещают среднюю пробу свеклы в количестве 12—16 кг. Предварительно корни очищают и взвешивают. Содержание сахарозы определяют в параллельных пробах. В каждую сетку укладывают дощечку, на которой указаны чистая масса пробы, число корней, номер сетки, номер кагата и дата закладки. К сетке прикрепляют на длинной проволоке вторую дощечку, которая выводится на поверхность кагата. В зависимости от категории свеклы в каждый кагат укладывают 5—8 сеточных проб.

По данным исследования сеточных проб определяют потери сахарозы и массы свеклы за весь период хранения.

БОЛЕЗНИ СВЕКЛЫ ПРИ ХРАНЕНИИ

Кроме естественных и неизбежных потерь сахарозы на дыхание при хранении свеклы в свежем состоянии, возможны потери в результате жизнедеятельности бактерий и плесеней, развивающихся на разрушенных тканях корня. Заболеваниям легко подвергается

Т а б л и ц а 1

Качество свеклы	Потери сахара, %	Снижение чистоты сока, %	Количество корней, пораженных гнилью, %
Свежая	1,25	1,8	—
Увядавшая			
на 7%	3,43	4,6	37,2
на 13%	6,14	11,3	55,1
на 17%	7,13	12,6	65,8
на 23%	8,93	16,8	96,0

свекла раненая, вялая, подмороженная или оттаявшая после замораживания. Источниками заболеваний являются различные бактерии и грибки, находящиеся в воздухе и на поверхности корня вместе с частицами почвы.

Микроорганизмы вначале развиваются на отмерших клетках свеклы, а затем начинают поражать живую ткань корня. Следовательно, при хранении свеклы решающее значение имеет ее состояние, и в первую очередь отсутствие ранений и механических повреждений, чего трудно избежать при механизированной уборке свеклы и погрузочно-разгрузочных операциях.

Оттаявшая свекла также является прекрасной питательной средой для микроорганизмов. Первоначально на ней развиваются плесени, которые разрушают клетки поверхностного слоя кожицы. Они открывают доступ гнилостным бактериям к внутренним клеткам корня.

Грибки (плесени) образуют колонии на поверхности корня и требуют для своего развития присутствия воздуха. Хорошо развиваются в кислой среде, которую создают сами, окисляя сахарозу кислородом воздуха до соответствующих органических кислот. Наибольшая активность грибов проявляется в осенний период хранения, в зимний период они теряют свою активность.

К наиболее распространенным и вредным для свеклы грибкам относятся следующие. *Botrytis cinerea* (серая плесень) — образует на поверхности пораженного корня серый налет, поражает также поверхность среза головки, развивается в среде, содержащей любые углеводы и даже клетчатку; *B. cinerea* — аэроб, продуктом жизнедеятельности которого является щавелевая кислота. Оптимальный pH среды для его развития 4,5. Грибок не развивается в щелочной среде с присутствием иона кальция.

Phoma betae образует на поверхности корня черную сухую гниль. Развивается в среде, содержащей любые углеводы, кроме клетчатки. Оптимальный pH среды для развития 6,5. Грибок энергично инвертирует сахарозу, что приводит к накоплению инвертного сахара в пораженных частях корня.

Rhizopus betavora — эта разновидность грибка развивается только в нейтральной среде и в анаэробных условиях.

Fusarium образует налеты белого, кремового и розового цвета. Обычно развивается на уже пораженной поверхности свеклы.

Из группы бактерий вредителями свеклы являются в основном *Bacterium betae viscosum* и *Bacterium betae flavum* (бактериоз слизистый). Оптимум развития при pH 7,0—7,2 и температуре 25—30°C.

Из корней, пораженных слизистым бактериозом, вытекает бесцветная мутноватая слизь. Бактерии могут развиваться в отсутствие кислорода воздуха (анаэробы). Кроме углеводов, усваивают также пектиновые вещества и пентозы. Ткань корня, пораженная бактериями, приобретает серый цвет и делается слизистой.

Для предохранения сахарной свеклы, находящейся на хранении, от болезней необходимо поддерживать температуру на возможно

более низком уровне, но не ниже нуля, удалять примеси (землю, ботву, «бой» свеклы), дезинфицировать свеклу, поступающую на хранение, предохранять ее от увядания, замораживания и быстрого оттаивания, сортировать и распределять ее в кагаты в зависимости от степени зрелости и качества, соблюдать очередность переработки, тщательно контролировать ее состояние во время хранения.

КОНСЕРВИРОВАНИЕ СВЕКЛЫ

Хранение свеклы позволяет увеличить производственный сезон, улучшить использование оборудования и снизить срок сезонности работы обслуживающего персонала. Однако от этого свеклосахарное производство не перестает быть сезонным. Для «смягчения» сезонности свеклосахарного производства был предложен ряд способов консервирования сырья и полупродуктов.

Анабиоз. Один из возможных способов консервирования свеклы основан на явлении анабиоза. Анабиоз — такое состояние живого организма, когда жизненные процессы замедляются и находятся в состоянии угнетения. Явление анабиоза обуславливается понижением температуры. Для этого температуру свеклы медленно доводят до критической (-12°C), при которой клеточный сок находится в переохлажденном состоянии, — происходит частичное образование льда и соответствующее выделение тепла, клетки подвергаются частичному обезвоживанию. Затем температуру повышают до $-3,5^{\circ}\text{C}$ и вновь медленно понижают до -12°C . Корень, хранящийся при температуре выше -12°C , при оттаивании может быть возвращен в нормальное состояние, а при температуре ниже -12°C уже не может быть возвращен к жизни.

Использование явления анабиоза для консервирования свеклы могло бы решить вопрос о длительном ее хранении при незначительных потерях сахарозы. Однако для такого строгого поддержания, изменения и регулирования температуры необходимо сооружение специальных закрытых складов с применением искусственного холода, что требует значительных затрат. Поэтому явление анабиоза не получило практического применения.

Замораживание. Замораживание свеклы является перспективным методом ее хранения в восточных и северо-восточных районах СССР (Челябинская, Омская, Новосибирская области, Алтайский и Красноярский края), а также на востоке европейской части СССР (в Башкирской АССР и Татарской АССР, Поволжье, на Урале).

Клетки хорошо замороженной свеклы мертвы и потому не расходуют сахарозу на дыхание. Микроорганизмы при низких температурах также не развиваются. Но мерзлая свекла легко оттаивает при температуре -5°C , и на ней начинают развиваться микроорганизмы; свободный фермент инвертаза быстро разлагает сахарозу. Поэтому при хранении мороженой свеклы температура внутри кагата должна быть не выше -5°C .

Замораживают свеклу при температуре -15°C , т. е. при наступлении устойчивых морозов, в течение 12—15 ч.

Свеклу, предназначенную для замораживания, укладывают в кагаты по правилам хранения свежей свеклы, укрывая от временных понижений температуры. С наступлением устойчивой холодной погоды (температура до -15°C) через кагаты продувают холодный воздух, используя вентиляторы, устанавливаемые для активной вентиляции кагатов со свежей свеклой.

Способы укрытия замороженной свеклы зависят от длительности ее хранения. При переработке зимой свеклу укрывают матами для предохранения от оттепелей. При длительном хранении требуется более тщательное укрытие кагатов.

Разработаны различные методы укрытий в зависимости от районов и сроков хранения замороженной свеклы. Например, кагат накрывают слоем снега толщиной 10 см, а затем намораживают слой льда толщиной 40 см. Ледяной слой накрывают камышовыми матами. Укрытую таким образом свеклу можно хранить до тех пор, пока слой льда не достигнет 10 см.

Доброкачество сока свеклы сразу после замораживания снижается в связи с частичным переходом мякоти в раствор и в дальнейшем в течение всего периода хранения не изменяется.

Во избежание потерь сахара на переработку направляют свеклу, еще не оттаявшую. Замороженная свекла плохо отмывается, не позволяет получить качественную стружку и в то же время ее переработка не встречает особых затруднений и не снижает мощности завода.

Глава IV. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Технологическая схема — последовательность технологических процессов производства, необходимых для получения из сахарной свеклы готовой продукции — сахара-песка. Рациональная технологическая схема должна обеспечивать максимальный выход и высокое качество белого сахара при минимальных его потерях в производстве.

Доставка свеклы в завод и ее переработка максимально механизированы и выполняются круглосуточно.

Свекла из бурачных закровов и с призаводского кагатного поля подается в завод гидравлическим транспортером. При отсутствии гидротранспортеров свеклу с кагатного поля доставляют автотранспортом в бурачную.

Примеси легче и тяжелее воды улавливаются соответственно соломоботволушкой и пескокаменелушкой, установленными на гидротранспортере. Свекла по гидравлическому транспортеру направляется самотеком в свекломойку, из которой от нее отделяются приставшая земля и другие примеси. Вымытая свекла транспортируется свекловичным элеватором в бункер и, освободившись от металлических примесей на электромагнитном ленточном сепараторе, направляется далее на автоматические весы для регистрации мас-

сы. Взвешенная свекла из бункера направляется под действием собственной массы в свеклорезки для получения свекловичной стружки, которая ленточным транспортером подается в диффузионные аппараты.

Извлечение сахара из свекловичной стружки осуществляется способом противоточной горячей водной экстракции в диффузионных аппаратах непрерывного действия.

Полученный диффузионный сок освобождают от кусочков стружки (мезги) на ситчатых мезголоушках непрерывного действия, количество сока регистрируют специальным автоматическим устройством — расходомером.

Обессахаренную стружку (жом) предварительно прессуют на горизонтальных жомовых прессах и направляют транспортером (грабельным или ленточным) в жомосушильное отделение или в яму на хранение.

Свекловичный жом перед сушкой частично обезвоживают прессованием до содержания сухих веществ 16—25%, а полученную прессовую воду после отделения мезги и стерилизации возвращают в диффузионные аппараты.

Жом гранулируют на специальных прессах с добавлением мелассы или карбамида для повышения кормовой ценности и используют в сельском хозяйстве как корм.

Очистку диффузионного сока осуществляют общепринятым известково-углекислотным способом. Для этого нагревают диффузионный сок до 85—90°C; проводят предварительную, а затем основную дефекацию, первую и вторую сатурацию, сульфитацию и фильтрацию.

Фильтрованный сульфитированный сок нагревают и направляют на выпарную станцию для получения сиропа с содержанием СВ 65—70%. Сироп из концентратора выпарки направляют в сульфитатор для обработки диоксидом серы (SO_2). Сульфитированный сироп рекомендуется фильтровать через слой наполнителя (кизельгура или перлита).

В зависимости от доброкачественности клеточного сока свеклы и соответствующей доброкачественности полученного из этой свеклы сиропа его перерабатывают по двух- или трехпродуктовой схеме (с двумя или тремя ступенями кристаллизации). В первом случае клеточного сока и сиропа составляет соответственно 82—83 и 85—86 ед., во втором случае — 86—87 и 89—90 ед. Рациональная технологическая схема варочно-кристаллизационного отделения завода должна обеспечивать снижение доброкачественности сиропа суммарно на всех ступенях кристаллизации до 34 ед.

По двухпродуктовой схеме очищенный сироп направляют в вакуум-аппараты для кристаллизации сахарозы. Из сиропа уваривают густую массу (утфель I кристаллизации), состоящую из смеси кристаллов сахара и маточного межкристалльного раствора. Утфель содержит 92,0—92,5% сухих веществ, 55—60% кристаллического сахара и 45—40% межкристалльной патоки, представляющей раствор сахара и несахаров.

Разделение кристаллов сахара и патоки осуществляют на центрифугах. Пленку межкристалльной патоки с кристаллов сахара смывают горячей водой. Первый оттек называют первой зеленой патокой, а второй после пробеливания сахара водой — первой белой патокой.

Белый сахарный песок сушат, охлаждают, рассеивают на фракции и направляют на взвешивание и упаковку. Белую патоку возвращают в вакуум-аппарат в конце уваривания утфеля. Из первой зеленой патоки уваривают утфель II продукта для дополнительного извлечения сахара кристаллизацией.

Утфель II продукта также состоит из смеси кристаллов сахара и межкристалльной патоки. Из вакуум-аппарата утфель направляют в мешалки-кристаллизаторы, в которых путем охлаждения в течение 28—30 ч выкристаллизовывают дополнительно часть сахара. Из кристаллизаторов утфель через утфелераспределитель направляют в центрифуги для получения желтого сахара и мелассы, которую взвешивают и выкачивают в резервуары для хранения. Пленку мелассы на кристаллах желтого сахара частично заменяют пленкой более чистой первой зеленой патоки путем смешивания ее при температуре 85°C с желтым сахаром (аффинация). Полученный аффинированный утфель центрифугируют и получают более чистый аффинированный желтый сахар и аффинационный оттек. Желтый сахар растворяют в очищенном сульфитированном соке (клеровка) и направляют на сульфитацию в смеси с сиропом и далее на I кристаллизацию. Аффинационный оттек направляют на уваривание утфеля II продукта.

В настоящее время типовой технологической схемой предусматриваются три ступени кристаллизации. По трехпродуктовой схеме первую белую и первую зеленую патоки, полученные при фуговке утфеля I продукта, направляют на уваривание утфеля II продукта, а вторую белую и вторую зеленую патоки, полученные при фуговке утфеля II продукта, — на уваривание утфеля III продукта вместе с аффинационным оттеком. Утфель III продукта спускают в мешалки-кристаллизаторы, где он охлаждается и дополнительно кристаллизуется.

При фуговке утфеля II продукта получают желтый сахар II, который после аффинации (или пробелки водой) направляют в клеровочные котлы для растворения в очищенном соке.

При фуговке утфеля III продукта получают желтый (бурый) сахар и мелассу. Желтый сахар аффинируют первой зеленой патокой вместе с желтым сахаром II продукта, фугуют и направляют в клеровочные котлы.

Основными преимуществами трехпродуктовой схемы перед двухпродуктовой являются: уваривание утфеля I продукта только из сиропа и клеровки, что позволяет повысить качество белого сахара; возможность максимально истощить мелассу, т. е. уменьшить потери сахара с ней. Трехпродуктовая технологическая схема обеспечивает совместную переработку свеклы и тростникового сахара-сырца, а также переработку сахара-сырца во внепроизводственный период.

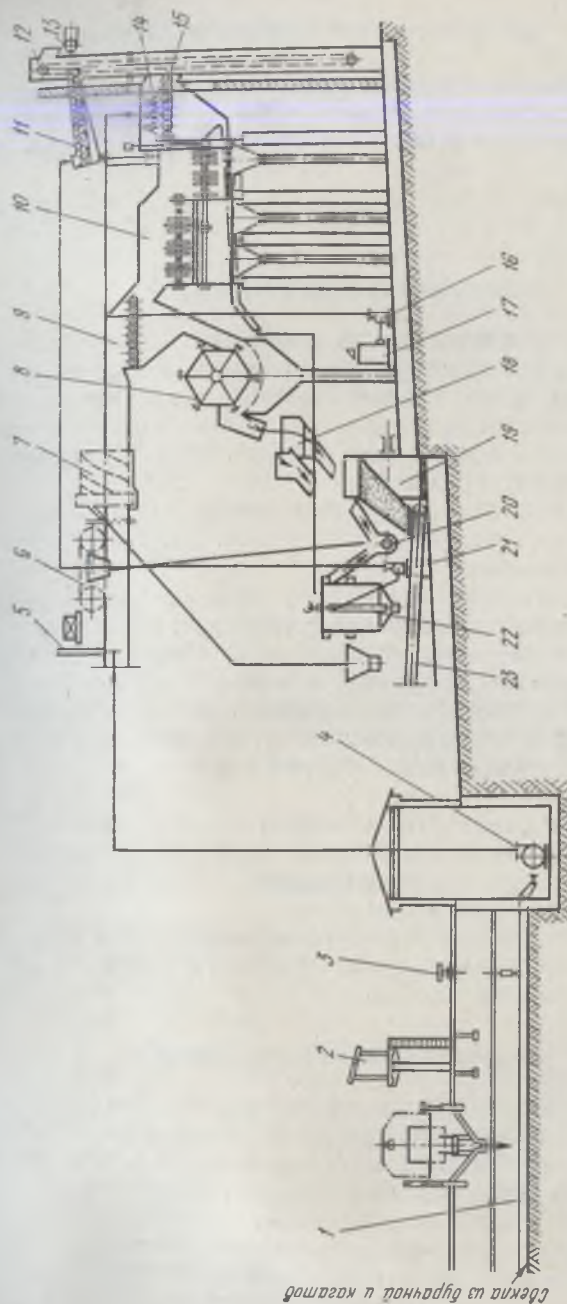


Рис. 4. Технологическая схема тракта подачи, очистки стекла от примесей и утилизации светового боя:

1 — гидропорталь; 2 — установка для гидрогрузки стекла из вагонов; 3, 5 — пульсирующий шнек; 4 — конвейер; 6 — конвейер; 7 — конвейер; 8 — конвейер; 9, 15 — дисковый водоотделитель; 10 — конвейер; 11 — конвейер; 12 — конвейер; 13 — конвейер; 14 — конвейер; 16, 17 — конвейер; 18 — конвейер; 19 — конвейер; 20 — конвейер; 21 — конвейер; 22 — конвейер; 23 — конвейер.

Технологическая схема подготовки свеклы

Прежде чем свекла попадет в диффузионную установку для извлечения из нее сахара, она должна пройти ряд подготовительных операций: очистку от механических примесей, мойку, измельчение в стружку.

Технологическая схема подготовки свеклы к измельчению показана на рис. 4.

Накопление свеклы в бурачной

Поступающую с полей и свеклоприемных пунктов свеклу выгружают в бурачную. По конструкции бурачные бывают эстакадные и механизированные. В эстакадные бурачные (одно-, двух- и трехпутевые) разгружают свеклу из железнодорожных вагонов, автосамосвалов и бортовых автомобилей (при помощи буртоукладчиков БУМ-УЧ-МЗ, «Комплекс-65М»).

Комплексная механизация бурачной позволяет производить разгрузку и доочистку свеклы из любого вида транспорта при 100%-ном уровне механизации.

Бурачная представляет собой заглубленную в землю открытую железобетонную емкость с вертикальными или покатыми стенками (угол 45—50°), на дне которой расположен гидротранспортер. Пол бурачной имеет уклон 130 мм на 1 м в сторону гидротранспортера. Размеры бурачной определяются в зависимости от количества свеклы, доставляемой железнодорожным и автомобильным транспортом, и длительности приемки с учетом норм проектирования разгрузочных эстакад.

Свеклу в гидротранспортер смывают водой из переносных гидрантов или стационарных водобойных установок. В такого типа бурачных гидротранспортеры решетками не закрывают в отличие от гидротранспортеров на кагатном поле.

Для разгрузки свеклы в бурачную или для подачи на переработку иногда применяют гидромеханизированную разгрузку автомобилей и железнодорожных вагонов.

Подача свеклы на переработку

Свеклу из бурачных и с кагатного поля подают на переработку по гидравлическому транспортеру. В качестве типовых приняты гидротранспортер из бетона или сборного железобетона и металлический прямоугольного сечения с закругленными углами. Гидротранспортеры кагатного поля соединяют с эстакадной бурачной через один общий гидротранспортер. Железобетонный гидротранспортер прокладывают в грунте, который у завода поднимают из эстакады. Эстакадный гидротранспортер закрывают сверху сплошной прутковой решеткой, предусматривая нужную высоту бортов

для пропуска воды без перелива при прекращении подачи свеклы на мойку.

Из кагатов, расположенных в поле, свеклу сталкивают на гидротранспортеры бульдозерами, выдергивая решетки крючьями. Свеклу с кагатного поля, не оборудованного гидротранспортерами, погружают тракторной лопатой ТЛ-5-ЦИНС в автосамосвалы и перевозят в бурачную, откуда она направляется на переработку совместно со свеклой, прибывшей по железной дороге и автотранспортом.

Для регулирования подачи свеклы по гидротранспортеру применяют пульсирующие шиберы. Пульсация необходима для предотвращения заклинивания свеклы в пространстве между дном гидротранспортера и задвижкой шибера. Пульсирующие шиберы устанавливают в начале гидравлического транспортера, в конце — перед свекломойками и посередине, чаще всего после свеклоподъемной станции. При перегрузке свекломоек задвижки пульсирующих шиберов прикрывают, и свекла накапливается в пространстве между дном желоба гидротранспортера и решетками. Когда загрузка свекломоек станет нормальной, шиберы приподнимают, причем обязательно в такой последовательности: у свекломоек, посередине, в начале гидротранспортера.

Гидротранспортер прост конструктивно и в эксплуатации. Недостатками являются большой расход воды (до 800% по массе свеклы) и потери сахара от вымывания из срезов поврежденной и особенно мерзлой свеклы.

Одной из возможных причин плохой подачи свеклы может быть недостаточное количество воды, занос транспортера песком, камнями и другими посторонними предметами; в зимнее время — попадание смерзшихся глыб свеклы; поступление из секционных отстойников грязной воды.

Подъем свеклы

Из нижнего гидротранспортера в верхний свеклу поднимают различными подъемно-транспортными механизмами.

Типовой свеклонасос УС-2 или УС-3, горизонтальный с турбиной одностороннего всасывания, компактен, прост и надежен в работе, позволяет подавать свекло-водяную смесь на высоту 12—28 м. Для нормальной работы насоса отношение количества свеклы к воде должно быть 1:7. Свеклонасос хорошо отмывает свеклу от примесей, чем облегчает работу свекломойки, однако часть корней повреждает.

Количество примесей (в том числе зеленой массы), поступающих со свеклой с полей, т. е. фактическая ее загрязненность, достигает иногда 10% к массе свеклы и более. Отмыть все примеси на гидротранспортере не всегда удается. Для окончательной очистки свеклы от механических примесей применяют свекломоечные машины.

Очистка свеклы от механических примесей

Свекла, поступающая на переработку, содержит землю, песок, камни, ботву, солому. Попадание примесей в свеклорезку затрудняет получение качественной стружки, поэтому их отделяют еще до мойки свеклы.

Для отделения от свеклы примесей легче воды применяют соломо- и соломоботволоушки, мало различающиеся конструктивно.

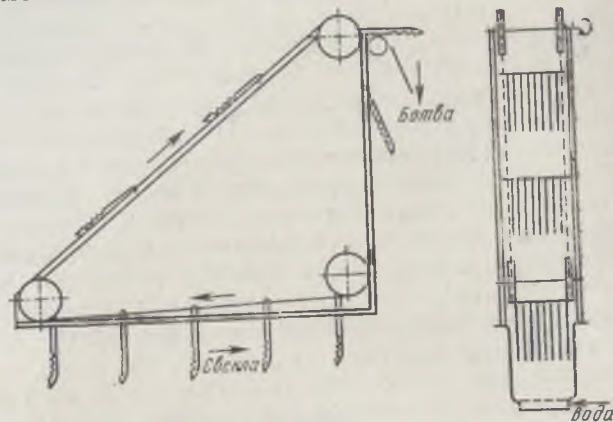


Рис. 5. Соломоботволоушка ССТ-700М.

В качестве типовых приняты механизированная грабельно-цепная соломоботволоушка треугольной формы ССТ-700М и горизонтальная прямоугольная двухвалковая соломоботволоушка СБГМ-1.

Принцип действия соломоботволоушки (рис. 5) состоит в удер- живании соломы, ботвы и других примесей граблями с зазубринами. Для этого грабли погружаются в желоб гидротранспортера на глубину не менее 200 мм от уровня воды и движутся про- тив потока в гидротранспорте. В верхнем положении граб- ли встряхиваются, при этом уловленные примеси сбрасы- ваются в приемник, установ- ленный под углом 60°. Для нормальной работы соломобот- волоушку устанавливают за пульсирующим шибером на участке транспортера с равно- мерным потоком.

Для отделения примесей тя- желее воды на гидротранспор- тере устанавливают песко- и камнеловушки (рис. 6).

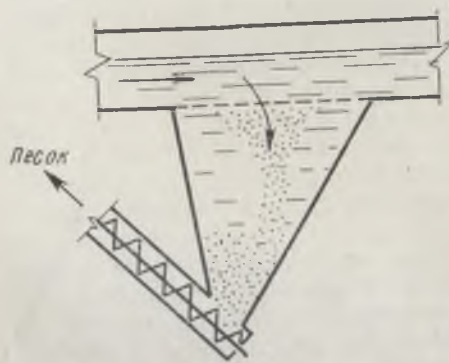


Рис. 6. Песколловушка ПЛ-60.

В качестве типовой принята песколловушка типа ПЛ-60, пред- ставляющая собой вырез в дне желоба гидротранспортера, который покрыт решеткой. Песок проваливается через решетку в гермети- ческий бункер, из которого он периодически или непрерывно уда- ляется с частью воды.

Для улавливания камней, гальки, металлических предметов при- меняют типовую непрерывнодействующую камнеловушку ЛТП-62 системы Павлюка — Соколова. Корпус камнеловушки является рас- ширенным участком гидротранспортера с полукруглым днищем. В нем вращается ситчатый барабан с ленточными шнеками. Смесь свеклы и воды проходит внутри вращающегося барабана. Крупные камни внутренним шнеком транспортируются навстречу свекло- водяной смеси к отверстию выгрузочного вращающегося устрой- ства, а песок транспортируется сюда же по днищу корпуса наруж- ным шнеком. Камнеловушка позволяет удалить до 98% крупных и до 92% мелких камней и песка.

Улавливание свекловичных отходов

После отделения легких и тяжелых примесей свекло-водяная смесь поступает на дисковые водоотделители, установленные перед свекломойками и после них. Водоотделители представляют собой горизонтальные параллельные валы (8 шт.), на которые надеты фи- гурные резиновые диски, вращающиеся по ходу свеклы и подающие ее в свекломойку. При этом измельчается до 3% свеклы, и транс- портная вода, содержащая бой и хвостики свеклы, проходит в зазоры между дисками.

После дисковых водоотделителей воду направляют на ротацион- ный улавливатель боя свеклы. Из транспортно-мочных вод улав- ливается от 0,5 до 2% к массе свеклы боя свеклы и отломившихся хвостиков. Хвостики (до 10 мм) нежелательно возвращать в пере- работку, так как чистота клеточного сока в них имеет величину, близкую к чистоте мелассы (64—68 ед.).

После улавливателя устанавливается гравитационный классификатор боя: более крупный бой направляется вместе с боем свек- лы после водоотделителя в специальную мойку, из которой он пере- качивается насосом в шнековый водоотделитель и далее в бункер под свекловичными весами, а мелкий бой, примеси и хвостики лен- точным транспортером удаляются с завода (наличие песка и кам- ня в хвостиках исключает их использование в качестве корма).

Мойка свеклы

На сахарных заводах СССР применяются свекломойки различ- ных систем. В качестве типовой принята модернизированная одно- корпусная свекломойка Добровольского КМЗ-57М. Для мойки свек- лы повышенной загрязненности (до 10%) разработаны комбиниро- ванные свекломойки типа СМК-58, СМК-15-60, СМК-30-62, КМЗ-М.

Свекломойка КМЗ-57М (рис. 7) состоит из горизонтального полуцилиндрического корпуса, разделенного вертикальной перегородкой 5 на моющую и выбрасывающую части. В нижней части перегородки находится отверстие, величина которого регулируется шибером 6. Внутри моей части корпуса от самостоятельного привода 10.

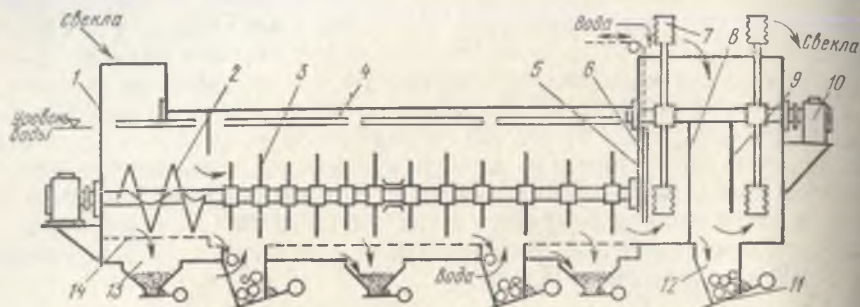


Рис. 7. Свекломойка КМЗ-57М:

1 — корпус; 2 — шнек; 3 — лопасть; 4 — щель; 5, 8, 9 — перегородка; 6 — шибер; 7 — ковш; 10 — привод; 11 — крышка камнеловушки; 12 — камнеловушка; 13 — песколовушка; 14 — ситчатое дно.

вода вращается с частотой 20 об/мин квадратный вал с деревянными лопастями. Со стороны привода вал снабжен коротким сплошным шнеком 2.

Моей часть имеет двойное дно — нижнее сплошное и верхнее ситчатое. Полезный объем моей части 20 м³, длина 8 м. Выбрасывающая часть разделена на три части сплошной перегородкой 8 и перегородкой 9, имеющей отверстие в нижней части.

Выбрасывающее устройство состоит из двух рядов ковшей, установленных на общем валу. Каждый ряд имеет восемь ковшей 7. Вал имеет самостоятельный привод 10 и вращается с частотой 4,1; 5,4; 8,1 об/мин.

В нижней части сплошного дна корпуса установлены камнеловушки 12 с секторным затвором и крышкой 11 и песколовушка 13.

Свекломойка работает следующим образом. Поступающая свекла равномерно подается шнеком в основную моющую часть, заполненную водой, где она интенсивно перемешивается и перемещается лопастями 3 к отверстию в перегородке 5. Под воздействием лопастей и взаимного трения корнеплоды освобождаются от примесей. При этом легкие примеси всплывают, земля и песок, пройдя ситчатое дно 14, накапливаются в песколовушках, а камни попадают в камнеловушки, из которых свекла вымывается непрерывным противотоком воды. Свекла, освобожденная от примесей, захватывается в первом отделении выбрасывающей части ковшами первого ряда и перебрасывается во второе. Ковши второго ряда перебрасывают свеклу из второго отделения на водоотделитель.

Производительность выбрасывающей части регулируется шибером и частотой вращения ковшей.

Для эффективного отделения легких примесей уровень воды в моющей части на 300—400 мм выше лопастей. С зеркала воды примеси смываются тонкими струями воды, поступающей из перфорированной трубы, через щели 4.

Удаление уловленных примесей осуществляют по графику: из песколовушек не реже двух раз в час, из камнеловушек — два раза в смену. Расход чистой воды на мойку свеклы — 70—80% к массе свеклы.

Для нормальной работы свекломойки в нее непрерывно подают свежую воду температурой не выше 20°C. Предусмотрен подвод теплой (барометрической) воды на случай переработки смерзшейся свеклы. Недопустимо попадание в моющую часть больших количеств загрязненной транспортерно-моечной воды. Заполненную мойку пускать в работу нельзя. В случае предусмотренной временной остановки мойку предварительно освобождают от свеклы как минимум наполовину.

В помещении для мойки свеклы поддерживают температуру воздуха не ниже 16°C во избежание образования тумана.

В практике в СССР и за рубежом находят применение отмывание свеклы с помощью дополнительного центробежного свеклонасоса и окончательная мойка свеклы на удлиненном валковом водоотделителе чистой водой из форсунок или сопел под давлением 0,8—1,2 МПа. При этом насос используют для подъема свеклы на высоту до 28 м, исключая для этой цели свеклоэлеватор.

Очистка транспортерно-моечных вод

В 1 л транспортерно-моечных вод может содержаться 400—600 мг растворенных веществ и 10—20 г взвешенных веществ. Во взвешенном состоянии находятся земля, солома, ботва, кусочки свеклы, а в растворенном — вещества, извлеченные из почвы, представшей к свекле, и сахар, вымытый из поврежденных корней. Вторичное использование этих вод или сброс их в водоемы возможны только после их очистки.

Для ускорения процесса очистки, укрупнения частиц и улучшения их седиментационных свойств воду предварительно обрабатывают коагулянтom — известью. Известкование транспортерно-моечных вод активизирует процесс осаждения и сокращает на 20% время осветления воды. Оптимальная доза известкового молока (плотностью 1,2 г/см³) составляет 1,5—2,0 см³ (0,046% CaO) на 1 л воды при pH транспортерно-моечной воды 9,5—10,3. Для стерилизации осветленную воду иногда обрабатывают жидким хлором или хлорной известью (время обработки не менее 30 мин). При этом хлор окисляет и разрушает органические вещества.

Основную очистку транспортерно-моечных вод от взвешенных частиц осуществляют в отстойниках. Широкое распространение получили для этой цели многосекционные отстойники системы Гипросахара с самотечным удалением осадка и более прогрессивные

отстойники с механизированным удалением осадка, которые применяют на многих заводах в настоящее время.

Осадок из отстойников с примесями органического происхождения выкачивают на поля фильтрации для биологической очистки. Естественную биологическую очистку вод III категории сахарных заводов осуществляют на полях фильтрации, в непроточных биологических прудах и на полях орошения.

Способ очистки воды путем ее фильтрации через грунт основан на способности почв, а точнее ряда микроорганизмов, содержащихся в них, превращать растворенные в воде вещества в простые минеральные соединения. Поля фильтрации работают эффективно, если грунты имеют высокую фильтрационную способность.

При очистке сточных вод в непроточных биологических прудах воды, предварительно обработанные известью и осветленные отстаиванием, перекачивают в пруды, в которых поддерживается определенный слой воды (не выше 1,2 м) в течение длительного времени. Однако эти оба способа очистки требуют больших земельных площадей.

Способ очистки сточных вод на полях орошения является наиболее прогрессивным, так как при этом почвы удобряются и повышается урожайность сельскохозяйственных культур.

Взвешивание свеклы

Из моечного отделения свекла поднимается ковшовым элеватором на горизонтальный контрольный транспортер, где освобождается от ферромагнитных примесей с помощью электромагнитного сепаратора¹, и попадает в бункер автоматических весов.

Для нормальной работы элеватора необходимо обеспечить натяжение цепи и правильное положение карманов. При внезапной остановке перед его последующим пуском элеватор рекомендуется разгружать ручным приводом через храповое устройство.

Для взвешивания свеклы применяют автоматические порционные весы ДС-800 (рис. 8), которые устанавливают между электромагнитным сепаратором и бункерами над свеклорезками. Весы снабжены счетным механизмом с двумя шкалами. Верхний счетчик фиксирует массу порции 800 кг, а нижний — сверх 800 кг (перевес обнаружится в результате поступления в ковш небольших количеств свеклы до прекращения подачи ее из бункера весов). Производительность весов ДС-800 составляет до 70 т/ч. Весы делают два отвеса в минуту. Точность взвешивания для каждого отвеса составляет $\pm 1\%$, или 8 кг. Объем ковша 1,83 м³.

Большое влияние на точность взвешивания порционных весов оказывает равномерная подача свеклы; резкие рывки ковша быстро

¹ Электромагнитный сепаратор представляет собой транспортер с шириной ленты до 800 мм, движущийся со скоростью 0,3—0,4 м/с. Ведущий барабан является одновременно электромагнитом. При прохождении ленты транспортера по шкиву ферромагнитные примеси притягиваются через ленту; при сходе ленты с электромагнитного шкива примеси падают, а свекла попадает в весы.

выводят механизм весов из строя, искажают показания счетчика. Автоматические весы периодически проверяют путем взвешивания свеклы, выгруженной из ковша, на десятичных весах, установленных специально для этой цели.

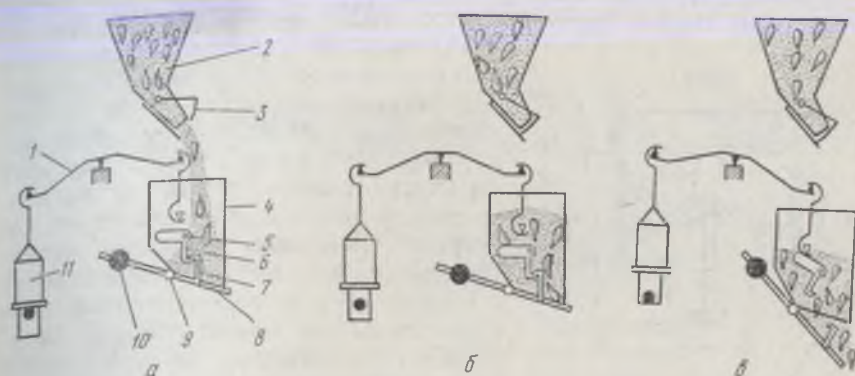


Рис. 8. Принципиальная схема работы автоматических порционных весов ДС-800: а — заполнение ковша свеклой; б — положение равновесия; в — опорожнение ковша; 1 — двойное коромысло; 2 — бункер; 3 — подвижная заслонка; 4 — ковш; 5, 9 — ось; 6 — собачка; 7 — крючок; 8 — открывающееся дно; 10 — противовес; 11 — гиредержатель.

Недопустимо переполнение бункера перед свеклорезками — это приводит к остановке ковша весов. Вместимость бункера обычно обеспечивает 20—30 мин работы свеклорезок.

Измельчение свеклы в стружку

В клеточном соке свеклы содержится растворенная сахароза, которую извлекают диффузионным способом. Чтобы облегчить диффузию и получить максимальный выход сахарозы, свеклу изрезают на пластины (стружку), у которых при наименьшей площади поперечного сечения получают наибольший периметр, т. е. при наименьшей массе стружки — наибольшую поверхность диффузии.

Свекловичную стружку получают на свеклорезках центробежных, дисковых и барабанных. Они имеют следующие конструктивные особенности. В центробежной свеклорезке ножи укреплены внутри боковой поверхности неподвижного вертикального цилиндра, а свеклу внутри цилиндра перемешивает улитка. В дисковой свеклорезке ножи укреплены в горизонтальном вращающемся диске, над которым неподвижно расположена свекла. В барабанной свеклорезке ножи укреплены внутри боковой поверхности вращающегося горизонтального цилиндра, а свекла расположена внутри этого цилиндра.

Центробежная свеклорезка. В качестве типовых приняты центробежные свеклорезки СЦБ-12 (с 12 ножевыми рамами) и СЦБ-16 (с 16). Свеклорезка (рис. 9) состоит из неподвижного вертикально-

го барабана, внутри которого вращается трехлопастная коническая улитка. Барабан имеет прямоугольные сквозные отверстия — гнезда (12 или 16). В специальные пазы барабана закладывают рамы с ножами.

Улитка укреплена на вертикальном валу, который вращается электродвигателем через редуктор. Над улиткой расположен ци-

линдрический приемник свеклы, который соединяет свеклорезку с бункером. Для регулирования количества свеклы, поступающей из бункера в свеклорезку, над приемником устанавливают пальчатый шибер. Улитка подхватывает свеклу лопастями и двигает ее навстречу режущим кромкам ножей. Центробежная сила прижимает свеклу к ножам, и получаемая свекловичная стружка из-под ножей снаружи барабана по коническому кожуху и далее по желобу поступает на транспортер.

Замену ножевых рам производят на ходу поворотным ручным механизмом. Раму с ножами вынимают из гнезда, при этом окно сразу же закрывается поднимающейся заглушкой.

Привод свеклорезки может быть нерегулируемый (односкоростной, на переменном токе) и регулируемый (на постоянном токе).

Ножи. Для резки свеклы применяют специальные ножи, различные по способу изготовления и форме лезвия (рис. 10). Наибольшее распространение на отечественных заводах получили фрезерованные ножи Чижека. Режущая кромка этих ножей образована острыми гранями, расположенными под углом 90° , и вертикальными ребрами.

При переработке волокнистой свеклы иногда применяют пальцевидные ножи с ребрами; при переработке мороженой или порченой свеклы применяют пальцевидные ножи без ребер.

В зависимости от качества свеклы применяют ножи различных размеров (номеров) с расстоянием между вершинами желобов 4, 5 и 6 мм. При переработке свеклы хорошего качества применяют ножи № 5, некачественной — № 5—7 или пальцевидные ножи. Штампованные ножи Голлера изготавливают с размерами от 6 до 10 мм.

В процессе работы лезвия ножей выходят из строя или тупятся

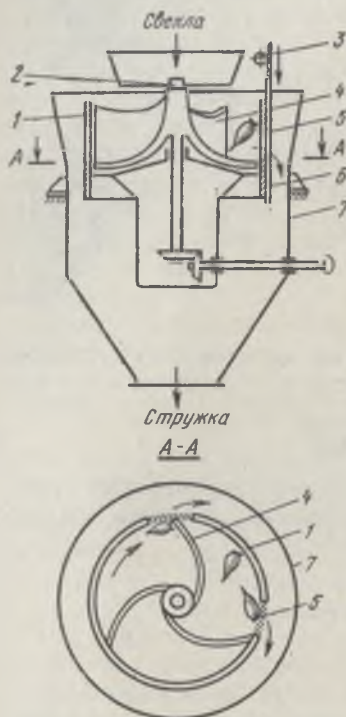


Рис. 9. Центробежная свеклорезка СЦБ-12:

1 — корпус; 2 — вал; 3 — реечный механизм; 4 — улитка; 5 — гнездо для рамы с ножами; 6 — заглушка гнезда; 7 — кожух.

Восстановление их — процесс, состоящий из следующих операций: отжиг, выравнивание ножей, торцовка на наждачном круге, очистка, фрезеровка, заточка, закалка и отпуск.

Ножевые рамы. В свеклорезку вставляют рамы с предварительно закрепленными в них ножами. Ножевая рама (рис. 11, а) пред-

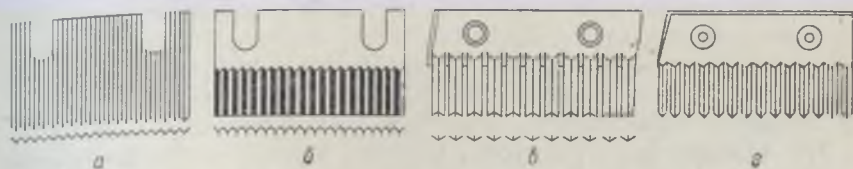


Рис. 10. Свеклорезные ножи:

а — штампованный без ребер; б — ребристый фрезерованный (Чижека); в — пальцевидный с ребрами; г — пальцевидный без ребер.

ставляет собой устройство для закрепления ножей и соответствующей их установки в свеклорезке. Для получения стружки различной толщины в раме напротив лезвий ножей устанавливают

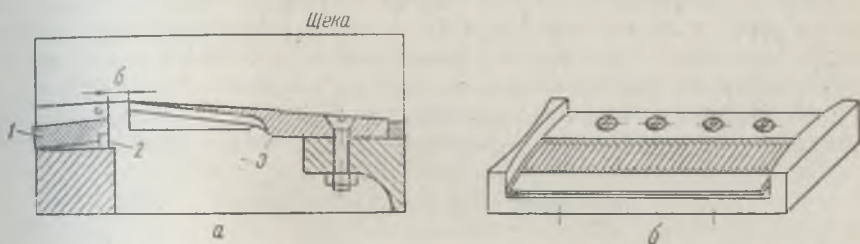


Рис. 11. Рамы с ножами:

а — установка ножа в раме (1 — планка; 2 — клин; 3 — нож); б — конструкция ножевой рамы.

планку, высоту подъема *а* которой можно регулировать. Величину зазора между ножом и планкой *б* регулируют передвижением ножа относительно планки. Эта величина зависит от качества и степени загрязненности свеклы и имеет следующие размеры (в мм): для чистой или вялой — 3—5; загрязненной — 4—7; волокнистой — 5—7; мороженой — 3—7. Чем выше загрязненность и волокнистость, тем больше величина зазора; зазор меньше 2 мм не допускается, так как стружка при этом ломается.

Для точного соблюдения величины зазора применяют калиброванные линейки-шаблоны, закладываемые вертикально между ножом и контрольной планкой.

Для регулирования подъема ножей в раме без извлечения ее из свеклорезки слесарь Верхнячского завода С. В. Забродский предложил оригинальную конструкцию ножевой рамы (рис. 11, б). Рама состоит из двух частей, соединенных шарнирно. Неподвижная

часть имеет П-образный вид, а подвижная часть, на которой крепятся ножи, представляет собой прямоугольник с приливом на торце. Без остановки свеклорезки закручивают барашек, и рычаг поворачивает подвижную часть, а вместе с ней и ножи, чем изменяется подъем их по отношению к контрольной планке. На такой поворот нужно 10—15 с.

Для получения пластинчатой стружки фрезерованные ножи устанавливают так, чтобы коньки каждого последующего ножа были сдвинуты относительно коньков предыдущего на величину примерно 0,7 толщины стружки. Этого достигают путем регулирования установки каждой рамы в отдельности по шаблону-кондуктору.

Обслуживание свеклорезок. Рабочее место у свеклорезок обеспечивают комплектом инструментов, применяемых при разборе, наборе и установке рам (крючья, ключи, шаблоны, кондукторы, оправки, молотки, напильники и т. п.).

Ножи по мере износа или выхода из строя заменяют новыми. Рамы с ножами, вынутые из свеклорезки (нельзя бросать!), моют в специальном бачке водой. Чистят ножи щетками и деревянными (или латунными) лопатками. При низком качестве свекловичной стружки (загрязненность и волокнистость) чистят ножи струей сжатого воздуха (0,58 МПа) или острым паром (до 1,47 МПа), добавляют древесный уголь или лед. Если это не помогает, ножи заменяют. Нормативный расход ножей составляет 1,0—1,5 шт. на каждые 100 т перерабатываемой свеклы.

Между свеклорезками, моечным отделением и диффузионными установками должна быть звуковая и световая сигнальная связь.

Качество свекловичной стружки

Свекловичная стружка должна быть ровной, упругой и содержать мезги (мелочи) не более 3%. Оптимальная толщина стружки определяется механической прочностью, т. е. способностью оказывать сопротивление сдавливанию. Тонкая стружка может ухудшить прохождение сока, а толстая стружка увеличит время процесса диффузии.

Технологическое качество стружки оценивают суммарной длиной ее полосок в 100 г (число Силина). Чем больше длина 100 г стружки, тем она тоньше. Диффузионные батареи перерабатывают стружку длиной до 30 м в 100 г, а непрерывнодействующие аппараты — до 20 м в 100 г. Практически длину стружки определяют раскладыванием 100 г ее средней пробы на доске с желобками. Брак (стружка длиной менее 1 см) и мезгу (полоски тоньше 0,5 мм) не раскладывают на доске, а отбирают и взвешивают отдельно. К браку относят также «гребешки» — неразделенные стружки. Содержание брака и мезги в стружке не должно превышать 3%.

Этим же способом можно оценить качество стружки по ее однородности: из 100 г средней пробы отбирают стружку желобчатой формы, а затем отдельные пластинки и частицы длиной до 15 мм, брак и мезгу взвешивают отдельно. Например, хорошей считается

стружка длиной 25 м в 100 г с желобчатостью 45—55% и браком не более 3%; пластинчатая стружка должна быть длиной 34 м в 100 г и содержать 85% пластинок.

Оценку качества стружки производят также по «шведскому» фактору F

$$F = \frac{\text{Масса стружки длиной } > 5 \text{ см}}{\text{Масса стружки длиной } < 1 \text{ см}} > 10,$$

который в большой мере характеризует способность к фильтрации столба стружки.

Для получения стружки высокого качества необходимо отсутствие примесей в свекле, высокое качество свеклорезных ножей и свеклорезок, квалифицированный обслуживающий персонал.

Глава VI. ПОЛУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СОКА

Краткие исторические сведения

В начале развития свеклосахарного производства сахар из свеклы извлекали прессовым способом. В 1833 г. Давыдов предложил получать сахар, настаивая измельченную свеклу в чанах на холодной воде, подкисленной сульфатной кислотой. В 1837 г. Шишков усовершенствовал способ Давыдова, предложив горячее настаивание измельченной свеклы в батарее из 7 сосудов в течение 4—5 ч. В 1857 г. Бобринской предложил смешанный способ, по которому измельченную свеклу сначала прессовали, а затем настаивали с водой. В 1864 г. Роберт изобрел и применил в производстве противоточный способ извлечения сахара из стружки в последовательно включенных сосудах (диффузорах). Этот способ получил название диффузионного способа. По мере технического совершенствования диффузионный способ стал применяться на всех заводах мира.

В России диффузионный способ впервые применили в 1868 г. на Сальковском и Ольшанском заводах. В настоящее время широкое внедрение получило осуществление диффузионного процесса в аппаратах непрерывного действия различных систем.

Физико-химические основы диффузионного процесса

Извлечение сахара из свекловичной стружки основано на явлении диффузии — способности двух жидкостей к взаимному проникновению и образованию однородных смесей. Движущей силой процесса диффузии является разность концентраций веществ, которая перемещает растворенное вещество из точки с большей концентрацией в точку с меньшей концентрацией.

Кинетическая теория растворов объясняет процесс диффузии непрерывным тепловым движением молекул жидкостей и растворенных веществ. При взаимном столкновении молекулы меняют направление своего движения и распределяются по всему объему растворителя, пока концентрация вещества не окажется одина-

ковой во всех точках раствора. Скорость движения молекул растворенного вещества увеличивается с повышением температуры и зависит от его молекулярной массы.

Коэффициенты диффузии веществ приблизительно обратно пропорциональны квадратному корню из их молекулярной массы ($K = 1/\sqrt{MM}$). Поэтому вещества с небольшой молекулярной массой диффундируют быстрее, а с большой — медленнее.

Осмос — процесс диффузии через пористую полупроницаемую перегородку. Такая перегородка пропускает растворитель, но не пропускает растворенное вещество, т. е. имеет место только диффузия растворителя.

Диализ — процесс диффузии через пористую проницаемую перегородку, которая пропускает растворитель и растворенные вещества определенного размера.

При извлечении сахара из свекловичной стружки в диффузионной установке имеют место явления чистой диффузии, осмоса и главным образом диализа.

Сахароза, растворенная в клеточном соке, находится в вакуолях клеток, которые окружены протоплазмой — полупроницаемой перегородкой; она пропускает воду, но не пропускает растворенных в клеточном соке веществ (осмос). Следовательно, для извлечения сахара из вакуолей клеток диффузионным способом необходимо денатурировать протоплазму или вскрыть клетки механическим способом. Протоплазму клетки денатурируют нагреванием выше 60°C или замораживанием. После этого сахар и сахара диффундируют через клеточные стенки, которые снижают величину коэффициента диффузии (по сравнению с чистым раствором) и задерживают диффузию крупных коллоидов (диализ). При получении стружки на свеклорезке 5—10% всех клеток вскрывают механически. Однако при этом происходит также денатурация глубинных слоев клеток вследствие механических воздействий (смятия, давления). Поэтому из стружки может быть извлечена большая часть сахара (до 40%) без нагревания.

Установлено, что максимально быстрая денатурация протоплазмы в клетках происходит при 80°C и выше; паренхимная ткань легко изменяется уже при 60°C.

Теория противоточной диффузии П. М. Силина

Если свекловичную стружку залить водой и оставить до наступления равновесия, то эффект извлечения сахарозы будет низким: в воду перейдет только половина содержащейся в стружке сахарозы. Такой способ экстракции называется настаиванием.

В настоящее время все установки для извлечения сахара из свекловичной стружки работают по принципу противоточного процесса диффузии.

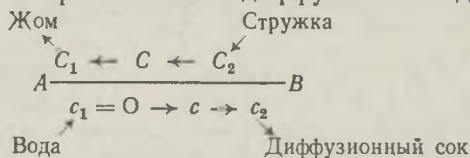
Рассмотрим этот принцип на примере. Допустим, в сосуд помещено 100 кг стружки, содержащей 18% сахара, и добавлено 100 кг воды. После денатурирования протоплазмы клеток за счет разности концентраций сахара, содержащегося

ся в стружке и в воде, сахароза начнет диффундировать в воду до полного выравнивания концентраций. Тогда при бесконечно большой длительности процесса содержание сахара в воде будет почти равно количеству его в стружке — 9%. Эту сахаросодержащую воду сольем полностью во второй сосуд, в который помещено такое же количество стружки с содержанием сахара 18%; после выравнивания концентраций сахара внутри стружки и в прибавленной воде ее величина составит $(18+9) : 2 = 13,5\%$.

Если полученный сок слить в третий сосуд, то после выравнивания концентраций содержание сахара в стружке и соке будет $(18+13,5) : 2 = 15,75\%$. По аналогии в четвертом и пятом сосудах концентрации сахара в стружке и соках будут соответственно $(18+15,75) : 2 = 16,9\%$ и $(18+16,9) : 2 = 17,4\%$. Следовательно, чем меньше становится разность концентраций сахара в клетках стружки и окружающем ее растворе, тем меньше движущая сила процесса диффузии и тем меньше возможность полного извлечения сахара из стружки.

Если же в первый сосуд со стружкой после слива сахаросодержащей жидкости вновь залить 100 кг воды, то сахара в этой стружке останется уже $9 : 2 = 4,5\%$. При последующем сливе сахаросодержащей жидкости и заливе свежей воды в стружке останется $4,5 : 2 = 2,25\%$ сахара. Таким способом достигают того, что в стружке остается 0,20—0,25% сахара, дальнейшее извлечение которого нецелесообразно (стружку с таким содержанием сахара называют жомом), а в воде накапливается до 14% сахарозы и несахаров — получается диффузионный сок.

Схематично процесс противоточной диффузии выглядит так:



По схеме стружка с концентрацией сахара C_2 поступает в головную часть B аппарата и транспортируется к хвостовой части A , откуда удаляется в виде жома с концентрацией сахара C_1 ; вода, двигаясь противоточно, обогащается сахаром, диффундирующим из стружки, и превращается в диффузионный сок, выходящий из головной части B , с концентрацией сахара c_2 .

Теория противоточного диффузионного процесса П. М. Силина основана на общем законе диффузии Фика, по которому количество продиффундировавшего вещества S пропорционально разности концентраций $C - c$ на границах диффундирующего слоя, продолжительности процесса τ и площади слоя F и обратно пропорционально толщине слоя x (рис. 12):

$$S = DF(C - c)\tau/x, \quad (3)$$

где D — коэффициент пропорциональности (коэффициент диффузии).

Коэффициент диффузии показывает, сколько вещества продиффундирует в единицу времени через единицу площади при разности концентраций, равной единице (при неизменных C и c за время τ).



Рис. 12. Схема диффузий.

Величина D зависит от рода вещества и температуры процесса диффузии. Так, для 10%-ного водного раствора сахарозы коэффициент диффузии имеет следующие значения:

Температура, °C	20	30	40	50	60	70
$D \cdot 10^9$, см ² /мин	22,4	29,5	39,2	48,7	63,0	83,5

При выводе формулы (3) толщина диффундирующего слоя была принята x . Если допустить, что стружка однородна по толщине d и концентрация сахарозы в ней изменяется по прямолинейному закону, то средняя концентрация сахарозы в стружке будет находиться на расстоянии $d/4$ от ее поверхности (так как максимальный путь диффундирования сахарозы — от середины стружки — $d/2$, а минимальный — от внешнего края стружки — 0).

За время прохождения свекловичной стружки через диффузор из нее в воду перейдет сахарозы $S = C_2 - C_1$ (где C_2 и C_1 — соответственно концентрация сахара в соках стружки и жома). Тогда уравнение (3) примет вид

$$C_2 - C_1 = 4DF(C - c)\tau/d,$$

где $C - c$ — средняя разность концентраций внутри и на поверхности стружки за все время процесса диффузии.

В этом уравнении величины $C - c$, F и d трудно определены, но после некоторого преобразования уравнения их можно выразить через коэффициент отбора сока n , длину стружки l , C_2 и C_1 . В результате получаем уравнение диффузии

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{n-1 + C_1/C_2}{n C_1/C_2} = ADl\tau, \quad (4)$$

где A — экспериментальный коэффициент, включающий ряд факторов, не поддающихся учету, — неоднородность размеров стружки в аппарате, конструкцию диффузионной установки и режим ее работы. При нормальных условиях работы величина коэффициента A составляет $(5-7) \cdot 10^{-5}$.

Факторы диффузионного процесса

Уравнение (4) позволяет оценить роль ряда факторов, определяющих качественную сторону диффузионного процесса. Так, с увеличением откачки уменьшается концентрация сахара в диффузионном соке, что увеличивает движущую силу диффузионного процесса ($C - c$) и соответственно количество извлеченного сахара S ; с увеличением длительности процесса и длины стружки количество продиффундировавшего сахара также увеличивается.

Конструктивные особенности транспортных систем современных непрерывнодействующих диффузионных аппаратов позволяют перерабатывать стружку длиной от 8 до 20 м в 100 г; длина 100 г стружки для диффузионных батарей — от 20 до 30 м. В непрерывнодействующих аппаратах процесс диффузии ведут при средней температуре 68—72°C, а в диффузионных батареях максимальной средней температурой может быть 80°C при 40°C в головных и хвостовых

диффузорах. Время процесса в диффузионных аппаратах — 50 мин и выше, время оборота диффузионной батареи — до 45 мин. Современные диффузионные аппараты дополнены прессами для жома, что позволяет снизить величину откачки до 105% и получить нормативные потери сахара с жомом.

Теоретически было показано, что процесс диффузии протекает интенсивнее, если использовать длинную и тонкую стружку. Однако необходимо помнить, что в процессе диффузии из стружки в сок переходят кроме сахарозы различные несахара, понижающие чистоту диффузионного сока. Молекулярная масса большинства из них меньше, чем у сахарозы, поэтому скорость их диффузии выше, чем сахарозы (исключение составляют вещества типа целлюлозы и гемицеллюлозы, которые не переходят в диффузионный сок, и белки, до 30% которых вымывается из вскрытых на резке клеток), поэтому из длинной и тонкой стружки в диффузионный сок поступает больше белков и коллоидов.

Пектиновые вещества обладают незначительным коэффициентом диффузии, однако их растворимая фракция (гидратопектин) диффундирует из клеточного сока достаточно полно. Задержать диффузию растворенных пектиновых веществ нельзя, но необходимо принимать все меры к снижению перехода нерастворимой формы (протопектина) в растворимую (гидратопектин). Растворение протопектина проходит по всей массе стружки и зависит от температуры, длительности процесса и реакции воды; откачка сока не влияет на растворение протопектина. Работа с тонкой стружкой позволяет затормозить процесс растворения протопектина за счет снижения времени диффундирования и создания оптимальной реакции среды в максимальном количестве клеток стружки, особенно в ее глубинных слоях, что трудно достижимо в толстой стружке.

Таким образом, минимальных потерь сахара на диффузии при сохранении качества диффузионного сока можно добиться, сокращая длительность процесса и одновременно снижая его температуру.

Типы диффузионных установок

На свеклосахарных заводах СССР в настоящее время процесс диффузии осуществляют преимущественно в непрерывнодействующих аппаратах: ротационных, наклонных шнековых, колонных. Наибольшее распространение получили наклонные шнековые диффузионные аппараты С-17М и А1-ПДС-20.

Независимо от конструкции к диффузионным аппаратам предъявляют следующие требования: работа на возможно более тонкой свекловичной стружке при равномерном омывании ее диффузионным соком; противоточное перемещение свекловичной стружки и сока при минимальном нарушении противотока; минимальные потери сахара с жомом при максимальной его концентрации в диффузионном соке; высокая чистота диффузионного сока при минималь-

ном содержании мезги. Конструкция аппарата должна быть несложной в изготовлении и ремонте и удобной для обслуживания в производственных условиях.

НАКЛОННЫЕ ШНЕКОВЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ АППАРАТЫ

На сахарных заводах нашей страны эксплуатируются наклонные шнековые диффузионные аппараты *DdS* (производство Дании, Франции, Польши) и их аналоги — аппараты С-17М и А1-ПДС-20,

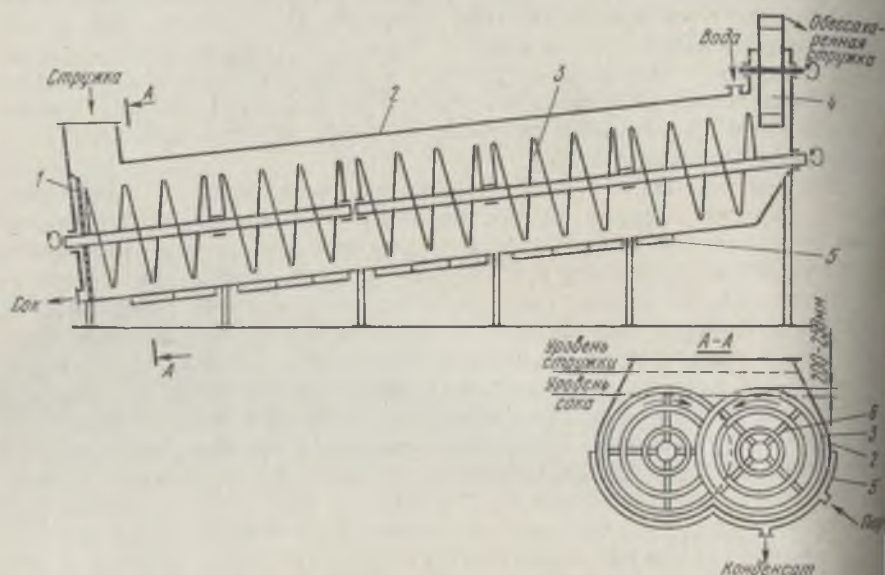


Рис. 13. Схема наклонного шнекового диффузионного аппарата С-17М:
1 — ситовая камера; 2 — корпус; 3 — шнек; 4 — лопастное подъемное колесо; 5 — паровая камера; 6 — кронштейн.

изготавливаемые отечественной промышленностью и принятые в качестве типовых.

Наклонный двухшнековый диффузионный аппарат С-17М представляет собой металлическое сварное корыто (рис. 13), установленное под углом 8° к горизонтальной плоскости. Сверху корыто закрыто крышкой, на которой расположены смотровые люки. На наружной поверхности днища расположено 13 паровых камер, разбитых на 5 групп, для нагревания соко-стружечной смеси непосредственно в аппарате без предварительного ошпаривания стружки. Для отбора сока в производство в начале корыта установлена камера с фильтрационным ситом, имеющим конические отверстия, которое регенерируется лопастями, укрепленными на трубовалах (или обратной подачей пара, диффузионного сока).

Свекловичная стружка транспортируется двумя параллельными

и вдвинутыми один в другой шнеками диаметром 2,4 м, витки которых изготовлены из отдельных стальных полос шириной 100 мм с постоянным шагом 0,968 м. Каждый шнек состоит из четырех секций, соединенных фланцами; шнек устанавливают в промежуточных опорах с подшипниками. При этом шнек с правым заходом витка вращается влево, а с левым — наоборот, т. е. шнеки вращаются во взаимно противоположных направлениях. Синхронное вращение валов от нижнего и верхнего электроприводов обеспечивает специальный конический дифференциальный механизм.

Свекловиная стружка через наклонный прямоугольный желоб поступает на первые питательные витки шнеков (головная часть аппарата) и транспортируется в хвостовую часть. Жом удаляется лопастным подъемным колесом с перфорированными черпаками.

Жомопрессовую воду вводят ниже точки ввода свежей воды на 1,5—2,0 м.

Загрузку аппарата ведут таким образом, чтобы уровень стружки не был выше верхней кромки шнека. Благодаря подъемным свойствам шнеков уровень сока в аппарате устанавливается наклонно и нормальной загрузкой считают такую, когда разность уровней между точкой непосредственно у ситовой камеры и точкой, отстоящей от нее на 4 м, составляет 0,4—0,5 м.

Аппарат С-17М эффективно работает на стружке длиной 8—10 м в 100 г полученной с помощью ножей Чижека с шагом 6 мм. Аппарат очень чувствителен к качеству стружки: при плохом ее качестве или перегреве ухудшается фильтрация сока, происходят вспучивание стружки около промежуточных подшипников и смыв ее соком обратно в головную часть (рециркуляция). В этом случае принимают меры к улучшению качества стружки, изменяют температурный режим, временно уменьшают подачу стружки и воды, увеличивают частоту вращения шнеков. После некоторого освобождения аппарата от некачественной стружки работу аппарата вводят в нормальный режим.

Принципиально такую же конструкцию имеет и наклонный двухшнековый диффузионный аппарат А1-ПДС-20 производительностью 2 тыс. т свеклы в сутки (производительность аппарата С-17М 1,5 тыс. т свеклы в сутки).

При эксплуатации аппаратов С-17М и А1-ПДС-20 необходимо выдерживать следующий нормативный технологический режим:

	С-17М	А1-ПДС-20
Длина 100 г стружки, м	9—12	20—25
Содержание брака в стружке, %	До 3	До 3
Соотношение подаваемой стружки и воды	1:1	1:1
Откачка сока, % к массе свеклы	120	120
Температура свежей воды, °С	65	65
pH свежей сульфитированной воды	6	6
Температура соко-стружечной смеси по зонам (снизу аппарата), °С		
I	68	68
II	72—76	72—76
III	72—74	72—74

IV	60	60
Средняя температура соко-стружечной смеси, °С	72	72
Длительность процесса диффузии, мин	До 105	45—55
Абсолютное давление пара, МПа	До 0,11	0,11
Частота вращения шнеков, об/мин	0,40—1,15	0,12—1,20
Удельная нагрузка стружкой объема аппарата, т/м³	0,65	0,65
Объемный коэффициент наполнения	0,5	0,5
Температура диффузионного сока, °С	30	30
pH диффузионного сока	6	6
Температура жомпрессовой воды, °С	74	74
Температура жома, °С	67	67
Выход жома, % к массе свеклы	80	65
Потери сахара с жомом, % к массе свеклы	До 0,3	До 0,3
Содержание сухих веществ в свежем жоме, % к массе жома	7,2	8

По сравнению с другими конструкциями наклонные шнековые диффузионные аппараты имеют небольшую металлоемкость и занимают незначительные производственные площади; денатурация стружки осуществляется непосредственно в аппарате; расход пара на подогрев стружки и мощности на привод шнеков небольшой; они довольно просты в обслуживании и ремонте.

К недостаткам аппарата С-17М следует отнести несовершенство конструкции шнеков, что увеличивает время диффузионного процесса и ухудшает качество сока. Кроме того, этот аппарат может работать только на толстой стружке. Этих недостатков лишен аппарат А1-ПДС-20.

КОЛОННЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ АППАРАТЫ

В зависимости от конструкции эти аппараты бывают одно- и двухколонными. К первым относится типовой одноколонный диффузионный аппарат КДА-30-66, входящий в комплект установки для получения диффузионного сока (рис. 14).

Стружка со свеклорезок, попадая внутрь ошпаривателя, перемещается в нем шнеком, нагревается до 70°С поперечным потоком сока в количестве до 350%, подогретого до 78°С, и уходит через сита. В небольшом отдельном объеме ошпаривателя стружка перемешивается мешалкой с 250% сока, подогретого до 78°С. Соко-стружечная смесь температурой 75°С центробежным насосом направляется в нижнюю часть диффузионного аппарата в точку над ситом, где 250% сока смешиваются с новым диффузионным соком и уходят через сита аппарата. Для отвода сока используются также десять контроластей нижнего ряда и две (из трех) подвижные лопасти самого нижнего ряда.

Колонный диффузионный аппарат КДА-30-66 представляет собой вертикальный цилиндр, состоящий из царг. Внутри цилиндра расположен трубовал, на котором установлены 19 рядов наклонных лопастей по 10 шт. в каждом ряду. Между рядами движущихся лопастей по внутренней образующей цилиндра аппарата установлены неподвижные контроласти с изменяемым углом захода винтовой линии. При вращении трубовала лопасти перемещают стружку по поверхности контроластей вверх. В пять контроластей верх

него, 19-го, ряда вводится свежая вода, а в 17-й или 15-й ряд — жомопрессовая вода. Оптимальная нагрузка стружкой активного диффузионного пространства колонны должна быть 72—78 кг/г. За состоянием фильтрующего сита в аппарате следят по вели-

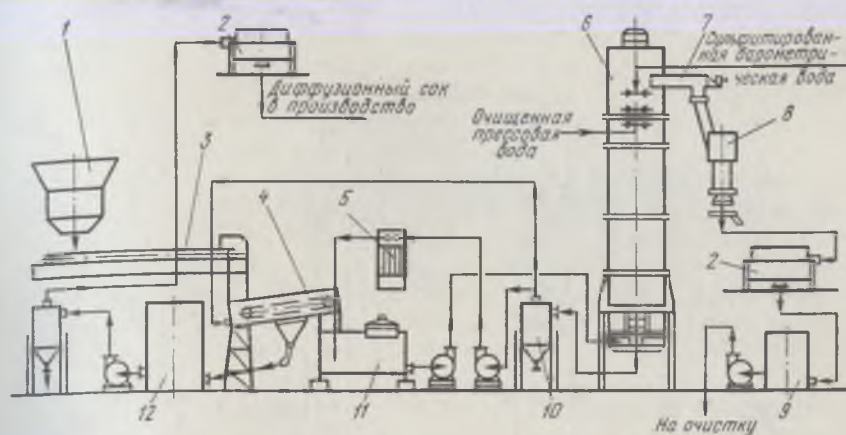


Рис. 14. Комплект диффузионной установки с аппаратом КДА-30-66:

1 — свеклорезка; 2 — мезоголовушка; 3 — ленточный транспортер; 4 — предошпариватель; 5 — теплообменник; 6 — диффузионный аппарат КДА-30-66; 7 — шнек; 8 — пресс для жома; 9, 12 — сборники; 10 — пескочловушка; 11 — ошпариватель.

чине перепада давления над ситом и под ним, которое не должно превышать 0,1 МПа.

При прекращении подачи стружки в аппарат на 10 мин и более его останавливают при медленном непрерывном откачивании сока.

Основные параметры работы диффузионной установки автоматизированы. Схема автоматизации позволяет осуществлять контроль, регулирование и дистанционное управление работой аппарата.

При работе на аппаратах типа КДА рекомендуется выдерживать следующий нормативный технологический режим:

Длина 100 г стружки, м	11—13
Содержание брака в стружке, %	До 3
Откачка сока, % к массе свеклы	120
Температура свежей воды, °C	65
pH свежей сульфитированной воды	6
Средняя температура соко-стружечной смеси в аппарате, °C	72
Длительность процесса диффузии, мин	70
Частота вращения трубовала, об/мин	0,2—0,6
Удельная нагрузка объема аппарата стружкой, т/м³	0,7
Объемный коэффициент наполнения	0,95
Температура диффузионного сока, °C	45
pH диффузионного сока	6
Температура жомопрессованной воды, °C	74
Температура жома, °C	67
Выход жома, % к массе свеклы	80

Потери сахара с жомом, % к массе свеклы	До 0,3
Содержание сухих веществ в сыром жоме, % к массе жома	7,2

Колонные диффузионные аппараты типа КДА устойчиво работают при переработке свежей свеклы, занимают незначительную производственную площадь, работоспособны при высокой нагрузке стружкой, удобны в эксплуатации и незначительно подвержены

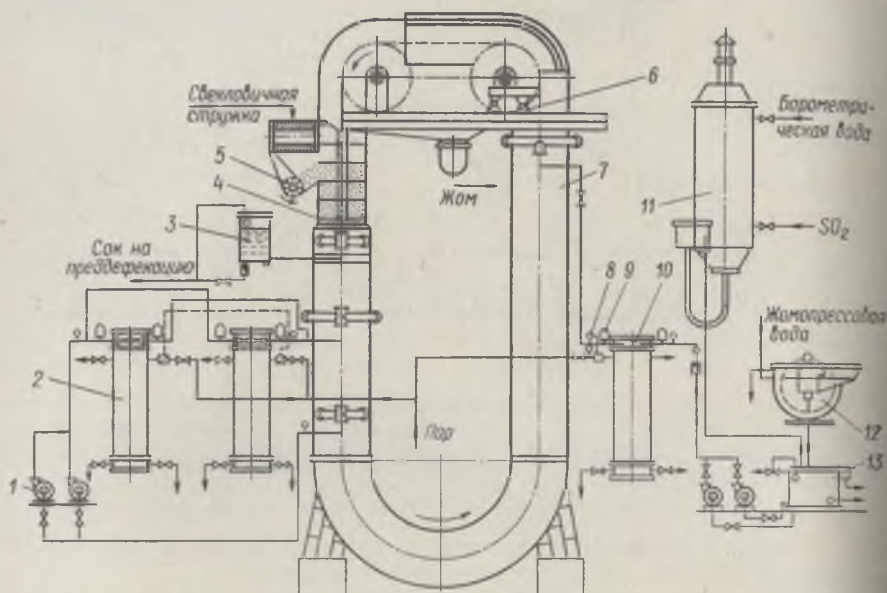


Рис. 15. Комплект диффузионной установки с аппаратом J-VIII:

1 — насос; 2 — теплообменник циркуляционного сока; 3 — сборник диффузионного сока; 4 — рамка с решеткой; 5 — ротационный забрасыватель стружки; 6 — динамометр; 7 — корпус аппарата; 8 — манометр; 9 — термометр; 10 — теплообменник воды; 11 — сульфитатор; 12 — мезголовушка; 13 — сборник воды.

коррозии. К недостаткам колонных аппаратов относят сравнительную сложность изготовления, высокую откачку сока, отсутствие возможности нагревания сока непосредственно в аппарате.

Некоторых из этих недостатков лишены двухколонные диффузионные аппараты J-IV и J-VIII (производство Венгрии). Эти аппараты, так же как и А1-ПДС-20, входят в комплект установки для получения диффузионного сока (рис. 15).

Корпус аппарата, состоящий из царг прямоугольного сечения (2600×1300 и 3500×1800 мм), устанавливают при помощи опор на фундамент. Внутри корпуса по направляющим устройства перемещаются две бесконечные пластинчатые цепи, к которым на расстоянии 600 мм прикреплены прямоугольные транспортирующие рамки с натянутыми на них цепями. Аппарат снабжен паровыми рубашками, которые обеспечивают поддержание заданной температу

туры процесса. Стружка на рамки подается специальным питателем-разбрасывателем. Барометрическую и жомопрессовую воды вводят раздельно через сопла в верхней части колонны. Движение воды и сока в аппарате обеспечивается соответствующей разностью уровней ввода воды и отбора сока из аппарата. Диффузионный сок отбирают из камеры, установленной в верхней части первой колонны, через сито с коническими отверстиями. Ниже камеры расположена зона с рядом сопел, через которые стружку ошпаривают и нагревают до 72°C диффузионным соком (500—600%) внутри аппарата. Точка отбора сока на ошпаривание расположена несколько ниже зоны ошпаривания стружки.

При нормальном технологическом режиме аппараты этой конструкции работают с откачкой сока 120—130% к массе свеклы при длине 100 г стружки до 20 м. Аппарат работает с нагрузкой свеклы до $0,48 \text{ т/м}^3$. Время процесса диффузии при скорости цепи $0,3 \text{ м/мин}$ — 60 мин. Работа аппарата полностью автоматизирована, что позволяет точно регулировать температуру циркуляционного диффузионного сока и напорной воды, откачку диффузионного сока.

К достоинствам аппарата относят работу на длинной стружке, которая не повреждается при транспортировке; отсутствие выносного ошпаривателя стружки; хорошую регенерацию сокоотделяющих сит слоем свежей стружки и незначительную мощность привода.

К недостаткам аппарата относят вытягивание транспортирующей цепи в процессе работы, что приводит к перекосу рамок и торможению цепей в направляющих устройствах; неравномерность выслаживания стружки (у стенок корпуса стружка обессахаривается значительно лучше).

Баланс продуктов диффузионного процесса

Из хвостовой части диффузионного аппарата удаляют жом, количество которого зависит от типа диффузионного аппарата и равно (в кг на 100 кг свеклы): в КДА — 70; в С-17М — 90; в А1-ПДС-20 — 65; в J-IV — 80; в диффузионной батарее — 90. Количество диффузионной воды, удаляемой вместе с жомом, составляет в среднем 12 кг.

Для снижения потерь сахара с жомом, экономии топлива при его сушке, уменьшения количества сбросных вод IV категории и снижения расхода свежей воды на диффузионный процесс жом необходимо прессовать до содержания сухих веществ не менее 16%. При этом ориентировочно можно считать, что в 100 кг отжатого жома содержится 5,0 кг мякоти и 0,5 кг сахара и растворимых несахаров. Тогда количество отжатого жома составит $5,5 \cdot 100 : 16 = 34 \text{ кг}$, а количество сока в нем $34 - 5 = 29 \text{ кг}$.

Количество жомопрессовой воды составит: для КДА — $70 - 34 = 36 \text{ кг}$; для С-17М и диффузионной батареи — $90 - 34 = 56 \text{ кг}$; для А1-ПДС-20 — $65 - 34 = 31 \text{ кг}$; для J-IV — $80 - 34 = 46 \text{ кг}$. Вся жомо-

прессовую воду после соответствующей очистки и стерилизации возвращают в диффузионные аппараты.

Прессование жома уменьшает содержание в нем сока, а следовательно, и сахара. В отжатом жоме остается следующее количество сока: для КДА — $29/(70-5) = 0,40$ кг; для С-17М и диффузионной батареи — $29/(90-5) = 0,34$; для А1-ПДС-20 — $29/(65-5) = 0,48$; для J-IV — $29/(80-5) = 0,39$ кг. Отсюда видно, какое большое значение имеет прессование жома и возврат жомопрессовой воды на диффузию.

Обеспечение стерильности диффузионного процесса

Микробиологические процессы, протекающие в диффузионном аппарате, могут явиться одним из источников потерь сахара в производстве. Первичными источниками инфекции являются свекловичная стружка, барометрическая и особенно жомопрессовая воды. Поэтому в свеклоперерабатывающем отделении необходимо поддерживать стерильные условия.

Для подавления активного развития микробиологических процессов независимо от конструкции диффузионных аппаратов необходимо стремиться поддерживать среднюю температуру в пределах $70-72^{\circ}\text{C}$. При переработке свеклы плохого качества при средних температурах ниже 70°C в аппараты вводят через каждые 2 ч 40%-ный раствор формалина (10 кг на 100 т свеклы) на расстоянии $1/4-1/5$ длины аппарата от точки ввода воды.

При эксплуатации колонного аппарата в ошпариватель в зону циркуляции сока формалин добавляют каждый час.

Основным продуктом жизнедеятельности микроорганизмов в диффузионном аппарате является молочная (или α -оксипропионовая) кислота, которая образуется при температуре не выше 50°C в среде, содержащей от 5 до 20% сахара с оптимальной реакцией 5,0—5,8. Наиболее благоприятные условия для развития молочнокислых микроорганизмов существуют в хвостовой части аппарата С-17М на тракте транспортирования жома к вертикальным прессам и в трубопроводе жомопрессовой воды до ее стерилизации.

Подготовка воды для диффузионного процесса

При работе непрерывнодействующих диффузионных аппаратов без прессования всего получаемого жома и полного возврата всей жомопрессовой воды практически невозможно получить минимальные потери сахара с жомом. При прессовании жома, например, до 18—20% СВ жомопрессовая вода будет содержать коллоидных веществ в количестве не меньшем, чем в диффузионном соке. Диффузионный сок содержит до 0,5% к массе свеклы (по сухому веществу коллоидов) коллоидных веществ, на отделение которых современными способами очистки для обеспечения нормальной фильтрации расходуется 4—5-кратное количество CaO .

Возврат, например, 40% к массе свеклы неочищенной жомопрессовой воды при откачке 120% повысит содержание коллоидных веществ в диффузионном соке на $0,5 \cdot 40:120 = 0,166\%$ к массе свеклы, что увеличит расход CaO минимум на $0,166 \cdot 4 = 0,664\%$ к массе свеклы, повысит потери сахара с фильтрационным осадком.

Известны различные способы очистки и стерилизации жомопрессовой воды. Эти способы предусматривают очистку воды от

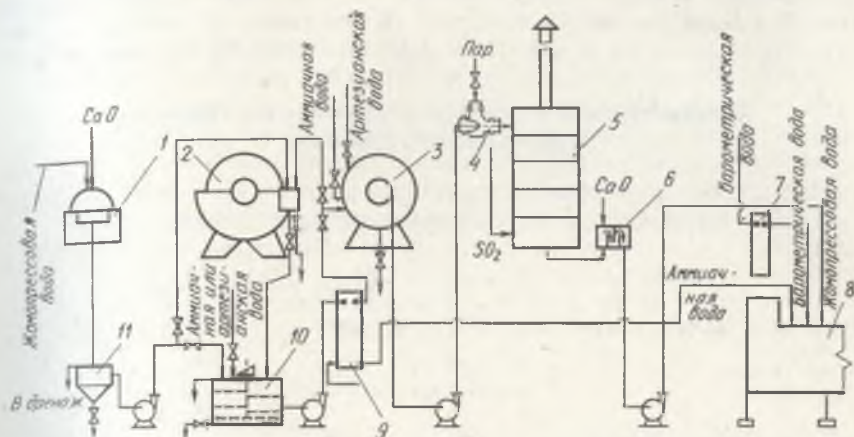


Рис. 16. Технологическая схема подготовки воды для диффузионного процесса: 1 — мезголовушка; 2 — отстойник; 3 — вакуум-фильтр; 4 — мешалка; 5, 10 — теплообменник; 6 — дисковый фильтр; 7 — паровой эжектор; 8 — сульфитатор; 9 — контрольный ящик; 11 — диффузионный аппарат.

мезги и взвешенных частиц на мезголовушках с последующей обработкой воды кислотой или известью и отделением коагулята декантацией, сепарированием или фильтрацией (в последнем случае в качестве фильтрующего наполнителя используют осадок карбоната кальция, получаемый в результате дефекосатурации воды 0,3—0,5% CaO к массе воды).

В жомопрессовую воду перед мезголовушками (рис. 16) непрерывно добавляют CaO в виде известковой воды или молока, содержащих 0,03—0,05% CaO к массе жомопрессовой воды, повышая pH воды до 10,5—11,5. Подщелоченную воду направляют в типовой отстойник. Частично осветленную воду перекачивают в грязевые мешалки вакуум-фильтров. Соотношение воды и фильтрационного осадка 3:1. Смесь воды с осадком перемешивают и подогревают в теплообменнике («жидкость — жидкость») аммиачной водой, направляемой в диффузионный аппарат. Воду фильтруют на вакуум-фильтре или дисковом фильтре. Фильтрат направляют в сульфитатор, при этом возможно дополнительное повышение его температуры паром в струйном подогревателе. При необходимости повышают pH сульфитированной воды, добавляя известковую воду в контрольный ящик сульфитатора. Аммиачную и барометрическую воды направляют в хвостовую часть аппарата без сульфитации.

При смешивании щелочных барометрической и аммиачной вод с сульфитированной жомопрессовой происходит снижение их рН при одновременной стерилизации барометрической воды. Необходимо предусмотреть линию подачи барометрической воды и ее нагревание, так как на некоторых заводах отсутствует артезианская вода и недостаточно аммиачной воды.

Схема позволяет осуществить стерилизацию барометрической воды и снижение рН барометрической и аммиачной вод непосредственно в диффузионном аппарате. Схема комплектуется из типового оборудования и может быть выполнена на любом заводе.

Сравнительная оценка диффузионных аппаратов непрерывного действия

При сравнении диффузионных аппаратов учитывают основные технологические и технико-эксплуатационные показатели их работы:

	С-17М	А1-ПДС-20	КДА-30-66	Ј-VIII
Производительность, т свеклы в сутки	1500	2000	3000	1500
Металлоемкость, т	110	264	175,5	160
Габариты, мм	26400×4300	19500×5500	8300×8300× ×22000	—
Мощность электродвигателя привода, кВт	58	60	75	23,4
Коэффициент заполнения объема аппарата	0,7	0,7	1,0	1,0
Масса стружки в единице объема аппарата, т/м ³	0,69	0,69	0,75	0,38
Длина 100 г стружки, м	9—12	20—25	11—13	20
Время активного диффундирования, мин	105	50	70	60
Откачка диффузионного сока, % к массе свеклы	120	120	120	130
Потери сахара с жомом, % к массе свеклы	0,3	0,3	0,3	0,35
Выход сырого жома, % к массе свеклы	90	90	70	80

Удельная металлоемкость диффузионных установок, занимаемая ими производственная площадь и удельный объем зданий зависят от производительности аппаратов. Наклонные диффузионные аппараты при равной суточной производительности имеют наименьшую металлоемкость; наименьшую площадь и объем здания занимают колонные диффузионные аппараты. Колонные и наклонные аппараты наиболее экономичны по всем показателям.

Для улучшения показателей работы диффузионных аппаратов обязательно отжимают весь жом и возвращают все количество обработанной жомопрессовой воды на диффузию. Поэтому необходимо оснащение диффузионных аппаратов любых конструкций прессами, способными отжимать жом до содержания в нем СВ не менее 18—20%.

Современная диффузионная установка непрерывного действия представляет собой автоматизированную технологическую линию. Управление всеми механизмами диффузионного отделения вынесено на щит с блокировкой необходимой последовательности пуска и остановки механизмов. Производительность установки по свекле стабилизируется на заданном уровне путем автоматического воздействия ленточных весов для стружки на производительность свеклорезки (изменяется частота вращения).

Количество воды, подаваемой на диффузию, поддерживается автоматически в соответствии с заданной откачкой (в % к массе свеклы), при этом регулирующие приборы обеспечивают возврат в аппарат всей жомопрессовой воды и добавление к ней недостающего количества барометрической воды. Автоматически поддерживается заданный температурный режим, заданная реакция воды и сока в аппарате и их стерильность.

На щите управления сосредоточивают дистанционные регистрирующие контрольно-измерительные приборы, записывающие показания датчиков температуры, расходов воды и стружки, pH, % СВ сока.

Глава VII. ОЧИСТКА ДИФфуЗИОННОГО СОКА

Состав диффузионного сока

Диффузионный сок представляет собой раствор сахара и несахаров. Содержание их в соке зависит от качества перерабатываемой свеклы и технологического режима работы диффузионной установки.

В состав диффузионного сока входят несахара, содержащиеся в растворенном состоянии в клеточном соке свеклы, и несахара, перешедшие из свекловичной стружки в раствор в процессе диффузии. Основное количество несахаров находится в молекулярном и коллоидно-диспергированном состоянии, некоторая часть — во взвешенном состоянии (крупные волокна растительных тканей, мезга, взвеси белков и др.).

По Классену, в диффузионный сок из свеклы переходят следующие количества различных веществ (в %): сухие вещества — 74; сахара — 96; минеральные вещества — 61; органические несахара — 70; белки — 23; другие азотсодержащие вещества — 99. Остальное количество этих веществ остается в жоме.

В зависимости от качества перерабатываемой свеклы pH диффузионного сока колеблется в пределах 5,8—6,5, что соответствует кислотности 0,02—0,04 % СаО по фенолфталеину.

Сок содержит в зависимости от состояния перерабатываемой свеклы и стерильности диффузионного процесса от 0,2 до 0,5 % reducing веществ и до 0,05 % рафинозы к массе свеклы.

Содержание пектиновых веществ в соке зависит от условий диффузионного процесса и составляет величину от нескольких сот до 1000 мг на 1 кг сока (кроме галактана и арабана).

Несахара диффузионного сока условно делятся на удаляемые при очистке по общепринятой схеме и неудаляемые, так называемые вредные несахара, которые являются патокообразователями. К вредным несахарам относятся соли щелочных металлов (Na, K), аминокислоты, инвертный сахар и пектиновые вещества, соляная и одноосновные органические кислоты (молочная, уксусная).

Присутствие в соке несахаров затрудняет непосредственное получение кристаллического сахара. Поэтому из диффузионного сока путем очистки удаляют максимально возможное количество несахаров, а затем сгущением и кристаллизацией получают из него кристаллический сахар.

Физико-химические основы очистки диффузионного сока

Диффузионный сок представляет собой водный раствор сахара и несахаров свеклы с разнообразными химическими и физическими свойствами, поэтому их выделение с помощью какого-нибудь одного химического реактива практически невозможно.

Вопросом очистки свекловичных соков занимаются с момента возникновения сахарной промышленности. Подсчитано, что для очистки и обесцвечивания сахарных соков и продуктов было предложено и испытано более 700 реактивов. На современных заводах из числа этих реактивов применяют оксид кальция в виде известкового молока. Известково-углекислотный способ очистки диффузионного сока позволяет удалить из него до 40% различных несахаров при сравнительно простых производственных операциях.

Применение извести для очистки диффузионного сока было испытано в различных вариантах. В настоящее время на свеклосахарных заводах приняты технологические схемы очистки, различающиеся вариантами режима очистки и последовательностью процессов.

Эффективное проведение процессов очистки сока зависит от условий, влияющих на растворимость извести, и физико-химического равновесия системы известь — сахар — вода. Растворимость извести в сахарных растворах выше, чем в воде, и увеличивается с повышением концентрации сахара за счет образования растворимых известковых сахаратов ($C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO$ и $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2CaO$).

Растворимость извести зависит также от температуры. По данным П. М. Силина, например, в 14%-ном сахарном растворе растворимость извести при 40°C в 5 раз выше, чем при 80°C, что объясняется различной скоростью гидролиза образующихся сахаратов, которая возрастает с повышением температуры. При нагревании сахарных растворов, насыщенных известью и не содержащих избытка нерастворенной извести, образуется трудно растворимый трисахарат кальция ($C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO$). Если в растворе присутст-

вует нерастворенная известь, то при его нагревании трисахарата кальция не образуется.

Растворимость извести в негашеной форме (CaO) выше, чем в форме известкового молока [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. В сахарном растворе растворимость извести повышается при увеличении содержания ее в суспензии до 2,0—2,5% к массе раствора; дальнейшее прибавление извести к раствору не влияет на ее растворимость.

При добавлении извести к диффузионному соку часть ее идет на нейтрализацию кислот, содержащихся в соке, и одновременно участвует в реакциях замещения щелочных солей органических кислот с образованием растворимых и нерастворимых солей кальция и переходом щелочных металлов (K, Na) в раствор в виде гидроксидов. Кроме того, некоторая часть взвешенной извести осаждается с коллоидными веществами, часть идет на образование сахаратов кальция и незначительная часть остается в растворе в свободном состоянии. Кроме химических реакций взаимодействия извести с сахарами, часть сахаров и продуктов их разложения адсорбируется кристаллами карбоната кальция (CaCO_3) и удаляется из сока вместе с выпавшими в осадок сахарами путем фильтрации.

Известно, что увеличение расхода CaO свыше 1,0% к массе свеклы при очистке сока не дает заметного повышения эффекта очистки и определяет только цветность и содержание солей кальция в очищенных соках.

В лабораторных условиях можно получить очищенные соки с одинаковой степенью чистоты при обработке их различными количествами CaO (0,25 и 2,0%). В заводских условиях на очистку сока расходуют обычно 2,0—2,75% CaO к массе перерабатываемой свеклы для обеспечения хорошей фильтрации соков первой сатурации, снижения цветности соков и сиропов и содержания в них солей кальция.

Попытка уменьшения расхода извести путем замены части карбоната кальция инертным фильтрующим наполнителем, например, измельченным шлаком, порошком из мела, песком и тому подобными материалами, не имела успеха, так как заменители не обладали специфическими адсорбционными свойствами карбоната кальция, получаемого непосредственно в массе сатурируемого сока, содержащего физически активную известь.

Н. Е. Логинов условно разделил все количество извести, расходуемое на очистку сока, на химически и физически активные части. Химически активной известью названа та часть ее (0,2—0,3% CaO к массе свеклы), которая расходуется для нейтрализации кислот сока, осаждения, разложения и коагуляции некоторых сахаров. Физически активной названа та часть извести (1,5—2,75% CaO к массе свеклы), которая осаждается на сатурации в виде CaCO_3 , адсорбирующего поверхностно-активные сахара и некоторые соли кальция.

Основной эффект очистки диффузионного сока достигается уже в процессе преддефекации и определяется реакциями нейтрализации, разложения и осаждения части молекулярно растворимых не-

сахаров сока. Одновременно в преддефекованном соке протекают процессы образования соединений кальция с белковыми, пектиновыми и коллоидными веществами. Смесь этих комплексов с мельчайшим нерастворимым осадком части осажденных молекулярно растворенных несахаров сока образует преддефекационный коагулят — осадок, практически нефилтруемый обычными способами.

Преддефекационный коагулят содержит около 0,5% к массе свеклы органических сухих веществ. Для отделения коагулята фильтрацией необходимо затратить 8—12-кратное количество карбоната кальция в качестве фильтрующего наполнителя, что в пересчете на известь составит ее средний 5-кратный расход: $0,5 \cdot 5 = 2,5\%$ СаО к массе свеклы. Эмпирический общий расход извести Q на очистку диффузионного сока определяется по формуле $Q = (CB - Cx) (\alpha/100) (q/100)$, где CB и Cx — содержание соответственно сухих веществ и сахара в диффузионном соке, % к массе сока; α — отбор (откачка) диффузионного сока, % к массе свеклы; q — эмпирический коэффициент расхода физически активной извести на очистку, % к массе несахаров диффузионного сока. По данной формуле можно определить приблизительно коэффициент расхода физически активной извести в процессе преддефекации q_1 .

Пример. Рассчитать величину q_1 , если известно, что $\alpha = 120\%$; $q = 80\%$; общий расход извести на очистку $Q = 2,5\%$ к массе свеклы; расход извести на преддефекацию $Q_1 = 0,4\%$ к массе свеклы.

Составим два уравнения:

$$CB - Cx = Q/(\alpha q) = 2,5/(1,2 \cdot 0,8),$$

$$CB - Cx = Q_1/(\alpha q_1) = 0,4/(1,2 \cdot q_1).$$

$$\text{Тогда } q_1 = qQ_1/Q = (0,8 \cdot 0,4 : 2,5) \cdot 100 = 12,8\%.$$

Таким образом, для получения преддефекационного коагулята и основного эффекта очистки достаточен коэффициент расхода извести 12,8% к массе растворенных несахаров сока, а для отделения коагулята фильтрацией при прочих равных условиях необходимы коэффициент расхода извести 80% к массе растворенных несахаров сока и проведение процесса первой сатурации.

На рис. 17 представлена зависимость общего расхода извести от содержания в диффузионном соке коагулята и растворенных несахаров.

Строгой количественной зависимости между содержанием молекулярно растворенных несахаров и количеством коагулята не установлено, но наблюдается четкая тенденция их параллельного увеличения с понижением качества свеклы и полученного из нее диффузионного сока.

По рис. 17 можно приблизительно определить расход извести на очистку диффузионного сока доброкачественностью, например, 79% и содержанием СВ 14%. Содержание Нс в этом соке равно 2,9%, тогда общий расход физически активной извести составит 2,75%, в том числе на преддефекации 0,45%.

Следует отметить, что формула Н. Е. Логинова для расчета эффекта очистки сока в зависимости от количества прибавленной физически активной извести в определенной мере справедлива только для расчета эффекта удаления красящих веществ и некоторых солей кальция.

Свекла и полученный из нее диффузионный сок содержат относительно постоянное количество молекулярно растворенных несахаров, которые селективно удаляются при очистке известью и диоксидом углерода (от 0,047 до 0,034% на 100% сахарозы в соке). Другая же часть оставшихся в очищенном соке растворенных несахаров может изменяться в довольно широком диапазоне (от 0,098 до 0,0266% на 100% сахарозы в соке) и тем самым определять величину эффекта очистки, который достигается в основном в условиях процесса преддефекации.

Пример. Количество несахаров, удаляемых при очистке, составляет $(100-79):79 = (100-82):82 = 0,046\%$ на 100 частей сахарозы, или $(0,046 \cdot 100 \cdot 100)/(79 \cdot 14) = 0,416\%$ к массе сока. Расход извести на преддефекацию при откачке, например, 120% равен $(0,45 \cdot 100 \cdot 100)/(120 \cdot 0,416) = 90\%$ к массе удаляемых несахаров. Общий же расход извести составит $(2,75 \cdot 100 \cdot 100)/(120 \cdot 2,9) = 79,2\%$ к массе всех молекулярно растворимых несахаров. Таким образом, расход извести на преддефекацию составляет $0,45 : 2,75 \cdot 100 = 16,3\%$ к массе всех несахаров и 90% к массе удаляемых несахаров.

В данном примере эффект очистки составит $0,046 \cdot 100 : 0,266 = 17,3\%$.

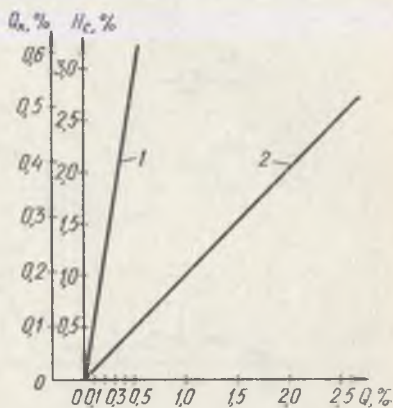


Рис. 17. Зависимость общего расхода физически активной извести Q от содержания в диффузионном соке растворенных несахаров H_c и коагулята Q_k при $q_1=80\%$, $q_2=12,8\%$ (1 — расход извести на преддефекацию; 2 — на очистку).

При очистке диффузионного сока, полученного из свеклы различного качества, прирост доброкачественности составляет 3—4 ед., не более. При этом $Дб$ диффузионного сока может колебаться от 80 до 86%, а общий эффект очистки — от 18% и выше. Стабильность величины прироста чистоты не зависит ни от качества свеклы, ни от расхода извести и технологической схемы очистки в целом. Эффект очистки зависит лишь от количества не удаляемых известью и диоксидом углерода растворенных несахаров диффузионного сока.

Типовая технологическая схема очистки диффузионного сока

В настоящее время известно свыше 70 вариантов схем очистки диффузионного сока. Все они основаны на обработке сока известью и диоксидом углерода и являются комбинацией элементов двух схем: классической и схемы Дорра.

Классическая схема очистки диффузионного сока включает теплую или холодную предварительную дефекацию с возвратом сгущенной суспензии из отстойников, горячую основную дефекацию, непрерывную первую сатурацию с фильтрацией при помощи фильтров-сгустителей, отстойников и вакуум-фильтров (при при-

менении отстойников обязательно проводят контрольную фильтрацию сока первой сатурации).

На большинстве сахарных заводов СССР принята типовая технологическая схема очистки диффузионного сока, отличающаяся от классической тем, что в ней 100—150% нефильтро-

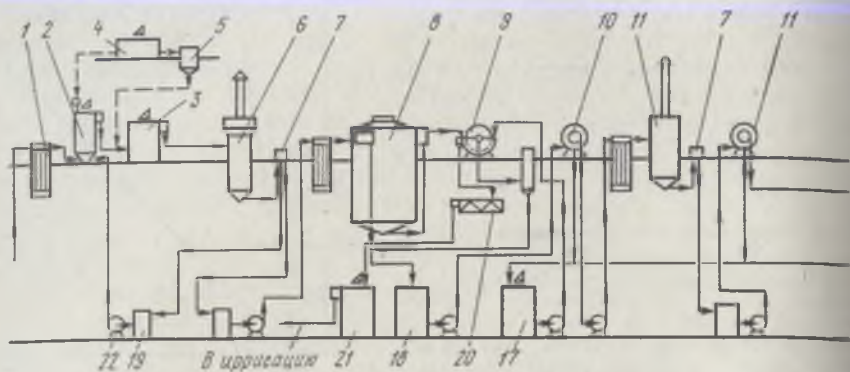


Рис. 18. Типовая аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока: 1 — теплообменник; 2 — аппарат предварительной дефекации; 3 — аппарат основной дефекации первой сатурации; 7 — контрольный ящик; 8 — декантатор; 9 — вакуум-фильтр; 10 — диско-тор; 14 — сульфитатор сока и сиропа; 15 — выпарная станция; 16 — мешалка кизельгура; 22 — насос.

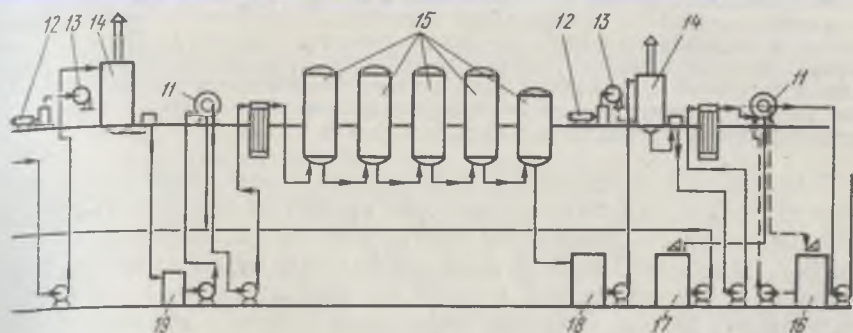
ванного сока первой сатурации возвращается на преддефекацию. По этой схеме (рис. 18) диффузионный сок после мезголовушек направляется насосом через теплообменник 1, в котором он нагревается до 80—90°C, в аппарат предварительной дефекации 2. Из него преддефекованный сок самотеком поступает в нижнюю часть аппарата основной дефекации, куда из дозатора непрерывно подается известковое молоко. Затем дефекованный сок также самотеком поступает в аппарат первой сатурации, где обрабатывается сатурационным газом, содержащим 30—32% об. CO_2 , до щелочности 0,08—0,10% CaO .

Нефильтрованный сок первой сатурации (100—150% к массе свеклы) из контрольного ящика 7 направляется насосом через теплообменник на предварительную дефекацию. К возвращаемому соку первой сатурации в контрольном ящике добавляется известковое молоко в количестве 0,25% CaO к массе свеклы или 10% дефекованного сока.

Сок первой сатурации из контрольного ящика насосом направляется через теплообменник в декантатор 8 для доведения его температуры до 90°C. Из декантаторов получают 75—80% осветленного сока и 25—20% соко-грязевой суспензии.

Осветленный сок подается на контрольные дисковые фильтры, а соко-грязевая суспензия через подогреватель — в корыто вакуум-фильтра. Отфильтрованные соки направляются на контрольную фильтрацию.

Сатурационный осадок (грязь) на вакуум-фильтрах промывается горячей аммиачной водой. Промой поступает через вакуум-сборник в сборник осветленного сока, так как он содержит до 7% сухих веществ и вследствие этого не может быть использован для приготовления известкового молока.



каций; 4 — мешалка известкового молока; 5 — дозатор известкового молока; 6 — аппарат
 вый фильтр; 11 — аппарат второй сатурации; 12 — печь для сжигания серы; 13 — вентиля-
 17 — мешалка осадка с фильтра; 18 — сборник; 19 — ловушка; 20 — шнек; 21 — ирригацион-

Промытый сатурационный осадок разбавляется водой и перекачивается на поля фильтрации.

Сок первой сатурации после контрольной фильтрации направляется через теплообменник в аппарат второй сатурации, где поддерживается температура 100—102°C. Здесь сок обрабатывается 0,20—0,25% CaO к массе свеклы и сатируется до оптимальной щелочности, которая обычно находится в пределах 0,01—0,05% CaO. Сатурированный сок фильтруется и затем подается в сульфитатор 14, где он обрабатывается сульфитационным газом, содержащим 10—12% диоксида серы (SO_2), до щелочности 0,005% CaO. Для сульфитации используют SO_2 , получаемый путем сжигания технической серы во вращающихся печах 12. Сульфитационный газ из печи через холодильник-сублиматор подается вентилятором в сульфитаторы жидкого сока и густого сиропа. Сульфитированный сок фильтруется и через теплообменник подается в первый корпус выпарной станции. Часть сока перед выпариванием отбирается на клеровку.

В теплообменниках перед выпарной станцией сок нагревается до температуры его кипения в первом корпусе (120 или 125°C).

На выпарной станции из сока выпаривается около 95% воды по массе свеклы и сок сгущается до сиропа, содержащего 65% сухих веществ.

Сироп из последнего корпуса выпарной станции и клеровка желтых сахаров поступают в сульфитатор, где обрабатываются SO_2

до щелочности 0,005% СаО, затем через теплообменник на дисковые фильтры и далее в сборник сиропа, установленный перед вакуум-аппаратами.

Одним из путей повышения эффективности существующих схем очистки диффузионного сока является предварительное механическое отделение преддефекационного коагулята до основной defeкации и первой сатурации. Для этой цели необходимы специальные осадительные центрифуги непрерывного действия, позволяющие отделять 98—100% преддефекационного коагулята. Практическое решение этой задачи позволит снизить общий расход извести на очистку, потери сахара с сатурационным осадком, непроизводительные затраты технологического пара; увеличить производительность типового фильтрующего оборудования, сократить производственный цикл в целом.

Оптимальная известково-углекислотная схема очистки диффузионного сока независимо от качества свеклы должна иметь такую последовательность процессов: прогрессивная предварительная defeкация, отделение преддефекационного коагулята или же defeко-сатурация с рециркуляцией и последующим отделением defeко-сатурационного осадка, основная defeкация, первая и вторая сатурации с отделением осадков как в типовой схеме.

Предварительная defeкация

Процесс обработки диффузионного сока физически активной известью в количестве 0,3—0,4% по массе свеклы называют предварительной defeкацией. Типовой схемой предусматривается предварительная defeкация диффузионного сока нефильтрованным соком первой сатурации (100—150% по массе) с добавлением извести или 10% defeкованного сока. В зависимости от кислотности и буферности диффузионного сока рН может колебаться от 10,6 до 11,6.

В зависимости от температуры и длительности воздействия извести образующийся осадок осаждается быстрее или медленнее, а отстоявшийся сок делается прозрачным. Предварительная defeкация является важным элементом схемы очистки диффузионного сока, обеспечивающим до 90% общего эффекта очистки.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФЕКАЦИИ

Предварительная defeкация обеспечивает наиболее полную коагуляцию коллоидов и минимальное их содержание в соках, очищенных по полной схеме. Коллоиды, находящиеся в диффузионном соке, различны по своим свойствам и по количеству и имеют две оптимальные точки осаждения: в кислой среде при рН 3,5—4,0 и в щелочной среде в интервале рН 10,8—11,2. Коагуляция в кислой среде вследствие опасности инверсии сахарозы не получила практического применения. При добавлении к диффузионному соку извести одновременно с коагуляцией коллоидов происходит осаждение некоторых несахаров в виде нерастворимых или труднорастворимых солей, а также комплексных соединений кальция; химизм этих реакций будет рассмотрен при описании основной defeкации.

Количество сухих веществ преддефекационного осадка (коагулята) в среднем составляет 0,4% к массе сока; в зависимости от условий осаждения в состав осадка входит небольшое количество нерастворимых CaO и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Коагулят состоит из смеси кальций-белкового и кальций-пектинового комплексов. Содержание общего азота в нем довольно постоянно — 1,8%, что при принятом коэффициенте пересчета 6,25 соответствует 11,25% белка. Это количество незначительно по сравнению с количеством всего коагулята, но присутствие белка определяет физико-химические свойства и условия осаждения компонентов в целом.

В диффузионном соке содержатся кислый и щелочной азотные компоненты, коагулирующие как белок. При обработке сока извесьтв оба компонента, хотя и не полностью, осаждаются.

При осаждении известью коллоидов диффузионного сока оптимальная их коагуляция не связана с одной изoeлектрической точкой, а определяется коагуляционным оптимумом в некотором интервале pH. С увеличением количества добавляемой извести увеличивается количество белка в осадке, которое достигает максимума, но при дальнейшем добавлении извести белок из осадка частично начинает переходить в раствор, что доказывает обратимость процесса коагуляции. Оптимальная коагуляция достигается при различной щелочности (0,15—0,25% CaO и выше). Кроме того, необходимое количество CaO , по данным Дедека и Вашатко, зависит от «натуральной щелочности», обусловленной присутствием NaOH и KOH , получающихся в результате реакций обмена нейтральных солей K и Na с $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

С повышением содержания щелочи понижается количество белка в осадке при коагуляционном оптимуме и увеличивается суммарное количество извести для его достижения, т. е. оптимум коагуляции соответствует тем большему значению pH, чем выше натуральная щелочность сока. Кроме этого, на оптимум коагуляции в значительной мере влияют присутствие в соке двухвалентного катиона Ca , температура и продолжительность реакции.

Однако сущность предварительной дефекации заключается не только в максимальном осаждении коллоидов. Решающее значение имеет форма, в которой они осаждаются, — от этого зависят фильтрационные свойства соков. Таким образом, предварительная дефекация затрагивает не только процесс очистки сока, но и весь производственный процесс в целом.

Кроме оптимального осаждения коллоидов, в процессе преддефекации происходит их дегидратация и уплотнение, что делает их устойчивыми при дальнейших операциях очистки. Одним из основных критериев эффективности применяемого способа предварительной дефекации является величина скорости фильтрации сока, полученного после основной дефекации и первой сатурации.

Измерение скорости фильтрации позволяет установить незначительные отклонения в процессе очистки и является наиболее важным оперативным показателем свойств сока (более важным, чем, например, определение содержания в соке солей кальция и его чис-

тоты). Быстро отстаивающийся сок, содержащий крупные плотные частицы, образует при фильтрации, как правило, слой осадка со структурой, обеспечивающей хорошую проницаемость для сока и промывной воды.

ПРОГРЕССИВНАЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДЕФЕКАЦИЯ

Предварительная дефекация в сравнении с одноразовой дефекацией увеличивает количество удаляемого несахара примерно на 20%. Особое значение при этом имеет выдержка на преддефекации «рН-паузы» при оптимальной точке коагуляции, которая обеспечивает максимальную дегидратацию и уплотнение коллоидов. Это является решающим условием для устранения растворения осажденных коллоидов и их гидратации при последующей обработке сока на основной дефекации.

В отличие от старой технологии предварительной дефекации, разработанной Шпенглером, Беттгером и Тедтом и предусматривавшей обработку диффузионного сока при 35—40°C 0,2% СаО в виде известкового молока или дефекованного сока с доведением рН до оптимальной величины 10,8—11,1 (при этом продолжительность преддефекации — в течение 2 мин или 48 ч — не играет никакой роли при дальнейшей переработке сока), усовершенствованный способ, разработанный Дедеком и Вашатко, предусматривает прогрессивное повышение щелочности и соответствующего значения рН путем медленного и непрерывного добавления известкового молока отдельными порциями с паузами в изменении рН. Благодаря этому отдельные фракции коллоидов получают возможность при промежуточных значениях рН дегидратироваться, уплотняться и не переходить в раствор из осадка (пептизироваться). Пептизация осажденных коллоидов протекает тем медленнее, чем больше времени предоставлено для их стабилизации и чем более постепенно возрастает концентрация ОН⁻-ионов. Таким образом, решающим преимуществом прогрессивной преддефекации по Дедеку и Вашатко является отсутствие пептизации осадка коагулята в условиях основной дефекации, например в течение 1 ч.

Температура прогрессивной преддефекации не должна быть ниже 50°C (для предотвращения нежелательных микробиологических процессов). В типовой схеме очистки предварительная дефекация осуществляется при 85—90°C.

АППАРАТЫ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФЕКАЦИИ

Для проведения процесса применяют преддефекаторы различных конструкций. На многих сахарных заводах СССР используют для проведения прогрессивной преддефекации аппараты системы Гипросахара или Бригель-Мюллера.

В преддефекаторе Бригель-Мюллера (рис. 19) количество возвращаемого сока регулируют степенью открытия перегородок и изменением частоты вращения мешательного устройства. Уровень

сока в аппарате поддерживается в процессе работы постоянным. Конструкция и принцип работы позволяют равномерно повышать щелочность сока от нуля до оптимального значения (11,6) без местного перещелачивания. При этом щелочность возвращаемого в камеры сока, обуславливающая повышение рН в каждой камере,

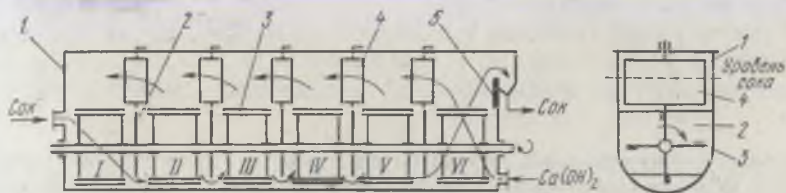


Рис. 19. Преддефекатор Бригель-Мюллера:

1 — корпус; 2 — поперечная перегородка; 3 — вал с лопастями; 4, 5 — шиббер; I—VI — секции (камеры).

незначительно превышает щелочность поступающего в них сока. Аппарат позволяет осуществлять прогрессивную преддефекацию почти в идеальной форме. При семи камерах рекомендуются следующие перепады щелочностей (в % CaO): 0,00—0,01—0,03—0,05—0,09—0,15—0,20 и в случае необходимости 0,25.

Для осуществления стабилизационного эффекта в четвертую камеру вводят нефильтрованный сок первой сатурации или суспензию осадка из отстойников.

В днище расположены люки для очистки аппарата от песка и окончательного спуска сока.

Основная дефекация

Под основной дефекацией понимают вторичную обработку соков известью, проводимую непосредственно за предварительной дефекацией. Обработку сока ведут при 35—40°C (холодная дефекация) или при 85—90°C (горячая дефекация) прибавлением в зависимости от качества перерабатываемой свеклы 1,75—2,5% CaO к массе свеклы в виде известкового молока.

Цель основной дефекации — максимально разложить и осадить ряд сахаров, а также создать избыток извести, необходимый для получения оптимального количества карбоната кальция на первой сатурации и выполняющий роль как сорбента (адсорбирует соли кальция, красящие вещества), так и фильтрующего наполнителя при отделении преддефекационного коагулята декантацией и фильтрацией.

РЕАКЦИИ НА ДЕФЕКАЦИИ

На основной дефекации дополнительно выпадают в осадок труднорастворимые соли кальция таких кислот, как сульфатная, фосфорная, винная, лимонная и оксидимонная.

Аминокислоты и другие безазотистые органические кислоты образуют с известью растворимые соли кальция. В условиях дефекации сахара также образует растворимую соль в форме монокальциевого сахарата ($C_{12}H_{22}O_{11} + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO + H_2O$).

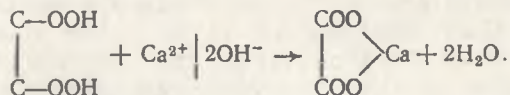
Несахара взаимодействуют с известью, растворенной в соке (активная щелочность).

Концентрация свободной извести в соке при данной температуре остается постоянной, но ее растворимость понижается (или повышается) при уменьшении (или увеличении) концентрации сахара.

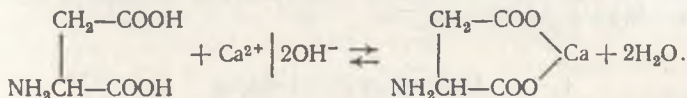
Концентрация свободной извести в соке при $80^\circ C$ только в 1,5 раза меньше, чем при $40^\circ C$, за счет гидролиза монокальциевого сахарата, хотя растворимость извести при $80^\circ C$ в 5 раз ниже, чем при $40^\circ C$ (в 14%-ном растворе сахарозы).

На основной дефекации протекают следующие процессы.

Осаждение несахаров. При нейтрализации свободных кислот сока известь образует с ними растворимую или нерастворимую соль кальция. Например, щавелевая кислота образует нерастворимую соль — щавелевокислый кальций:

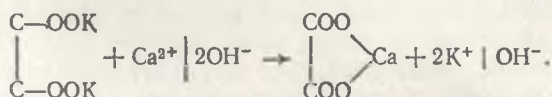


Аспарагиновая кислота образует растворимую соль — аспарагиновокислый кальций:



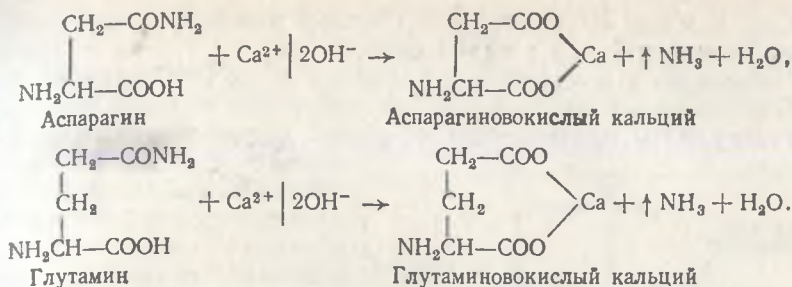
Реакции двойного обмена. В присутствии сахара и извести растворимость солей кальция повышается. Поэтому на дефекации, например, почти половина лимонной кислоты находится в растворе, и при понижении щелочности на первой сатурации она осаждается дополнительно в виде лимоннокальциевой соли.

Среди кислот наибольшее значение имеет находящаяся в соках в виде кислой калиевой соли щавелевая кислота, которая наиболее полно удаляется на дефекации:



После реакций двойного обмена на дефекации в раствор переходят свободные щелочи KOH и NaOH, которые обуславливают натуральную щелочность очищенного сока.

Реакции разложения. Реакции разложения протекают под воздействием гидроксильных ионов OH^- . На дефекации происходит частичное разложение амидов, главным образом аспарагина и глутамина, с образованием растворимых кальциевых солей, например:



Аммиак удаляется из сока в котлах первой и второй сатурации, отстойниках сока, при сгущении сока в корпусах выпарки и в вакуум-аппаратах при уваривании сиропа.

РЕЖИМ ОСНОВНОЙ ДЕФЕКАЦИИ

Степень разложения несахаров зависит от продолжительности и температуры основной defeкации. По типовому режиму диффузионный сок обрабатывают на defeкации при 80—90°C в течение 8—10 мин (без возврата сока) примерно 2,5% СаО к массе свеклы в виде известкового молока плотностью 1,19 г/см³.

Обработка сока известью при пониженной температуре и при меньшей длительности процесса не обеспечивает разложения амидов, инвертного сахара (редуцирующих веществ) и других несахаров, что приводит к падению щелочности на выпарке, нарастанию цветности и пенению выпариваемого сока.

Более длительная defeкация (15—20 мин) при повышенной температуре обеспечивает более полное разложение амидов и редуцирующих веществ (в том числе инвертного сахара), но приводит к частичному гидролизу белковых веществ, вследствие чего снижается чистота сока. При 80°C в течение 20 мин в присутствии 2% СаО разлагается приблизительно (в %): инвертного сахара — 98; аспарагина — 10; глутамина — 70; аллантиина — 0,2; белков — 2,0.

В зависимости от качества перерабатываемой свеклы в каждом отдельном случае экспериментально устанавливают оптимальный режим defeкации.

Одной из главных задач процесса defeкации является наиболее полное разложение редуцирующих веществ (в том числе инвертного сахара), которые окрашивают сок и образуют растворимые соли кальция.

Если, например, сократить длительность основной defeкации (без предварительной) с 10 до 3 мин, то это незначительно увеличит цветность очищенного сока, в основном за счет дополнительного разложения редуцирующих веществ в отстойниках. Разложение же значительного остатка редуцирующих веществ вследствие кратковременной defeкации при выпаривании сока резко увеличивает цветность сиропа.

Термолабильность соков и сиропов зависит от длительности defeкации, но не зависит от количества расходуемой на defeкации

известни, так как на величину pH влияет только растворенная известь, а не ее избыток в виде взвеси.

Повышение температуры дефекации с 80 до 90°C приводит к более интенсивному разложению редуцирующих веществ, что позволяет сократить длительность основной дефекации. Например, в течение 3 мин при 90°C разрушается столько же редуцирующих веществ, сколько при 80°C в течение 10 мин; при этом термостабильность соков и сиропов оказывается примерно одинаковой.

При холодной предварительной дефекации происходит неполное разложение редуцирующих веществ и, следовательно, повышение цветности сока. Поэтому при высоком содержании редуцирующих веществ в диффузионном соке необходимо проведение более энергичной основной дефекации, например 15 мин при 90°C.

При переработке порченной свеклы основная дефекация ухудшает отстаивание сока первой сатурации и его фильтрационные качества. Для обеспечения промышленной фильтрации сок сразу же после предварительной дефекации направляют на первую сатура-

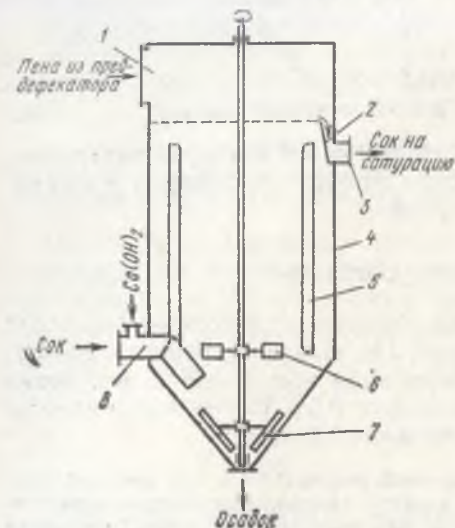


Рис. 20. Дефекатор конструкции Гипросахара:

1 — желоб для пены; 2 — переливной карман; 3 — патрубок отвода сока; 4 — корпус; 5 — контрольные клапаны; 6 — лопастная мешалка; 7 — мешалка для взмучивания осадка; 8 — труба подачи сока.

цию, добавляя известковое молоко в сатуратор.

Бетгер рекомендует проводить одновременную дефекацию с пересатурированием до pH 9,0—9,5 и щелочности 0,02—0,01% CaO. Пересатурирование проводят при обработке сока 60% всей извести, а затем прибавляют 40% оставшейся извести и одновременно сатируют при постоянном оптимальном pH 11,0. Обработка сока без основной дефекации увеличивает цветность соков и сиропов, поэтому этот способ применяют только в тех случаях, когда другие способы улучшения фильтрации (подкисление воды до pH 6,0; снижение температуры диффузионного процесса и поддержание его стерильности введением формалина; увеличение откачки сока, расхода извести и количества возврата; частая смена и регенерация фильтровальной ткани) не дают положительных результатов.

Процесс основной дефекации осуществляют в типовом вертикальном цилиндрическом аппарате непрерывного действия конструкции Гипросахара (рис. 20).

Для регулирования расхода известкового молока на основную дефекацию и вторую сатурацию применяют автоматические дозаторы различных конструкций. На ряде сахарных заводов СССР для непрерывной подачи известкового молока используют дозатор системы Селятицкого.

Расходомер-дозатор типа РИМ-1 позволяет автоматически регулировать расход известкового молока в зависимости от расхода диффузионного сока.

Первая сатурация

Задача процесса первой сатурации состоит в осаждении основного количества физически активной извести в виде карбоната кальция. Для этого сок после основной дефекации обрабатывают в аппарате первой сатурации сатурационным газом, содержащим 28—32% об. CO_2 . Диоксид углерода и гидроксид кальция, соединяясь, образуют нерастворимый кристаллический осадок карбоната кальция CaCO_3 , который служит вспомогательным средством при фильтрации преддефекационного коагулята. Для нормальной промышленной фильтрации при современных схемах очистки сока достаточно 2,0—2,75% извести, которые соответствуют 4—5% карбоната кальция, что в 4—5 раз больше сухого вещества коагулята (до 0,5% к массе свеклы).

Кроме этого, задача первой сатурации заключается в удалении из сока значительного количества красящих веществ и слаборастворимых солей кальция за счет их адсорбции выпадающим в осадок кристаллическим CaCO_3 , что повышает доброкачественность сока.

Адсорбцией из соков удаляется ряд кальциевых солей органических, неорганических и некоторых аминокислот. Положительно заряженные кристаллы осадка CaCO_3 хорошо адсорбируют и отрицательно заряженные коллоидные красящие вещества, образующиеся при разложении инвертного сахара. Эффект адсорбции зависит от величины активной адсорбирующей поверхности кристаллов CaCO_3 . Величину этой поверхности можно регулировать, изменяя количество добавляемой извести или размеры кристалликов CaCO_3 при неизменном расходе извести. При этом следует помнить, что чем крупнее и грубее частицы осадка, тем лучше отстаивается и фильтруется сок, но адсорбционная поверхность осадка получается значительно меньше.

При периодической сатурации щелочность сока в сатураторе постепенно изменяется от значения ее на дефекации до оптимальной величины. При этом кристаллы карбоната кальция образуются вначале в сильно щелочной среде, и размеры его частиц тем меньше, а количество их тем больше, чем выше щелочность сока. Таким образом, при периодической сатурации благодаря мелкокристаллической форме выпадающего карбоната кальция получают за счет развитой поверхности адсорбции хорошо очищенные, но хуже фильтрующиеся соки.

При непрерывной сатурации дефекованный сок смешивается в

сатураторе с большим количеством в значительной степени сатурнированного сока, что снижает его начальную щелочность и чрезмерное пересыщение карбонатом кальция, создавая условия для медленного роста первоначально образовавшихся кристаллов. При помощи рециркуляции нефильтрованного сока первой сатурации этот эффект повышают за счет непрерывного подвода вместе с дефектованным соком полученных мелких кристаллов, на которых выкристаллизовывается карбонат кальция из раствора.

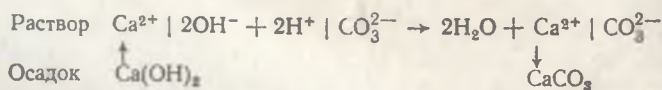
Аналогичный эффект получают при дефекосатурации сока, когда известь и диоксид углерода вводят с таким расчетом, что оптимальное значение pH выдерживается в течение всего процесса примерно постоянным. Хорошая фильтрационная способность получаемых соков обусловила применение дефекосатурации при переработке порченой свеклы (работа без дефекации).

РЕАКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПЕРВОЙ САТУРАЦИИ

В процессе образования карбоната кальция на первой сатурации происходит ряд химических реакций. Диоксид углерода, реагируя с водой, образует угольную кислоту ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{H}^+ | \text{CO}_3^{2-}$), которая, реагируя с растворенным гидроксидом кальция, дает карбонат кальция ($\text{Ca}^{2+} | 2\text{OH}^- + 2\text{H}^+ | \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{Ca}^{2+} | \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$).

В процессе сатурации все новые порции извести переходят из осадка в раствор. Реакция продолжается до полного превращения извести в карбонат кальция.

Если дефекованный сок содержит в растворе 0,25% CaO, то после начала первой сатурации эта щелочность снижается до 0,15% и держится на этом уровне в течение всего процесса, пока в осадке находится $\text{Ca}(\text{OH})_2$. После накопления в соке $\text{Ca}^{2+} | \text{CO}_3^{2-}$ в количестве, превышающем его предел растворимости, он начинает осаждаться, но вследствие пептизирующего действия щелочного раствора сахарозы осадок CaCO_3 образует растворимое комплексное соединение, называемое углекальциевым сахаратом: $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_x \times (\text{CaCO}_3)_y \cdot (\text{CaO})_z$. Величины x и z уменьшаются по мере сатурирования и понижения щелочности сока. Углекальциевые сахараты обуславливают пенение сока при сатурации, особенно при температурах ниже 70°C. При дальнейшем сатурировании, при щелочности 0,15% CaO, выпадает желатинозный, плохо фильтрующийся осадок (гель) CaCO_3 , который связан уже с меньшим количеством сахарата кальция. И только после того, как вся известь из осадка перейдет в раствор и щелочность снизится с 0,15 до 0,08—0,10%, желатинозный осадок превращается в хорошо фильтрующийся кристаллический CaCO_3 :



В соке после первой сатурации остается растворенной извести примерно 0,09% вместо 0,25% после основной дефекации.

Главным фактором нормальной работы на первой сатурации является установление оптимальной щелочности сока. Для этого в лабораторных условиях сатируют несколько проб соков до различной щелочности. Щелочность, при которой достигается быстрая фильтрация и невысокая цветность сока, считают оптимальной. Обычно она лежит в пределах 0,08—0,10% СаО на 100 мл сока; при этом активная щелочность сока должна соответствовать рН 10,8—11,2.

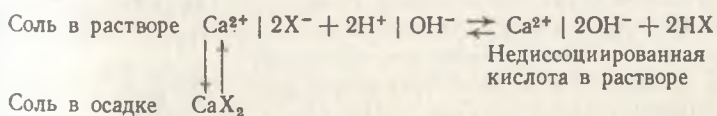
Если сок «недосатурирован», т. е. его $\text{pH} > 11,0$ и щелочность выше 0,10% СаО, то качество сока будет таким же, как и при нормально проведенной сатурации, но осадок CaCO_3 будет иметь не кристаллическую структуру, а желатинозную, что значительно затруднит фильтрацию сока.

Когда сок «пересатурирован», т. е. его $\text{pH} < 11,0$ и щелочность $< 0,08\%$ СаО, то цветность и содержание кальциевых солей в нем увеличиваются; такой сок хорошо фильтруется.

Ухудшение качества сока происходит за счет перехода в раствор осажденных адсорбированных несахаров, так как в растворе отсутствует некоторый избыток осаждающего реактива — извести.

Для примера рассмотрим реакцию осаждения какой-нибудь органической кислоты $\text{H}^+|\text{X}^-$ известью: $2\text{H}^+|\text{X}^- + \text{Ca}^{2+}|\text{2OH}^- \rightleftharpoons \text{CaX}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Так как осадок частично растворим, то для полного осаждения кислоты необходим избыток осаждающего реактива $\text{Ca}(\text{OH})_2$, чтобы сдвинуть ход реакции вправо.

Многие осаждаемые на дефекации соли кальция имеют высокое произведение растворимости $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{X}^-]^2$. Чтобы обеспечить полноту их осаждения в условиях первой сатурации, т. е. понизить содержание в растворе аннона X^- , повышают концентрацию ионов Ca^{2+} , оставляя на первой сатурации большее количество извести. Кроме избытка ионов Ca^{2+} , в растворе необходим некоторый избыток ионов OH^- , так как большая часть кислот, осаждаемых на дефекации, являются слабыми и вследствие этого их соли растворяются при гидролизе:



Сахароза повышает гидролиз соли за счет образования с выделяющейся в раствор известью сахарата, поэтому для уменьшения гидролитического растворения осажденных солей необходимо повышать щелочность (рН).

В настоящее время на первой сатурации выдерживают высокую щелочность, соответствующую 0,09—0,10% СаО. Благодаря этому полнее осаждаются слаборастворимые соли кальция, а также $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и резко снижается образование накипи на выпарной станции. Следовательно, при сатурации необходимо строго выдерживать заданную оптимальную щелочность сока.

На эффект адсорбции влияет скорость проведения процесса первой сатурации. При быстром осаждении (менее 10 мин) получают

равномерный мелкодисперсный осадок CaCO_3 , при медленном (более 10 мин) — осадок с неравномерной величиной частиц CaCO_3 , что затрудняет фильтрацию. Оптимальная длительность первой сатурации — не более 10 мин, так как при большей скорости процесса трудно выдерживать равномерную оптимальную щелочность сока.

Для нормального проведения первой сатурации температура сока должна быть 80—85°C. При температурах ниже 70°C образуется большое количество мелких кристаллов CaCO_3 и большое количество пены, которая затрудняет работу.

КОНТРОЛЬ ПЕРВОЙ САТУРАЦИИ

Контроль технологического режима первой сатурации осуществляют посредством определения щелочности сатурированного сока, содержания CO_2 в газе и коэффициента использования диоксида углерода. Пробы сока для определения щелочности отбирают из контрольного ящика. Щелочность сока периодически определяют титрованием 10 мл фильтрованного сока 0,1 н. раствором сульфатной кислоты в присутствии индикатора фенолфталеина.

Для оперативного качественного контроля щелочности сатурированного сока применяют полоски фильтровальной бумаги, пропитанные раствором фенолфталеина с примесью лимонной кислоты. При щелочности сока 0,06—0,09% CaO бумажка принимает бледно-розовую окраску, при меньшей щелочности бумажка не окрашивается, а при большей щелочности принимает ярко-красную окраску. Применяют также тимолфталеиновые бумажки, которые при pH ниже 11 не окрашиваются, при pH 11 окрашиваются в бледно-голубой и при pH > 11 — в синий цвет.

Щелочность сока контролируют также визуально — по скорости отстаивания осадка на дне ложки («проба на ложку»): при недосатурировании сока наблюдают плохое отстаивание осадка.

Для контроля и регулирования щелочности сока первой сатурации применяют автоматические pH-метры.

При проведении первой сатурации иногда наблюдаются пенение сока и замедление процесса. Пенение сока может быть вызвано его низкой температурой, недостаточным количеством извести, прибавляемой на основную дефекацию, недостаточной продолжительностью дефекации и переполнением сатуратора. В этом случае повышают температуру сока перед дефекацией до 85—90°C, снижают уровень сока в сатураторе до нормы, включают паровой пеногаситель или вводят технический жир. Замедление процесса сатурации может быть вызвано добавлением большого количества извести на дефекацию, низким содержанием CO_2 в сатурационном газе или его недостаточным поступлением в сатуратор. В этом случае проверяют щелочность дефекованного сока, режим работы известняковообжигательной печи, давление сатурационного газа по манометру перед сатуратором, исправность газового насоса, поступление воды на лавер и т. д.

Для проведения процесса сатурации на сахарных заводах широкое распространение получили безбарботерные вертикальные цилиндрические аппараты производительностью 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0 тыс. т свеклы в сутки. Аппараты (рис. 21) имеют коническое днище и расширенное верхнее пространство для улавливания пены, образующейся в процессе сатурации. Для равномерного распределения сатурационного газа по сечению аппарата в нижней половине цилиндрической его части установлены распределительные металлические решетки, состоящие из отдельных частей. Продолжительность пребывания сока в аппаратах 10 мин.

На некоторых сахарных заводах установлены аппараты с барботерами различной конструкции без циркуляционного насоса (французской фирмы «Фив-Лилль-Кай») и с насосом (производство ПНР).

Вторая сатурация

Цель второй сатурации заключается в максимальном осаждении всей свободной извести, а также части извести, входящей в состав растворимых солей кальция, в уменьшении содержания солей кальция некоторых кислот за счет их адсорбции на образующемся осадке CaCO_3 , в переводе KOH и NaOH в карбонаты, уменьшении количества коллоидов и цветности путем обработки сока диоксидом углерода.

Известь и известковые соли необходимо удалить из раствора по возможности в полной мере для исключения отложения их на поверхности трубок выпарных аппаратов. Кроме того, повышенное содержание известковых солей в сиропе увеличивает время варки утфелей, выход мелассы и потери сахара в ней.

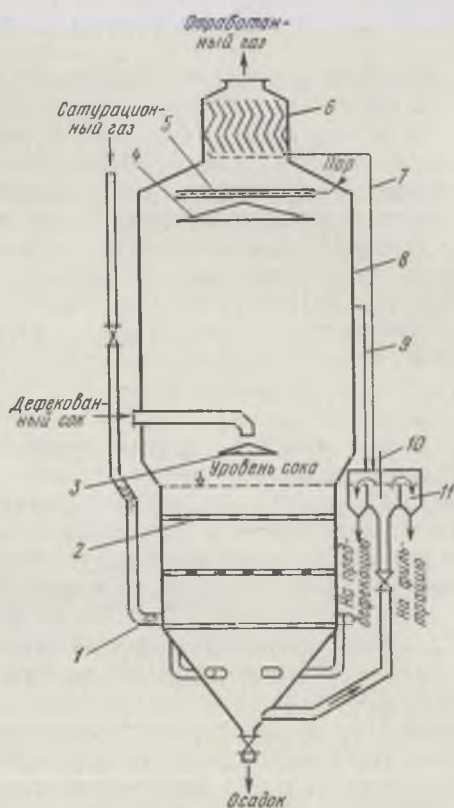


Рис. 21. Сатуратор:

1 — коллектор подачи сатурационного газа; 2 — решетчатые перегородки; 3 — распределительная тарелка; 4 — отражательный зонтик; 5 — барботер; 6 — сепаратор; 7 — труба вывода сока из сатуратора; 8 — корпус; 9 — трубка контроля уровня пены; 10 — подвижной щиток; 11 — контрольный ящик.

На вторую сатурацию направляют тщательно отфильтрованный сок первой сатурации. Попадание в сок, направляемый на вторую сатурацию, осадка (мути) вызывает заметное повышение цветности, характерное для пересатурированного сока.

РЕАКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВТОРОЙ САТУРАЦИИ

Реакции осаждения. В процессе второй сатурации диоксид углерода осаждает известь, понижая щелочность сока, при этом КОН и NaOH остаются без изменения, определяя натуральную щелочность: $\text{Ca}^{2+} + (\text{OH})_2 + \text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$. Количественное соотношение этого равновесия отражает константа произведения растворимости карбоната кальция: $PP = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$.

Диоксид углерода вступает в реакцию с ионами кальция в следующей последовательности: а) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$; б) $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$.

Константа диссоциации ступени б составляет: $pK = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$, или $pK \cdot [\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_3^{2-}]$, т. е. количественное соотношение ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} в растворе зависит от концентрации ионов водорода — pH.

В соответствии с этими реакциями во время второй сатурации процесс осаждения ионов кальция происходит в три фазы: в первой, или начальной, фазе сатурирования постоянство величины PP поддерживается за счет избытка ионов Ca^{2+} и некоторого недостатка ионов CO_3^{2-} ; по мере постепенного осаждения ионов кальция в виде CaCO_3 постоянство величины PP поддерживают увеличением концентрации ионов CO_3^{2-} . Во второй фазе в определенный момент после равенства концентраций ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} постоянство величины PP поддерживают некоторой избыточной концентрацией ионов CO_3^{2-} до момента достижения минимальной концентрации ионов Ca^{2+} и некоторого определенного значения pH — это значение, зависящее от состава оставшихся в соке сахара, называют «оптимальной» щелочностью. В третьей фазе, нежелательной с технологической точки зрения, дальнейший ввод в раствор H_2CO_3 приводит к увеличению концентрации ионов водорода и соответствующему уменьшению концентрации ионов CO_3^{2-} за счет их превращения в ионы HCO_3^- ; в соответствии с постоянством величины PP ионы кальция начинают переходить из осадка CaCO_3 обратно в раствор (пересатурирование).

Образование карбонатов. Когда свободная известь уже максимально осаждена, КОН и NaOH превращаются в карбонаты: $2\text{K}^+ + 2\text{OH}^-$ или $2\text{Na}^+ + 2\text{OH}^- + 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} = 2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$. При этом щелочность (определяемая по фенолфталеину) продолжает снижаться, хотя вследствие гидролиза K_2CO_3 и Na_2CO_3 ($2\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons 2\text{K}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{K}^+ + \text{OH}^-$) раствор обладает еще щелочной реакцией, переходящей в нейтральную за счет образования бикарбонатов: $2\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^-$. Эта стадия химических реакций, в процессе которых NaOH и КОН превращаются в карбо-

наты, называется стадией установления оптимальной щелочности.

Реакции обмена. Карбонаты калия и натрия вступают во вторичные реакции обмена с растворимыми солями кальция и образуют карбонат кальция и растворимые соли K и Na соответствующих кислот: $2K^+|CO_3^{2-} + Ca^{2+}|2A^- \rightleftharpoons CaCO_3 \pm 2K^+|2A^-$. Эта реакция также решает главную задачу второй сатурации — снижает содержание в растворе кальция, находящегося в форме растворимых солей. Таким образом, в растворе необходимо иметь избыток аниона CO_3^{2-} , т. е. осаждающего реактива K_2CO_3 .

Концентрация CO_3^{2-} при прочих равных условиях понижается за счет гидролиза K_2CO_3 и тем больше, чем выше температура и ниже величина pH раствора, а также за счет образования аниона HCO_3^- и превращения образовавшейся КОН в K_2CO_3 .

Так как H_2CO_3 на второй ступени диссоциации является очень слабой кислотой, то для сдвига равновесия реакции гидролиза в обратном направлении, т. е. $CO_3^{2-} + H^+|OH^- \rightarrow HCO_3^- + OH^-$, необходима величина pH порядка 13. Вследствие этого нельзя допускать «пересатурирования», т. е. полного превращения CO_3^{2-} в HCO_3^- , что приведет к образованию бикарбонатов калия и кальция. Бикарбонат кальция $Ca^{2+}|(HCO_3^-)_2$ имеет заметную растворимость в воде (около 0,1%, считая на $CaCO_3$). Таким образом, пересатурирование на второй сатурации приведет к неполному осаждению из раствора за счет уменьшения концентрации осаждающего реактива K_2CO_3 .

НАТУРАЛЬНАЯ ЩЕЛОЧНОСТЬ СОКА

Обычно в обработанном известью сатурационном соке остается некоторое количество K_2CO_3 , обуславливающее натуральную щелочность, выражаемую в эквивалентном количестве СаО (в %).

Различают теоретическую и практическую натуральную щелочность. Теоретической называют избыток K_2CO_3 , который остается в растворе при полном осаждении всех солей кальция, что недостижимо на практике. Практической натуральной щелочностью называют тот избыток K_2CO_3 , который остается в соке второй сатурации после практически достижимой степени осаждения солей кальция.

Величина натуральной щелочности зависит от состава диффузионного сока, полноты прохождения реакций осаждения и разложения (амидов, редуцирующих веществ).

Количество КОН, образующегося в результате реакций осаждения в процессах дефекации и первой сатурации, эквивалентно количеству осаждаемых анионов за вычетом свободной кислотности диффузионного сока, которая связывает часть освобождающегося КОН.

Если веществ, разлагаемых известью, мало (при увеличении в свекле вредного азота, редуцирующих веществ, кислотности диффузионного сока и содержания в нем пектиновых веществ натуральная щелочность уменьшается), то вследствие преобладания реакции

осаждения будет меньше солей кальция и больше K_2CO_3 , т. е. получится высокая натуральная щелочность.

При низкой натуральной щелочности ее искусственно увеличивают добавлением соды, которая является источником ионов CO_3^{2-} .

В некоторых случаях высокая натуральная щелочность или применение соды могут увеличить опасность образования накипи на стенках выпарных аппаратов. Это обусловлено значительным содержанием ионов CO_3^{2-} и Ca^{2+} в соке в связанной форме, например в комплексных солях аминокислот или в виде бикарбоната. При выпаривании и сгущении такого сока эти ионы переходят в раствор и образуют $CaCO_3$, количество которого превышает произведение растворимости $CaCO_3$ в этих условиях и приводит к образованию накипи. Образование ионов HCO_3^- регулируют условиями проведения второй сатурации.

Величина натуральной щелочности колеблется от 0,02 до 0,05% CaO и понижается при хранении свеклы, переходя в область отрицательных величин в ноябре — декабре.

ОПТИМАЛЬНАЯ ЩЕЛОЧНОСТЬ СОКА

Эту щелочность, при которой в соке остается минимальное количество солей кальция, определяют непосредственным опытом в лаборатории: проводят вторую сатурацию сока до нейтральной реакции с отбором проб при различной щелочности. Оптимальной будет та, которая соответствует минимальному содержанию солей кальция в растворе.

По Бригель-Мюллеру и Брюнихе-Ольсену, оптимальную щелочность определяют по разности между щелочностью сока первой сатурации, титруемой до pH 9,25 (вместо 8,0 по Шпенглеру и Бренделю), и содержанием CaO в этом же соке. Они установили, что оптимальное значение pH сока второй сатурации находится в диапазоне 9,0—9,5 и что только та часть щелочи сока, которая связывается при титровании в этом диапазоне pH, вступает в реакцию с H_2CO_3 и осаждает известь. Учитывая буферность сока, значение pH, соответствующее полному преобразованию натуральной щелочности в карбонатную, по Бригель-Мюллеру и Брюнихе-Ольсену, составляет около 10,3, поэтому в процессе второй сатурации следует выдерживать pH по возможности высоким для более полного осаждения извести.

После фильтрации pH сока второй сатурации значительно снижают для уменьшения концентрации CO_3^{2-} и перевода $CaCO_3$ в насыщенное состояние, что исключает образование накипи в выпарном аппарате.

Присутствие NH_3 повышает щелочность соков, в то же время эти соки обладают низким значением pH, что понижает концентрацию CO_3^{2-} . При высокой же остаточной щелочности содержание кальциевых солей должно быть низким, что не всегда соответствует действительности.

На практике редко достигают расчетных минимальных значений содержания CaO из-за пересыщения раствора $CaCO_3$, время нахождения которого на второй

сатурации бывает недостаточным для кристаллизации всего CaCO_3 . Поэтому пробы сока из сатуратора, отфильтрованные через бумажный фильтр, содержат на 50—100% больше CaO , чем пробы сока из фильтров. В лаборатории для частичного снятия пересыщения и достоверного определения содержания CaO пробы сока необходимо выдерживать в течение 15 мин при 85°C с 1% кристаллического CaCO_3 .

КОНТРОЛЬ ВТОРОЙ САТУРАЦИИ

Контроль технологического режима второй сатурации осуществляют периодическим титрованием проб фильтрованного сока, выдерживая щелочность, близкую к оптимальной. Качественный оперативный контроль выполняют фенолфталеиновыми бумажками (с лимонной кислотой), которые начинают давать окраску только при щелочности сока выше 0,01—0,02% CaO , или же бумажками, пропитанными тимоловым синим, который начинает давать окраску при pH 9,0—9,5. В настоящее время для контроля и регулирования применяют автоматические pH -метры.

Периодически определяют коэффициент использования сатурационного газа на второй сатурации, который ниже, чем на первой сатурации, и составляет 50% вместо 70, что обусловлено меньшей величиной конечной щелочности сока и более высокой температурой процесса.

Температуру на второй сатурации поддерживают на уровне $100\text{—}102^\circ\text{C}$, так как при 100°C разлагаются и не могут образоваться (даже при избытке CO_2) бикарбонаты калия и кальция. Таким образом, высокая температура на второй сатурации исключает получение пересатурированных соков (бикарбонатов).

Необходимо учитывать, что вследствие испарения воды в котле второй сатурации сок охлаждается до $90\text{—}95^\circ\text{C}$. Это связано с потерями тепла и создает условия для образования бикарбонатов тем в большей степени, чем больше добавка извести на вторую сатурацию.

АППАРАТ ВТОРОЙ САТУРАЦИИ

Вторую сатурацию выполняют в аппаратах непрерывного действия той же конструкции, что и для первой сатурации (см. рис. 21), но с меньшим количеством решеток.

Отстаивание и фильтрация соков и сиропа

Для очистки соков первой и второй сатурации и сиропа (они представляют собой суспензию, т. е. смесь жидкой дисперсионной среды и взвешенных в ней твердых частиц дисперсной фазы) их подвергают фильтрации и отстаиванию.

Фильтрация представляет собой процесс разделения суспензий при помощи пористых перегородок, которые задерживают твердую фазу и пропускают жидкую.

Отстаивание — это процесс осаждения твердой фазы суспензий под действием собственной массы.

Сок первой сатурации является невязкой суспензией с большим количеством твердой фазы (50—70 г/л), неоднородной по своему составу. Наряду с кристаллическими частицами карбоната кальция в осадке имеются коллоидные частицы (гели). К ним относятся белки, кальциевые соли пектина и гуминовых кислот, полисахариды.

Сок второй сатурации является невязкой суспензией с небольшим содержанием твердой фазы в виде кристаллического карбоната кальция. Количество осадка в соке второй сатурации зависит от способа работы на второй сатурации: если известь на вторую сатурацию не задается, то количество осадка невелико и составляет 0,5—0,7 г/л, в противном случае количество осадка увеличивается и составляет 5—6 г/л. Так как осадок сока второй сатурации кристаллический и количество его относительно невелико, на практике фильтрация сока второй сатурации обычно протекает без особых затруднений.

Сироп свеклосахарного производства является вязкой суспензией с небольшим содержанием твердой фазы.

Для сгущения осадка сока первой сатурации широко распространены отстойники (декантаторы). Так как разница плотностей твердой и жидкой фаз часто бывает невелика, отстаивание протекает довольно медленно.

Чтобы ускорить разделение суспензий, в технике используют центробежную силу для ускорения осаждения твердых частиц. Разделение суспензий с помощью центробежной силы осуществляют в центрифугах или сепараторах.

ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ

Фильтрация — гидродинамический процесс, скорость которого прямо пропорциональна разности давлений, создаваемых по обе стороны фильтрующей перегородки, и обратно пропорциональна сопротивлению жидкости при ее движении через поры перегородки и слой осадка.

Под скоростью фильтрации понимают объем фильтрата, получаемый с 1 м² фильтрующей поверхности в единицу времени. Эта же величина характеризует производительность фильтра.

Разность давлений по обеим сторонам фильтрующей перегородки создают при помощи центробежных или вакуум-насосов.

В качестве фильтрующей перегородки используют различные ткани из естественных или синтетических волокон. Наиболее распространенными являются хлопчатобумажные ткани — бельтинг и диагональ, а также лавсановые, капроновые и капроно-лавсановые ткани. Фильтрующая ткань играет роль основы, на которой отлагается осадок, а слой осадка является, по существу, фильтрующей перегородкой, так как между образующими его частицами имеются капиллярные ходы. Через эти капилляры (поры) и фильтруется суспензия. Первые порции фильтрата обычно бывают мутными, так как размер пор фильтрующей перегородки превышает размер час-

тиц твердой фазы суспензии. По мере отложения осадка качество фильтрата улучшается. Однако с увеличением толщины слоя осадка растет сопротивление прохождению фильтрата и уменьшается скорость фильтрации. Разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки, при которой достигается максимальная скорость фильтрации для данного осадка, называется критической. Для сока первой сатурации в зависимости от качества перерабатываемой свеклы она составляет 0,3—0,4 МПа.

Ввиду различия свойств фильтруемых суспензий в свеклосахарном производстве применяются различные типы фильтров.

ФИЛЬТРЫ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

До недавнего времени в свеклосахарном производстве для фильтрации суспензий применялись исключительно фильтр-прессы и мешочные фильтры. По таким показателям, как развитая поверхность фильтрации, небольшие габариты, низкая стоимость, удобство быстрой замены фильтрующей ткани и возможность использования отходящих промывных фильтратов, фильтр-прессы и мешочные фильтры отвечают требованиям сахарного производства. Однако для удаления осадка с фильтрующей ткани требуются большие затраты ручного труда, а работать приходится в условиях повышенных температур и влажности.

В настоящее время для разделения суспензий на сахарных заводах СССР используется следующее оборудование.

Сгустители осадка сока первой сатурации. Для нормальной работы вакуум-фильтров необходимо, чтобы концентрация твердой фазы в фильтруемой суспензии составляла около 20%. В соке первой сатурации она доходит

лишь до 5%. Поэтому требуется предварительное сгущение осадка в специальных отстойниках либо на фильтрах-сгустителях.

Многоярусный отстойник конструкции ГипроНИИсахпрома (рис. 22) выполнен в виде цилиндрического корпуса с коническими днищами, разделенного по высоте наклон-

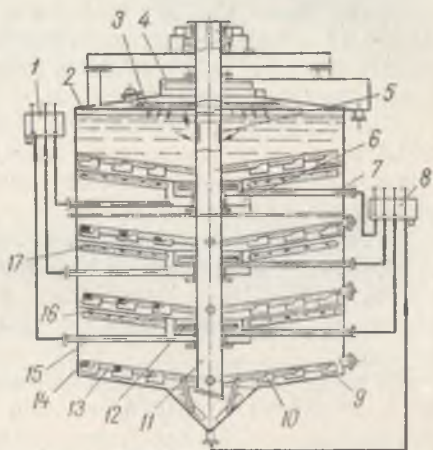


Рис. 22. Многоярусный отстойник конструкции ГипроНИИсахпрома:

1 — контрольный ящик осветленного сока; 2 — корпус; 3 — пеногаситель; 4 — пенобрасыватель; 5 — отверстия для подачи сока; 6 — сборник осветленного сока; 7 — трубопровод суспензии; 8 — контрольный ящик суспензии; 9 — коническое днище; 10 — скребок; 11 — трубовал; 12 — сборник сгущенной суспензии; 13 — трубчатая опора устройства для перемещения осадка; 14 — патрубок для выхода сока в секции; 15 — трубопровод для вывода сока; 16 — перегородка; 17 — перфорированная труба.

ными перегородками на одну верхнюю (подготовительную) и четыре рабочих секции. В центре корпуса расположен перфорированный трубовал с закрепленными на нем лопастями и скребками.

Нефильтрованный сок первой сатурации сначала поступает в верхнюю подготовительную секцию для отделения пены и газа, затем через окна проходит внутрь трубовала и через отверстия в трубчатых элементах скребкового устройства распределяется по рабочим ярусам для отстаивания. Сок поднимается вертикально через слой уплотняющегося осадка к устройству для сбора и вывода осветленного сока. При этом слой осадка является своеобразной фильтрующей перегородкой. Осветленный сок отбирается из яруса через 16 радиальных перфорированных труб равномерно по всей площади поперечного сечения яруса. Сгущенный осадок скребковым устройством перемещается по наклонной перегородке в сборник, расположенный у трубовала, из которого он выводится в контрольный ящик. Конструкция отстойника позволяет регулировать скорость движения жидкой фазы в оптимальных пределах (0,03—0,05 м/с) в одной плоскости движения с твердой фазой. Превышение этой скорости приводит к взмучиванию и уносу осадка с соком. Продолжительность процесса отстаивания 120 мин.

Существуют и другие конструкции отстойников (РМЗ, фирмы БМА и др.) для проведения процесса осветления сока. Все они работают с применением флокулянтов или без них и имеют невысокую производительность.

Для ускорения отстаивания частиц твердой фазы сока первой сатурации применяют флокулянты — полиэлектролиты — в количестве до 0,001% к массе сока. В качестве полиэлектролитов используют полиакриламид, полиметакрилат натрия, альгинат натрия.

Фильтр-сгуститель ФилС (фильтр листовой саморазгружающийся) применяется для фильтрации соков первой и второй сатурации. Поверхность фильтрации в зависимости от марки фильтра составляет 40, 60 и 100 м². Фильтрация в них проводится под избыточным давлением, поэтому скорость сгущения осадка резко увеличивается.

Фильтр ФилС (рис. 23) состоит из корпуса веретенообразной формы с конической нижней частью. Верхняя часть корпуса представляет собой цилиндрическую царгу, закрывающуюся выпуклой крышкой. Внутри корпуса перпендикулярно оси фильтра установлен подводящий коллектор, снабженный вертикальными трубками (ФилС-60 — 4 шт., ФилС-100 — 6 шт.). В корпусе фильтра вертикально установлены фильтрующие элементы 7, состоящие из двух плоских рамок, на которые надеты мешки из фильтровальной ткани. Каждая пара рамок закреплена на сокоотводящей трубке, открытый конец которой выходит в сокоприемную коробку.

Нефильтрованный сок первой сатурации под напором через напорную задвижку поступает в верхнюю часть фильтра под крышку и равномерно распределяется по сечению фильтра между листами. Под давлением столба жидкости сок проходит внутрь рамок и че-

рез сокоотводящие трубки выливается в коробки 3. В процессе фильтрации на фильтровальной ткани отлагается осадок, толщина которого постоянно увеличивается, а скорость фильтрации снижается.

Когда толщина слоя осадка достигнет 20—25 мм, фильтрацию сока прекращают. Для этого наборную задвижку 9 закрывают, а задвижку частичного опорожнения 6 открывают — через нее сок из корпуса фильтра быстро вытекает в резервный сборник до уровня задвижки 6. При этом внутри корпуса создается разрежение. Под действием перепада давлений внутри и снаружи рамок 5 осадок отслаивается и опускается в коническую часть фильтра. На этом заканчивается первый полуцикл фильтрации.

Затем задвижку частичного опорожнения 6 закрывают, открывают наборную задвижку 9 и продолжают фильтрацию до накопления новой порции осадка. После второго сброса осадка в нижнюю часть фильтра (конец второго полуцикла) она оказывается заполненной до уровня задвижки 6. Открывая задвижку полного опорожнения 8, стуженную суспензию выгружают из фильтра.

Полный цикл работы фильтра 50 мин, из них 45 мин активной фильтрации. На вспомогательные операции затрачивается не более 5 мин, а так как переключать задвижки требуется быстро, то работа фильтров полностью автоматизирована.

Для экипировки ФилС применяют лавсановые ткани (артикул 56065 и 56071), срок эксплуатации которых составляет 25—30 сут. При дальнейшей эксплуатации ткани, находящаяся в условиях высокой щелочности сока первой сатурации, прореживается и рвется. Срок эксплуатации капроно-лавсановой ткани (артикул 86015) составляет 90 сут. При этом ткань сохраняет фильтрационную спо-

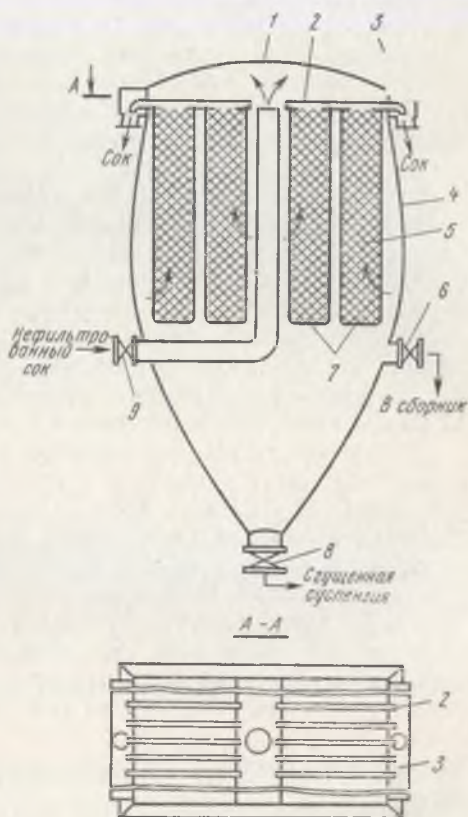


Рис. 23 Листовой саморазгружающийся фильтр ФилС:

1 — крышка; 2 — сокоотводящая трубка; 3 — сокоприемная коробка; 4 — корпус; 5 — рамка; 6 — задвижка; 7 — фильтрующий лист; 8 — патрубок вывода суспензии; 9 — наборная задвижка.

собность и хорошо регенерируется. Срок эксплуатации новых видов тканей ТТ-842 и ТТ-853 увеличен до 112 сут.

При переработке свежей здоровой свеклы производительность фильтров ФилС-60 и ФилС-100 составляет соответственно 320 и 530 т свеклы в сутки. При переработке порченной свеклы снижается производительность фильтра и плотность суспензии (до $1,14 \text{ г/см}^3$). В этом случае переходят на более короткий цикл фильтрации и производят 3—4 частичных опорожнения между выгрузками сгущенного осадка. Это обеспечивает более частую регенерацию ткани, фильтрация производится через тонкий слой осадка, что сохраняет требуемую производительность фильтра и повышает плотность суспензии до $1,18—1,20 \text{ г/см}^3$.

Фильтры типа ФилС, работающие в качестве сгустителя сока первой сатурации, имеют следующие технологические показатели: скорость активной фильтрации при давлении $0,14 \text{ МПа}$ — $0,00023 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, при давлении $0,17 \text{ МПа}$ — $0,00027 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; содержание твердой фазы в фильтрате на 40% меньше, чем в декантате из отстойника, цветность его также меньше на 20%; концентрация твердой фазы в сгущенной суспензии выше в 2 раза, чем в суспензии из отстойника; время пребывания сока в фильтре в 12 раз меньше, чем в отстойнике.

Вакуум-фильтры. В настоящее время в отечественной сахарной промышленности почти повсеместно применяется типовой вакуум-фильтр БШУ-40-3-2М (рис. 24). Он представляет собой вращающийся барабан диаметром 3 и длиной 4,4 м, который погружен в корыто примерно на 35% поверхности. В корыто подается фильтруемая суспензия. Наружная поверхность барабана ситчатая и обтянута фильтровальной тканью, закрепляемой на барабане с помощью мягкой проволоки. Под внешней ситчатой поверхностью на небольшом расстоянии от нее расположена сплошная цилиндрическая стенка. Из промежутка между стенками непрерывно откачивается воздух, за счет чего создается разность давлений ($0,08 \text{ МПа}$), являющаяся движущей силой процесса фильтрации.

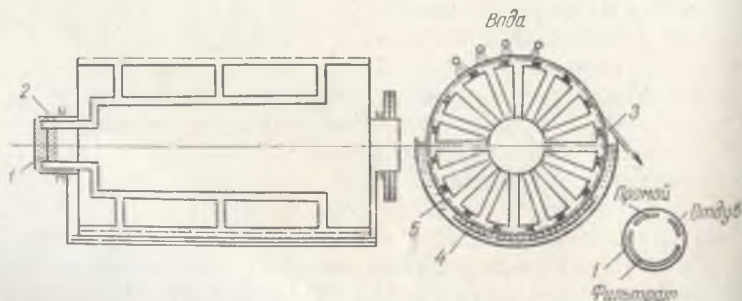


Рис. 24. Вакуум-фильтр БШУ-40-3-2М:

1 — неподвижная распределительная головка; 2 — подвижная головка; 3 — нож для снятия осадка; 4 — мешалка суспензии; 5 — барабан.

Кольцевое пространство между перфорированным и сплошным барабанами поделено продольными перегородками на секции. От каждой секции идет выводящая трубка до подвижной головки, вращающейся с барабаном. К ней плотно прилегает тщательно пришлифованная неподвижная распределительная головка, на которой имеются патрубки для отвода фильтрованного сока и промоя и подвода сжатого воздуха или пара для регенерации фильтровальной ткани и облегчения удаления осадка. Толщина слоя снимаемого осадка составляет 8—12 мм.

Для предупреждения охлаждения фильтра и попадания паров в помещение завода барабаны вакуум-фильтра закрывают неподвижным кожухом из тонколистовой стали, называемым шатром.

В качестве фильтровальной ткани применяют хлопчатобумажную ткань фильтр-диагональ, лавсановую ткань (артикул 56071), капроно-лавсановую ткань ТТ-137 и хлорин. Срок службы лавсановой ткани 40—50 сут, хлорина — 60—70, ткани ТТ-137 — свыше 100 сут, в то время как фильтр-диагональ служит 10—15 сут. Расход ткани типа диагональ составляет 1 м² на 100 т свеклы. Производительность одного вакуум-фильтра БШУ-40-3-2М достаточна для переработки 700—1000 т свеклы в сутки; скорость фильтрации составляет 15 л/(м²·мин).

По мере работы вакуум-фильтра фильтровальная ткань теряет проницаемость, и производительность фильтра падает. Поэтому периодически проводят регенерацию фильтровальной ткани непосредственно на барабане 3%-ным раствором HCl.

Распыл воды для промывки осадка чаще всего осуществляют при помощи форсунок различных конструкций. Для успешной работы форсунок аммиачную воду необходимо фильтровать на ситчатых фильтрах.

Включение вакуум-фильтра в технологическую схему очистки показано на рис. 25.

Из многочисленных конструкций вакуум-фильтров с лучшими результатами работают бескамерный вакуум-фильтр ВМА и камерные вакуум-фильтры неглубокого погружения «Эймко». Вакуум-фильтр ВМА с поверхностью фильтрации 35 м² имеет производительность 1500—1600 т свеклы в сутки. Потери сахара в осадке составляют 0,05—0,06% к массе свеклы при расходе промывной воды 80—100% к массе осадка, что в 2 раза ниже нормативных.

На ряде сахарных заводов США используют для фильтрации непосредственно сока первой сатурации вакуум-фильтры со сходящей тканью. Барабанный вакуум-фильтр со сходящей тканью имеет специальное устройство, состоящее из системы роликов, по которым движется сходящая с барабана фильтра бесконечная тканевая лента. При этом происходит непрерывная регенерация ткани водой из форсунок, расположенных по обе стороны фильтровальной ткани, что обеспечивает высокую скорость фильтрации и возможность съема осадка небольшой толщины (2—3 мм) при фильтрации суспензии с низким содержанием твер-

дой фазы. Скорость фильтрации достигает 50 л/(м²·мин). Потери сахара в осадке не превышают нормативной величины. Производительность фильтра с поверхностью фильтрации 40 м² составляет 600 т свеклы в сутки, а при фильтрации сгущенного осадка сока первой сатурации — 3000 т свеклы в сутки.

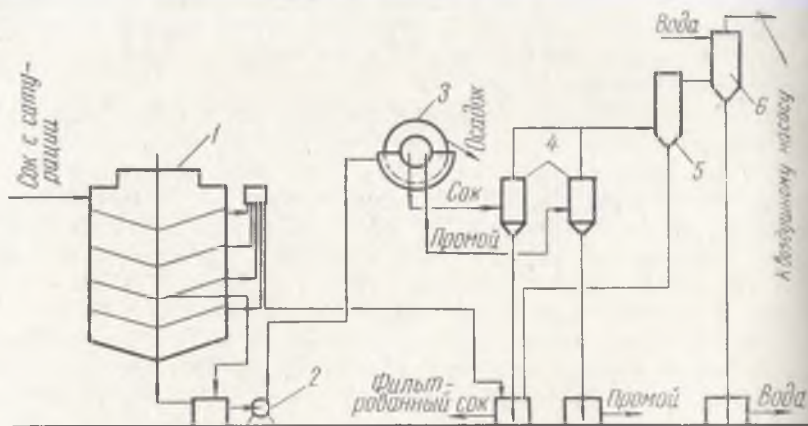


Рис. 25. Технологическая схема очистки сатурационного сока:

1 — многоярусный отстойник; 2 — насос для сгущенной суспензии; 3 — вакуум-фильтр; 4 — вакуум-сборник; 5 — ловушка сока; 6 — конденсатор пара.

Дисковые фильтры. В свеклосахарной промышленности в последнее время нашли широкое применение периодически действующие дисковые фильтры типа ФД, работающие под избыточным давлением 0,2—0,3 МПа. Они используются для контрольной фильтрации сока первой сатурации из отстойников, сока второй сатурации и сульфитированного сока перед выпаркой (ФД-100), сиропа с клеровкой (ФД-150).

Экипировка фильтров осуществляется хлопчатобумажными или синтетическими тканями. Общий расход бельтинга при фильтрации соков первой и второй сатурации составляет 2,5 м² на 100 т свеклы в сутки. Из синтетических тканей применяется ткань капронолавансановая толщиной 1,1 мм и массой 400 г/м². Эта ткань служит 45 сут — примерно в 1,5 раза дольше бельтинга. При выборе ткани следует учитывать ее механическую прочность, проницаемость, устойчивость к кислоте и щелочи в широком интервале температур, продолжительность эксплуатации и стоимость.

Дисковый фильтр ФД-100 (рис. 26). представляет собой горизонтальный цилиндр диаметром 1,8 и длиной 3 м. Внутри цилиндра с частотой 0,5 об/мин вращается трубовал, на котором закреплены 24 ряда дисков, состоящих из восьми секторов. Сектор — пустотелая рамка, окаймленная по периферии стальным желобком, внутри которой расположена сетка объемного плетения.

На сектор надевается мешок из фильтровальной ткани. Нефильтрованный сок поступает под давлением в корпус фильтра. Фильт-

рат проходит через ткань и из внутренней части рамки (сектора) поступает в сокоотводящие трубки и далее в сокоприемную коробку.

Осадок удаляется при помощи струйного сопла-аппарата. Смываемый осадок падает на шнек, который смешивает осадок и смывающую жидкость и выводит разбавленный осадок из фильтра.

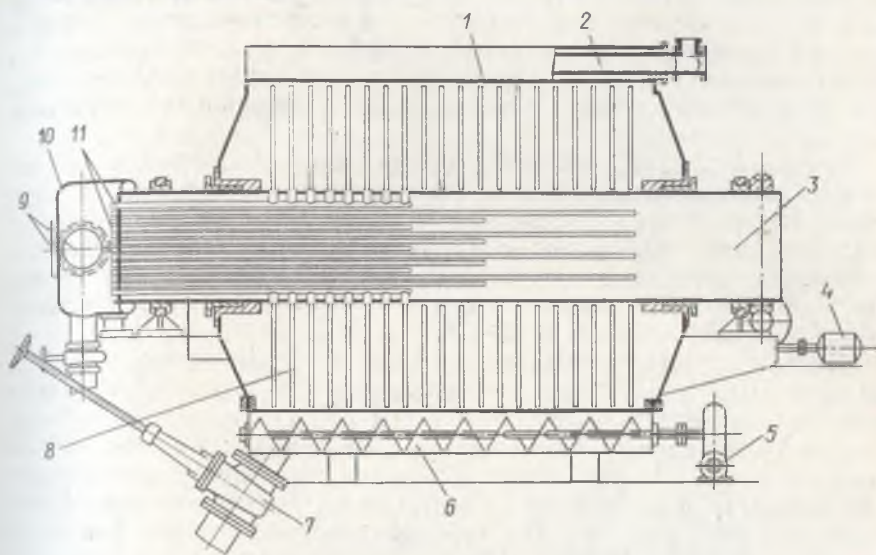


Рис. 26. Дискový фильтр ФД-100:

1 — корпус; 2 — сопло-аппарат; 3 — трубовал; 4, 5 — электропривод; 6 — шнек; 7 — патрубок спуска грязевой суспензии; 8 — диск; 9 — смотровое стекло; 10 — сокоприемная коробка; 11 — сокоотводящая трубка.

Контроль обессахаривания осуществляют по рефрактометру, заканчивая промывку при концентрации сахара в прямое 1,0—1,5%.

После удаления осадка необходимо проверить полноту его удаления. Для этого открывают люки, имеющиеся на корпусе фильтра. После закрытия люков фильтр готов к новому циклу фильтрации.

Фильтр ФД-100 имеет ряд недостатков. Так, замена на нем фильтровальной ткани является чрезвычайно трудоемкой операцией; для промывки осадка требуется большой расход воды (для достижения нормативных потерь сахара в осадке).

Для снижения расхода воды на промывку во ВНИИСПе разработана методическая промывка осадка сока первой сатурации. Суть ее состоит в том, что по окончании цикла фильтрации остатки нефильтрованного сока вытесняют сжатым воздухом в мешалку сока перед дисковыми фильтрами. Затем в фильтр подают весь промой из мешалки и аммиачную воду до тех пор, пока содержание сухих веществ в прямое не достигнет 1,5% (контроль по рефрактометру). Первые порции промоя, содержащие 3,4—4,0% сухих веществ, направляют в фильтрованный сок и далее в мешалку промоя. Часть

промытую забирают в фильтр в начале промывки. Применение методической промывки позволяет снизить на 30% расход воды на обессахаривание осадка.

На ряде заводов дисковые фильтры применяются как сгустители осадка. В этом случае осадок не промывают, а направляют на вакуум-фильтры сока первой сатурации. Для эффективной работы в этом случае необходимо обеспечить выпуск нефильтрованного сока из корпуса на всасывающий патрубок насоса, подающего нефильтрованный сок на фильтр. Осадок в этом случае удаляют потоком фильтрованного сока, пропускаемого в направлении, обратном движению фильтра.

Дисковый фильтр ФД-100 с поверхностью фильтрации 100 м^2 имеет производительность по нефильтрованному соку первой сатурации 400, по декантату сока первой сатурации — 600, по соку второй сатурации — 800 т свеклы в сутки. Скорости фильтрации полупродуктов составляют соответственно 4,2; 6,0 и $8,0 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Продолжительность активного цикла фильтрации составляет соответственно 2,5—3,0; 6—8 и 12—16 ч.

Для фильтрации сиропа с клеровкой на большинстве сахарных заводов СССР применяют дисковые фильтры ФД-150, аналогичные по конструкции фильтру ФД-100, с поверхностью фильтрации 146 м^2 производительностью 1650 т свеклы в сутки. В этом фильтре в качестве фильтрующего наполнителя применяют перлит или кизельгур в количестве 0,75—1,0 кг на 1 м^2 фильтрующей поверхности или 15 кг на 100 т перерабатываемой свеклы. Скорость фильтрации $1,5 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Цикл активной фильтрации 3—4 ч, а продолжительность вспомогательных операций (выпуск нефильтрованного сиропа, набор фильтра наполовину соком, смыв осадка и регенерация ткани, выпуск грязного сока и проверка полноты удаления осадка) 45—50 мин.

Производительность фильтра ФД-150 зависит от температуры и содержания сухих веществ в сиропе и в обычных условиях без применения наполнителя составляет 800 т свеклы в сутки. Фильтр работает под давлением 0,35—0,40 МПа.

Для экипировки фильтра применяют ткани бельтинг, диагональ или лавсановую типа ТТ-13 толщиной 1,2 мм и массой $455 \text{ г}/\text{м}^2$. Расход ткани приблизительно $2,6 \text{ м}^2$ на 100 т свеклы в сутки.

Намывные фильтры. Для фильтрации сиропа наряду с фильтром ФД-150 применяется фильтр с центробежной выгрузкой осадка ФЦВО (рис. 27), в котором роль фильтровальной перегородки играет не ткань, а намытый заранее слой из вспомогательного фильтровального порошка (перлита или кизельгура). Поверхность фильтрации составляет 20 м^2 . Фильтр ФЦВО работает под давлением 0,35—0,40 МПа.

Производительность фильтра 1000 т свеклы в сутки при нормативной скорости фильтрации $10 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Продолжительность цикла фильтрации 8—20 ч. Расход наполнителя составляет 500—800 г на 1 м^2 фильтрующей поверхности.

Работает фильтр ФЦВО следующим образом. В специальной

мешалке на фильтрованном соке второй сатурации или аммиачной воде готовится суспензия перлита или кизельгура, которая закачивается насосом в корпус фильтра. Кизельгур (или перлит) отлагается на сетке диска, а жидкая фаза суспензии поступает через отверстия во внутреннюю часть диска и трубовала и далее по трубопроводу обратно в мешалку кизельгуровой суспензии. По окончании намыва слоя порошка закрывают вентили подачи и отвода суспензии наполнителя и открывают вентили подвода нефильтрованного сиропа и отвода фильтрованного сиропа. Под действием разности давлений, создаваемой насосом, подающим сироп на фильтрацию, сироп проходит через слой наполнителя, металлочкауную сетку, попадает внутрь фильтровального диска и трубовала, откуда отводится в сборник и далее насосом перекачивается в сборник перед вакуум-аппаратами.

Очистка фильтра начинается с выпуска из корпуса нефильтрованного сиропа. Затем открывается грязевая задвижка, соединенная с корпусом фильтра тангенциально, и дается обратный движению фильтрованного сиропа поток фильтрованного сока второй сатурации или аммиачной воды. Далее приводится во вращение трубовал. Под действием центробежной силы осадок сбрасывается с дисков и через грязевую задвижку выводится из фильтра. По окончании выгрузки осадка и после закрытия соответствующих вентилей фильтр готов к новому циклу фильтрации.

Скорость фильтрации сиропа на фильтре ФЦВО значительно изменяется в зависимости от содержания сухих веществ и температуры сиропа. В соответствии с этим фильтр ФЦВО при фильтрации сиропа с содержанием СВ до 60% обеспечивает производительность около 1000 т свеклы в сутки, с содержанием СВ 65% — 600, а с содержанием СВ 70% — 400 т свеклы в сутки.

Фильтр-прессы. В настоящее время для фильтрации соков успешно применяется фильтр-пресс автоматический камерный с механизированным зажимом плит ФПАКМ, имеющий несколько модификаций.

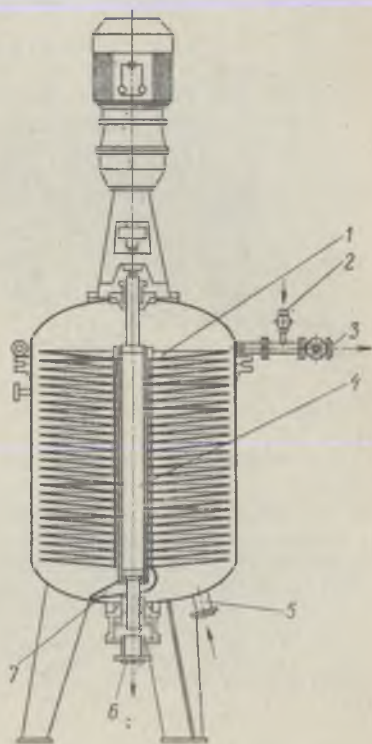


Рис. 27. Фильтр с центробежной выгрузкой осадка ФЦВО:

1 — фильтрующий элемент; 2 — патрубок ввода сжатого воздуха; 3 — вал; 4 — патрубок вывода промоя; 5 — патрубок ввода сиропа; 6 — патрубок вывода фильтрата; 7 — желоб вывода осадка с водой.

Фильтр-пресс ФПАКМ-25 (рис. 28) является фильтром периодического действия с поверхностью фильтрации 25 м². Он состоит из горизонтально расположенных фильтровальных плит, которые передвигаются вверх и вниз вдоль плоских стяжек. При опускании плит между ними образуется зазор в 45 мм. Передвижение и зажатие плит осуществляются нажимной плитой и электромеханическим зажимом. Закрытие и раскрытие фильтр-пресса занимает 50—70 с.

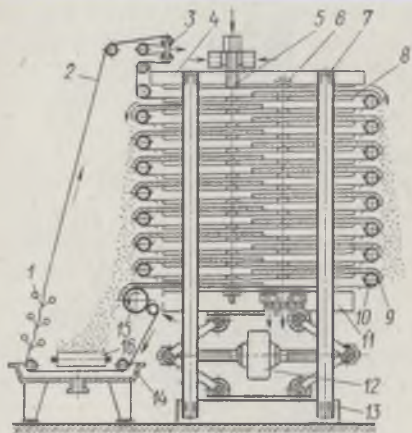


Рис. 28. Фильтр-пресс типа ФПАКМ:

1 — форсунки для регенерации ткани; 2 — фильтровальная ткань; 3 — натяжное устройство; 4 — верхняя упорная плита; 5 — коллектор подачи суспензии; 6 — коллектор отвода суспензии; 7 — стяжка; 8 — фильтрующие плиты; 9 — ножи для съема осадка; 10 — ролики; 11 — нажимная плита; 12 — электромеханический зажим; 13 — нижняя опорная плита; 14 — камера регенерации; 15 — привод передвижения ткани; 16 — конвейер осадка.

Фильтровальная ткань в виде бесконечной ленты зигзагообразно протянута между фильтровальными плитами и приводится в движение барабаном и прижимным роликом. В нижней части фильтра ткань проходит через камеру регенерации. По окончании всех технологических операций плиты опускаются, образуя зазор для выхода осадка, который выводится из межплитного пространства при движении ткани. Осадок выгружается с двух сторон фильтр-пресса. Во время выгрузки автоматически включается подача воды в камеру регенерации, где ткань промывается и регенерируется скребками или щетками.

Скорость фильтрации сока первой сатурации на фильтре ФПАКМ-25 около 10 л/(м²·мин), т. е. в 2,5 раза выше, чем скорость фильтрации на дисковом фильтре. Это достигается за счет систематической регенерации фильтровальной ткани горячей водой после каждого цикла.

Содержание сахара в осадке 0,068% к массе свеклы при среднем расходе воды на промывку 129% к массе осадка. Низкие потери сахара с осадком достигаются за счет отжима и просушки осадка (влажность осадка 33,3%).

Процесс фильтрации выполняется автоматически по установленной программе. Предусмотрено дистанционное управление всеми операциями.

Фильтр-пресс ФПАКМ-50 имеет аналогичную конструкцию, но увеличенную поверхность фильтрации — 50 м².

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ФИЛЬТРОВ

Контроль заключается в определении скорости фильтрации, наблюдении за чистотой и прозрачностью фильтрованного сока, за температурой сока, поступающего на фильтры, и давлением. На вакуум-фильтрах проверяют разрежение по вакуумметру. Замену фильтровальной ткани или ее регенерацию проводят по графику.

Контроль потерь сахара (в % к массе свеклы) осуществляют отбором и анализом средних проб фильтрационного осадка. При нормальной работе фильтров потери сахара в осадке сока первой сатурации составляют 0,06—0,08%, а в осадке сока второй сатурации — 0,01—0,02% к массе свеклы.

Количество дефекосатурационного осадка на 100 кг свеклы зависит от общего расхода извести на очистку сока. Если расход извести равен, например, 2,5 кг на 100 кг свеклы, то на сатурации образуется $2,5 \cdot 100 : 56 = 4,5$ кг CaCO_3 . С учетом содержания в осадке 50% воды количество осадка составит $4,5 \cdot 2 = 9$ кг. С учетом содержания в осадке осажденных несахаров количество осадка составит $2,5 \cdot 4 = 10$ кг. Обычно считают, что масса влажного осадка равна четырехкратному количеству извести, израсходованной на очистку. Если, например, осадок содержит 0,8% сахара, то потери к массе свеклы составят $10 \cdot 0,8 : 100 = 0,08$ кг.

Пример. Определить, на сколько увеличится суточный выпуск сахара заводом производственной мощностью 3000 т свеклы в сутки при уменьшении содержания сахара в осадке с 1,0 до 0,8% к массе осадка. Расход извести — 2,5% к массе свеклы.

Количество осадка составляет $3000 \cdot 2,5 \cdot 4 : 100 = 300$ т в сутки.

Количество дополнительно полученного сахара: $300 \cdot (1,0 - 0,8) : 100 = 0,6$ т в сутки.

Дополнительные методы очистки сока

Для очистки диффузионного сока были предложены также ультрафильтрация через полупроницаемые мембраны (Франция), ультрацентрифугирование (США), использование синтетических твердых смол с зарядом, обратным заряду удаляемых веществ (Япония), сепарирование, центрифугирование и др. Эти методы, за исключением сепарирования и центрифугирования, учитывая крупнотоннажность свеклосахарного производства, неперспективны на ближайшее будущее из-за незначительной мощности оборудования для их осуществления.

На сахарных заводах нашей страны для очистки диффузионного сока применяются следующие дополнительные методы.

Сульфитация. Цель сульфитации состоит в предотвращении нарастания цветности сока и сиропов путем блокирования альдегидных и кетонных групп гексоз, в предотвращении реакции меланоидинообразования и снижения щелочности продуктов.

Оптимальным для обесцвечивания соков является рН 7—8. Это значение рН достигается введением в среду диоксида серы (SO_2).

При высокой натуральной и соответственно оптимальной щелочности наличие в соке или сиропе аниона CO_3^{2-} увеличивает их вязкость, в результате чего замедляются процессы выпаривания сока и уваривания уфелей, задерживается работа всего завода. Такие затруднения наблюдаются обычно при переработке хорошей свеклы с высокой натуральной щелочностью.

Замена иона CO_3^{2-} на SO_3^{2-} снижает вязкость сиропа, повышает скорость кристаллизации сахара и фуговки уфелей.

Технологическая схема предусматривает сульфитацию сока второй сатурации перед выпаркой до рН 8,5 по фенолфталеину, а также сульфитацию и фильтрацию сиропа с клеровкой желтого сахара или полусиропа из предпоследнего корпуса выпарки, что несколько усложняет схему завода. Однако при сульфитации сиропа не увеличивается количество кальциевых солей и достигается определенный эффект снижения цветности (на 20—30%).

При сульфитации сока оптимальная щелочность снижается на 0,01% CaO и на реакцию образования сульфитов фактически расходуется только 0,0006—0,0020% SO_2 , считая на CaO . Таким образом, для углубленной сульфитации сиропа до рН 7,5 (окраска с крезоловым красным) остается еще достаточный запас щелочности.

Добавление в сироп перед сульфитацией, например, 0,05—0,15% CaO на 100% СВ позволяет максимально восстановить натуральную щелочность и последующей глубокой сульфитацией получить в сиропе максимальное количество сульфит-иона, который обеспечит стабилизацию цветности продуктов при уваривании.

Кислый сироп с выпарки (рН 6,5—6,9) рекомендуется обрабатывать перед сульфитацией смесью CaO и Na_2CO_3 в количестве соответственно 0,1 и 0,2% к массе сиропа для восстановления его натуральной щелочности с последующим осаждением всей извести сульфитацией. Применение соды понижает чистоту сиропа, но позволяет максимально удалить соли кальция, образовавшиеся при обработке сиропа CaO , затрудняющие уваривание и кристаллизацию. Обработанный таким способом сироп позволяет получить оптимальную величину рН 7,7 и исключить дополнительные большие инверсионные потери сахарозы в продуктовом цехе.

При сгущении сока до 50% сухих веществ и выше в сиропе образуется тонкая взвесь осадка (мут), которая частично отлагается на поверхности нагрева. Образующийся осадок CaSO_3 дополнительно адсорбирует красящие вещества и способствует более полному осаждению и отделению мути от сиропа при фильтрации. Сироп фильтруют после сульфитации при температуре 85°C.

Обработка активным углем. Сульфитированный сироп можно дополнительно очистить при помощи активного угля.

Активный уголь получают различными способами из угля-сырца, нагревая без доступа воздуха углеродсодержащие вещества, например древесину. Активируют уголь-сырец прокаливанием при 600—700°C в присутствии перегретого пара, CO_2 («норит») или

$ZnCl_2$ («карборафин»). Сущность активации заключается в освобождении пор угля и поверхности его частиц от продуктов сухой перегонки (смол, углеводородов). Активирующие добавки способствуют растворению клетчатки и увеличению пористости угля. При дальнейшем нагревании (не выше 700°C) из растворенной клетчатки выделяются мельчайшие частицы аморфного угля.

Активный гранулированный уголь обладает развитой поверхностью адсорбции ($500\text{—}800\text{ м}^2/\text{г}$) и находит применение в сахарорафинадном производстве.

Очистку сиропа активным углем проводят в специальном реакторе в течение определенного времени, после чего отработавший уголь отделяют фильтрацией. Контакт сиропа с углем проходит при постоянном перемешивании и поддержании заданной температуры. Для очистки сиропов расходуют $0,60\text{—}0,75\%$ активного угля к массе сухих веществ сиропа.

Широкое применение активных углей в свеклосахарном производстве сдерживается их высокой стоимостью и усложнением технологической схемы сахарного завода. ВНИИСПом в последнее время проведены успешные опыты по обесцвечиванию продуктов свеклосахарного производства активными гранулированными углями на специально созданной непрерывнодействующей установке, которая работает в замкнутом цикле с регенерацией угля.

Обработка ионитами. Перечисленные способы и средства очистки диффузионного сока удаляют только около 40% несахаров и повышают чистоту очищенного сока максимально до 93% . Несахара, оставшиеся в соке после очистки, затрудняют кристаллизацию сахара. Потери сахара с мелассой составляют около 12% .

Очистка сока с помощью ионитов позволяет почти полностью удалить из соков соли, которые являются основными мелассообразователями, а также очистить сок от значительного количества коллоидных и красящих веществ. При этом целесообразно сначала проводить очистку сока общепринятым способом при помощи извести и диоксида углерода, а иониты применять для дополнительной углубленной очистки сока второй сатурации перед выпариванием.

При ионитной очистке сок второй сатурации охлаждают до 20°C и пропускают через катионит. Сок после катионита с рН около 2,5 пропускают через анионит, который освобождает его от анионов и повышает рН до $7,5\text{—}8,0$. Современная ионитная очистка позволяет удалить из сока второй сатурации до 85% содержащихся в нем несахаров; при этом содержание золы снижается на 95% , азота — на 56% , а чистота сока повышается до 98% .

Очищенный сок бесцветен, но содержит инвертный сахар, который во время выпаривания разлагается с образованием веществ, окрашивающих сок.

При выпаривании деионизованных соков на стенках выпарных аппаратов не отлагается накипь, а дальнейшая переработка этого сока увеличивает выход сахара на 10% к массе сахара, введенного в завод со свеклой, за счет снижения выхода мелассы (1% вместо 4%). Для регенерации ионитов требуется (в пересчете на полу-

ние дополнительных 100 кг сахара) 54 кг H_2SO_4 , 9 кг NaOH и 24 кг NH_3 .

Основным моментом, сдерживающим широкое применение ионитов для очистки сока второй сатурации, является нерентабельность процесса, выражающаяся в увеличении расхода топлива за счет охлаждения сока до 20°C , разбавлении соков (на 10%) промоями с фильтров и относительно высоких затратах реактивов для регенерации.

Вместо полной деионизации сока для сахарной промышленности разработаны более дешевые способы применения ионитов. Например, вместо применения соды для более полного удаления иона кальция горячий сок пропускают через катионит, работающий в натриевом цикле. При этом соли кальция заменяются на соли натрия, увеличивая потери сахара в мелассе, но исключая образование накипи на стенках выпарных аппаратов, что экономит топливо. Регенерацию катионита проводят 5%-ным раствором NaCl . Замену кальция и натрия кальцием получают при работе на слабокислом катионите (получают на базе активного угля) при температуре $70-90^\circ\text{C}$ в аммиачном цикле ($\text{Na}^+|\text{A}^- + 2\text{NH}_4\text{R} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+|\text{A}^- + \text{NaR}$). При последующей обработке сока известью выделяется аммиак, который связывают сульфатной кислотой и используют для регенерации катионита ($2\text{NH}_4^+|\text{A}^- + \text{Ca}^{2+}|\text{2OH}^- \longrightarrow \text{Ca}^{2+}|\text{2A}^- + 2\text{NH}_4\text{OH}$).

Щелочной сок сатурируют и карбонат кальция с осадком его нерастворимых солей отфильтровывают. Несмотря на высокое содержание солей кальция в соке, накипи на стенках не образуется, вязкость сиропа резко не повышается, сироп легко уваривается, а потери сахара с мелассой снижаются на 0,6—0,7% к массе свеклы.

В настоящее время созданы иониты, адсорбционные свойства которых выше их ионообменной способности. Иониты успешно конкурируют с активными углями и применяются для эффективного обесцвечивания сахарных растворов, особенно в рафинадном производстве. Обесцвечивающие аниониты регенерируют раствором соды и соляной кислоты. Использование ионитов в сахарной промышленности имеет большие перспективы, особенно в связи с появлением новых эффективных марок ионитов.

Глава VIII. ВЫПАРИВАНИЕ СОКА

Цель процесса выпаривания

Полученный после очистки диффузионный сок содержит 12—15% сухих веществ. Чтобы выделить сахарозу из такого ненасыщенного раствора, его необходимо сгустить, т. е. удалить излишнюю воду, и получить пересыщенный раствор сахарозы.

Выпаривание сока осуществляют в два этапа: сначала в выпарной установке до содержания сухих веществ 60—65%, затем в вакуум-аппаратах — до 92—93%. При этом часть сахарозы выкристаллизовывается и получается смесь кристаллов сахарозы и межкристалльной жидкости (уфель).

Нагревание сока

Чтобы вести процесс выпаривания наиболее эффективно (имеется в виду, в частности, снижение затрат тепла), очищенный диффузионный сок предварительно нагревают в специальной теплообменной аппаратуре, используя в качестве теплоносителя водяной пар или конденсат пара.

На современных сахарных заводах сок нагревают обычно в трубчатых подогревателях — одноходовых и многоходовых. Например, циркулирующий в диффузионной батарее сок подогревают в одноходовых трубчатых подогревателях — калоризаторах.

Многоходовой подогреватель, так же как и одноходовой, состоит из корпуса, снизу и сверху закрытого крышками. Крышки шарнирно соединены с корпусом и откидываются вверх и вниз при открывании. Внутри корпуса находятся верхняя и нижняя трубные решетки, в которые завальцованы стальные или латунные трубы диаметром $33 \times 1,5$ мм. Поверхность нагрева подогревателей составляет от 80 до 250 м². Для сахарных заводов большой единичной мощности разрабатываются подогреватели с поверхностью нагрева до 400 м².

Пространства между трубными решетками и крышками разделены при помощи перегородки на ходы. Количество ходов в подогревателях всегда четное. Перегородки несколько раз меняют направление движения сока, что позволяет соку последовательно проходить все пучки труб. Скорость сока в таких подогревателях составляет 1,0—1,5 м/с, что повышает коэффициент теплопередачи по сравнению с нагреванием в одноходовом подогревателе.

Сок в подогреватель подается через двухклапанную распределительную коробку. Когда оба клапана этой коробки, управляемые одним шпинделем, открыты, сок поступает в коробку с одной стороны и, пройдя все ходы подогревателя, уходит с другой. Когда клапаны закрыты, сок, не попадая в подогреватель, проходит через коробку. В нечетных ходах сок движется снизу вверх, в четных — сверху вниз. В подогревателях старой конструкции сок подается и опускается через верхнюю коробку, движение сока в ходах обратное.

Пар в подогреватель подают через патрубок. Неконденсирующиеся газы отводят через трубу в верхней части паровой камеры, конденсат — через трубку и обратный клапан в нижней ее части.

Для контроля температуры и давления сока или греющего пара на входе и выходе его устанавливают термометры и манометры. В последнее время многоходовые подогреватели оснащаются автоматическими регуляторами температуры выходящего продукта.

В верхней и нижней крышках имеются краники. Верхние краники служат для выпуска воздуха при наполнении подогревателя соком, нижние — для окончательного спуска сока из подогревателя.

Рассмотренные выше типы подогревателей обогреваются отбавшим (ретурным) или соковыми парами различных корпусов

выпарки во время ее работы. В последнее время с целью экономии пара и, следовательно, топлива для нагрева сока начали широко использовать тепло конденсатов выпарной станции. За рубежом используют также тепло утфельного пара вакуум-аппаратов. Так, на сахарных заводах Дании подогреватели диффузионного сока разбиты на четыре группы: первые подогреваются паром вакуум-аппаратов до 55°C , вторые — конденсатом до 70 , третьи — паром V корпуса выпарной установки до 75 , четвертые — паром IV корпуса выпарки до 85°C .

На сахарных заводах СССР в последнее время применяют теплообменники типа «конденсат — сок» конструкции ВНИИСПа. Такой теплообменник представляет собой быстротечный 10-ходовой подогреватель, в котором все межтрубное пространство разделено вертикальными перегородками на 10 самостоятельных изолированных ходов.

В каждом ходе конденсат движется по межтрубному пространству противоточно соку, движущемуся внутри этих же трубок. Количество перегородок равно числу ходов для сока. Коэффициент теплопередачи теплообменника этого типа для среднеэксплуатационных условий работы в 2—3 раза превышает коэффициент теплопередачи других конструкций теплообменников, используемых для нагрева сока конденсатами, и в 1,5—1,7 раза — коэффициент теплопередачи подогревателей, обогреваемых паром. Удельная поверхность нагрева теплообменника «конденсат — сок» при среднеэксплуатационных условиях может приниматься равной $5\text{--}6\text{ м}^2$ на 100 т свеклы в сутки. Для сравнения отметим, что по нормативам удельная поверхность нагрева подогревателей диффузионного сока при четырехкорпусной выпарной станции составляет для I группы $13,8\text{--}15,2$ и для II группы — $7,85\text{--}8,45\text{ м}^2$ на 100 т свеклы в сутки.

В последнее время для регулирования работы подогревателей их оснащают средствами автоматизации. При регулировании температуры на подогревателях в качестве датчиков применяют термометры сопротивления и манометрические термометры. Для предотвращения перегрева продуктов при прекращении потока чувствительный элемент терморегулятора устанавливают непосредственно в теплообменнике перед выходом продукта в вентильную коробку. В случае выхода из строя или ремонта регулятора предусмотрена байпасная линия с запорным паровым вентилем. В качестве регуляторов температуры используются электронные мосты или приборы агрегатных систем, воздействующие на клапан, изменяющий подачу пара на подогреватель. При наличии нескольких групп подогревателей, соединенных последовательно и обогреваемых паром различных потенциалов, достаточно автоматически регулировать лишь температуру сока, выходящего из последнего аппарата. Такая схема регулирования обеспечивает хорошее использование экстрапара и исключает перегрев сока даже при малом его расходе, снижая в 2—3 раза (по числу групп) расходы на автоматизацию.

Основы процесса выпаривания

На выпарке из очищенного сока выпаривают значительное количество воды. Количество выпариваемой воды зависит от содержания сухих веществ в очищенном соке. Чем выше откатка сока на диффузии и ниже плотность известкового молока, тем меньше концентрация сухих веществ в соке и тем больше воды необходимо выпарить из сока.

Например, если из 100 кг свеклы получено приблизительно $C_1=125$ кг очищенного сока с содержанием сухих веществ $CB_1=15\%$, то для сгущения этого сока до состояния сиропа с содержанием сухих веществ $CB_2=65\%$ необходимо выпарить столько воды W , чтобы в соке осталось ее C_2 .

Так как количество сухих веществ в соке CB_1 должно быть равно количеству сухих веществ в сиропе CB_2 , можно составить уравнение баланса: $(C_1 \cdot CB_1) \cdot 100 = (C_2 \cdot CB_2) \cdot 100$, откуда $C_2 = (C_1 \cdot CB_1) / CB_2$.

Количество выпаренной воды составит: $W = C_1 - C_2 = C_1 - (C_1 \cdot CB_1) / CB_2 = 125 \cdot (1 - 15,0/65,0) = 96$ кг на 100 кг свеклы.

Из приведенного примера видно, что в условиях свеклосахарного завода необходимо выпаривать большое количество воды. При однократном использовании пара его расход получается слишком большим (на 1 кг воды приблизительно 1 кг пара), что экономически невыгодно, так как на получение пара затрачивается значительное количество топлива (если принять, что 1 кг условного топлива с теплотворной способностью 2,9 МДж позволяет получить 8 кг пара, то расход топлива составит $96 : 8 = 12$ кг на 100 кг свеклы).

Уменьшения расхода топлива на выпаривание сока достигают за счет применения принципа многократного использования тепла пара в нескольких последовательно установленных корпусах выпарки, предложенного в 1840 г. французским инженером Рилье. При этом в I корпусе выпарки 1 кг пара выпаривает около 1 кг воды, а полученный вторичный (соковый) пар поступает в паровую камеру следующего корпуса, где он также выпаривает около 1 кг воды, и т. д.

По данным Классена, 1 кг пара выпаривает в выпарке следующие количества воды (в кг):

Однокорпусной	0,9
Двухкорпусной	1,96
Трехкорпусной	2,85
Четырехкорпусной	3,79
Пятикорпусной	4,72

Кратность использования пара имеет свои пределы рентабельности. Это обусловлено тем, что для теплопередачи и выпаривания необходимая суммарная разность температур имеет ограниченный предел. Например, с одной стороны, температура пара, греющего I корпус, не превышает 137°C , что соответствует избыточному давлению 0,145 МПа. Более высокая температура может вызвать значительное разложение сахара, особенно в тех случаях, когда схема

очистки не обеспечивает достаточную термоустойчивость сока или сок находится в I корпусе длительное время.

С другой стороны, максимальное разрежение в последнем корпусе равно около 0,013 МПа, что соответствует температуре кипения сиропа 60°C при концентрации СВ около 60%. Таким образом, практическая суммарная разность температур может составить $137 - 60 = 77^\circ\text{C}$.

Применение пятикорпусного выпаривания приводит к экономии пара, но требует при этом увеличения в 5 раз поверхности нагрева, так как на каждую ступень выпаривания приходится только пятая часть общей разности температур. Каждый новый хвостовой корпус снижает разность температур за счет повышения температуры кипения растворов при увеличении концентрации сухих веществ («депрессия») и потерь давления сокового пара в результате сопротивления в паропроводе, ловушке и паровой камере.

Температура кипения сахарного раствора (например, сока — сиропа) зависит от концентрации и давления: чем выше концентрация растворенных веществ в растворе, тем выше температура его кипения при атмосферном давлении. Например, при содержании в растворе 50% сахара температура кипения составит $101,8^\circ\text{C}$, а при 85% — 113°C .

Для понижения температуры кипения сока в каждом последующем корпусе выпарки при одновременном увеличении концентрации сиропа соответственно уменьшают давление путем конденсации сокового пара и непрерывного отвода неконденсирующихся газов.

Рассмотрим процесс выпаривания по корпусам выпарки.

Принимаем, что 1 кг греющего пара испаряет 1 кг воды, тогда для I корпуса $W_1 = D_1$ (где W_1 — количество воды, выпаренное в I корпусе; D_1 — количество греющего пара, подаваемое в I корпус выпарной станции).

Если из I корпуса для обогрева подогревателей отбирают E_1 сокового пара, то во II корпусе выпаривается воды $W_2 = D_1 - E_1$.

При отборе E_2 сокового пара из II корпуса на подогреватели в III корпусе выпаривается воды $W_3 = D_1 - E_1 - E_2$ и т. д.

Количество воды, выпариваемое в n -м корпусе выпарной станции, $W_n = D_1 - E_1 - E_2 - \dots - E_{n-1}$.

Общее количество воды, выпаренное всеми n корпусами, составит $\sum_{i=1}^n W_i = W = nD_1 - (n-1)E_1 - (n-2)E_2 - \dots - E_n$.

Расход пара на выпарную станцию составляет

$$D = \frac{W}{n} + \frac{n-1}{n} E_1 + \frac{n-2}{n} E_2 + \dots + \frac{1}{n} E_{n-1}.$$

Коэффициенты $\frac{n-1}{n}$; $\frac{n-2}{n}$; $\dots$ $\frac{1}{n}$ в этом уравнении называются эквивалентами вторичных паров. Они показывают, какому количеству свежего пара эквивалентен 1 кг отобранного из данного корпуса вторичного пара.

Например, при четырехкорпусной выпарке 1 кг сокового пара I корпуса будет эквивалентен $\frac{n-1}{n} = \frac{4-1}{4} = 0,75$ кг свежего пара, а 1 кг сокового пара II корпуса выпарки эквивалентен $\frac{n-2}{n} = \frac{4-2}{4} = 0,5$ кг свежего пара.

При условии, что весь вторичный пар последнего корпуса отбирается на сторону, получаются упрощенные зависимости, используемые при расчетах: $D_1 = W_1 = E_1 + E_2 + \dots + E_n$; $W = \Sigma W_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + \dots + nE_n$.

Расход пара на выпарку, как видно из формул, приведенных выше, обусловлен количеством воды W_1 , выпаренным в I корпусе выпарки. Он и определяет в конечном итоге расход топлива на технологические нужды (на сахарных заводах СССР расход пара на технологические нужды составляет 50—55%, расход топлива — 6—7%, а на отдельных сахарных заводах он меньше 5% по массе свежеля).

Для повышения устойчивости в работе и тепловой экономичности выпарной станции, т. е. уменьшения расхода пара на технологические нужды, применяют сжатие соковых паров. На отечественных сахарных заводах сжимают только соковые пары первых корпусов выпарных станций (для этой цели используют пароструйные компрессоры). На ряде зарубежных сахарных заводов кроме соковых паров сжимают (с помощью турбокомпрессоров) утфельные пары из вакуум-аппаратов.

Схемы выпарных станций

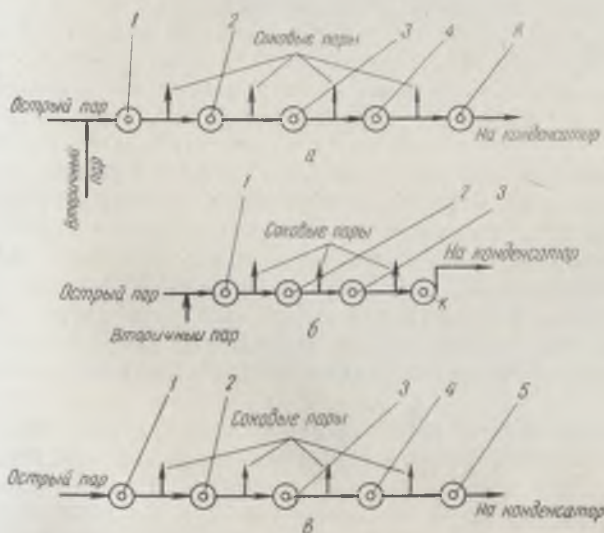


Рис. 29. Схемы выпарных станций:

а — четырехкорпусной с конденсатором; б — трехкорпусной с конденсатором; в — пятикорпусной (1—5 — корпуса выпарки; К — конденсатор).

На сахарных заводах СССР в настоящее время применяют в основном два типа выпарных станций — трех- и четырехкорпусную с концентратом, на зарубежных сахарных заводах, работающих с повышенной откачкой, — пятикорпусную (рис. 29). Выбор того или иного типа выпарной станции зависит от технологических показателей работы завода, его тепловой схемы и в первую очередь от величины откачки сока и количества воды, подлежащей выпариванию.

Перечисленные типы выпарных станций различают в первую очередь по параметрам вторичного пара в последнем корпусе. Так, четырехкорпусная выпарная станция с концентратом работает при меньшем разрежении и при давлении в последнем корпусе ниже атмосферного (остаточное давление 0,067—0,075 МПа); трехкорпусная выпарная станция с концентратом работает при давлении вторичного пара в последнем корпусе выше атмосферного, пятикорпусная выпарная станция, подобно четырехкорпусной, работает при давлении в последнем корпусе ниже атмосферного, но большем по величине (остаточное давление 0,080—0,087 МПа).

На современных ТЭЦ сахарных заводов установлены паровые турбины, работающие с избыточным давлением 0,343 МПа. Отработавший пар турбин (ретурный пар), а также острый пар, прошедший охлаждающую установку и имеющий температуру 135—143°C, поступают в паровую камеру I корпуса выпарки.

ЧЕТЫРЕХКОРПУСНАЯ ВЫПАРНАЯ СТАНЦИЯ С КОНЦЕНТРАТОРОМ

Эта станция (рис. 30) в настоящее время принята в качестве типовой. Она состоит из четырех основных корпусов 1, 2, 3, 4 и концентратора 5 с конденсатором 8. Очищенный сок второй сатурации через подогреватели 18 (обычно их 3, 4 или даже 5 групп, если для обогрева используется конденсат) нагревается до температуры кипения его в I корпусе выпарной установки и затем поступает в этот корпус. Сгущенный сироп из концентратора насосом подается в сульфитатор сиропа. В паровую камеру I корпуса в качестве греющего пара поступает весь отработавший пар из паровых турбин. В случае необходимости в I корпус поступает и свежий пар из паровых котлов, который путем редуцирования и увлажнения приводится в насыщенное состояние с давлением, равным давлению ретурного пара. Из каждого корпуса выпарной установки отбирается на технологические нужды вторичный пар в необходимом количестве; избыток его поступает в паровую камеру следующего корпуса.

Из концентратора вторичный пар направляется в конденсатор 8, а конденсат из паровых камер выпарных аппаратов отводится гидроколонками 16.

На сахарных заводах большой производительности корпуса выпарной станции комплектуют из двух (иногда даже трех) выпарных аппаратов. В этом случае по подводу пара они должны быть соединены параллельно, а по подводу сока — последовательно. Что-

бы сок самотеком поступал из I аппарата во II, его устанавливают на 250—300 мм выше.

Для повышения тепловой экономичности выпарной установки в первую очередь нужно использовать соковый пар последних корпусов установки, параметры которого должны обеспечивать нагрев

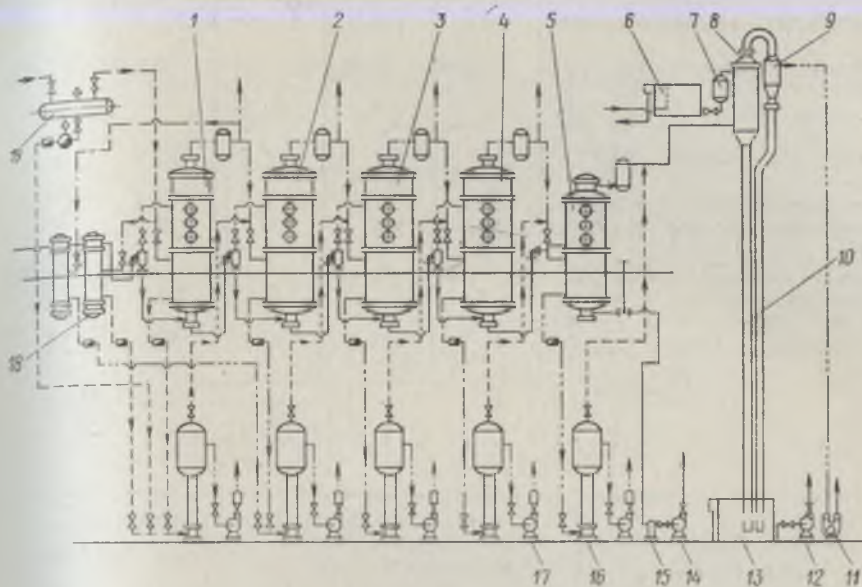


Рис. 30. Схема четырехкорпусной выпарной установки с концентратором:

1, 2, 3, 4 — корпуса выпарки; 5 — концентратор; 6 — сборник холодной воды; 7 — уравни-
тельный сосуд; 8 — барометрический конденсатор; 9, 15 — ловушки; 10 — барометрическая
труба; 11 — воздушный насос; 12 — насос барометрической воды; 13 — ящик барометрической
воды; 14 — насос густого сиропа; 16 — гидравлическая колонка; 17 — конденсатный насос;
18 — подогреватель; 19 — сборник ретурного пара.

продуктов сахарного завода. Однако пароотбор с выпарной установки строго ограничен и должен быть увязан с количеством выпаренной воды и количеством греющего пара. Выпарная установка рассчитывается таким образом, чтобы использовался весь соковый пар IV корпуса; концентратор должен работать как самоиспаритель.

Температурный режим и распределение вторичных соковых паров в четырехкорпусной выпарной станции с концентратором приведены в табл. 2, 3.

Цифры, приведенные в табл. 3, показывают, сколько килограммов пара расходуется для той или иной цели на 100 кг перерабатываемой свеклы. Следует отметить, что в таблице показан лишь возможный вариант распределения соковых паров, а не реальная картина использования тепла конденсатов выпарной станции. В ней не отражены также варианты применения компрессоров для сжатия соковых паров выпарки или уфельных паров вакуум-аппаратов.

Таблица 2

Параметры температурного режима	Корпуса выпарной станции				Концентратор
	I	II	III	IV	
Температура греющего пара t_n , °C	132	124,5	115	101	84,0
Давление греющего пара p_1 , МПа	0,286	0,228	0,169	0,105	0,056
Полезная разность температур Δt , °C	6	7,5	10,5	12	15,6
Температура кипения сока t_c , °C	126	117	104,5	89	68,4
Температурная депрессия t_d , °C	0,5	1,0	2,5	4,0	3,4
Температура сокового пара $t_{c,п}$, °C	125,5	116	102	85	65,0
Давление сокового пара p_2 , МПа	0,236	0,174	0,109	0,087	0,025
Потери температуры в паропроводах t , °C	1	1	1	1	1
Температура конденсата $t_{кон}$, °C	130	122,5	113	99	82

Таблица 3

Потребитель пара	Распределение соковых паров по корпусам выпарной станции			
	I	II	III	IV
Подогреватели диффузионной установки сырого сока	—	—	6,5	—
I группа	—	—	—	9,5
II группа	—	—	2,9	—
сока первой сатурации перед отстойниками	—	4,3	—	—
сока перед второй сатурацией	—	2,2	—	—
сока перед фильтрами сока второй сатурации	—	1,7	—	—
сока перед выпаркой	—	—	—	—
I группа	4,2	—	—	—
II группа	—	2,4	—	—
густого сиропа	—	—	1,4	—
Вакуум-аппараты для уваривания уфеля	—	—	—	—
I продукта	5,6	—	—	—
II продукта	1,4	—	—	—
Сборники сиропа и патоки	1,0	—	—	—
Итого	12,2	10,6	10,8	9,5

ВЫПАРНАЯ СТАНЦИЯ С МЕЖКОРПУСНОЙ СУЛЬФИТАЦИЕЙ И ФИЛЬТРАЦИЕЙ НА ФИЛЬТРАХ ФД-150

На ряде заводов СССР выпарные станции после соответствующей реконструкции работают по схеме с межкорпусной сульфитацией и фильтрацией сиропа с клеровкой. Это позволяет увеличить

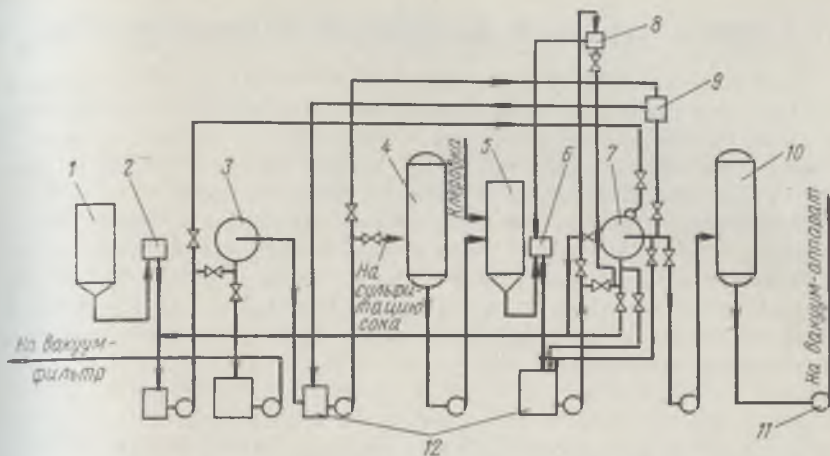


Рис. 31. Технологическая схема межкорпусной сульфитации и фильтрации сиропа с клеровкой на фильтрах ФД-150:

1 — аппарат второй сатурации; 2 — контрольный ящик сока второй сатурации; 3 — дисковый фильтр сока второй сатурации; 4 — III корпус выпарной станции; 5 — сульфитатор сиропа; 6 — контрольный ящик сиропа с клеровкой; 7 — дисковый фильтр сиропа; 8 — напорный сборник; 9 — сборник сока для регенерации фильтровальной ткани; 10 — IV корпус выпарной станции; 11 — насос; 12 — сборник.

производительность фильтров при хорошем качестве фильтрации и получить на выпарке сироп с концентрацией сухих веществ до 73%.

Технологическая схема работы выпарки с межкорпусной сульфитацией и фильтрацией на фильтрах ФД-150 приведена на рис. 31.

Сироп из III корпуса четырехкорпусной выпарной станции вместе с клеровкой желтого сахара II (последнего) продукта направляется насосом в сульфитатор. Сульфитированную смесь с содержанием СВ 54—56% фильтруют на дисковых фильтрах 7. Первые порции фильтрата возвращают в сборник с мешалкой, а через 10 мин чистый фильтрат направляют в IV корпус выпарной станции и далее из концентратора в сборники перед вакуум-аппаратами.

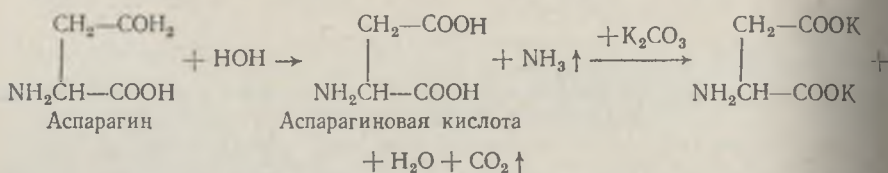
При регенерации фильтра прекращают подачу сиропа и спускают остаток сиропа из фильтра в сборник с мешалкой. Осадок с ткани смывают нефильтрованным соком второй сатурации через сопло-аппарат. Одновременно фильтрованный сок второй сатурации направляют в коллекторные трубки через напорный сборник 8 и герметичную сокоприемную коробку фильтра. Получающийся при

этой операции грязный сок сливается через патрубок, расположенный в боковой части фильтра, в сборник 12, из которого он насосом направляется на фильтры сока второй сатурации. В этот же сборник спускают остаток грязного сока из фильтра. Осадок с сироновых фильтров вместе с осадком с фильтров сока второй сатурации выводится в корыто вакуум-фильтров, где он обессахаривается, и удаляется из завода.

Химические процессы, протекающие при выпаривании сока

При выпаривании в соке происходят химические реакции, приводящие к изменению щелочности сока, выпадению в осадок ряда соединений, разложению сахара и повышению цветности сока. Величины этих изменений при нормальных условиях работы завода практически не влияют на изменение чистоты сока.

Изменение щелочности. Понижение щелочности сока при его выпаривании происходит вследствие продолжающихся реакций разложения амидов при более высоких температурах. Так, аспарагин разлагается с образованием аспарагиновой кислоты и аммиака. Аспарагиновая кислота нейтрализуется свободными щелочами, что и понижает щелочность сока:



Так как свободная щелочь находится в равновесии с соответствующим количеством бикарбоната, связывание ее кислотой приводит к разложению соответствующего количества бикарбоната с образованием свободной щелочи и свободной угольной кислоты, которая неустойчива и разлагается с выделением диоксида углерода. Таким образом, соковые пары и конденсаты из выпарки содержат аммиак и диоксид углерода (или их соединение). Разложение амидов продолжается и в вакуум-аппаратах.

Понижение щелочности связано с опасностью получения кислых сиропов, утфелей и паток, что может привести к значительным потерям сахара от его разложения.

При большом содержании амидов в свекле конечную щелочность сока второй сатурации иногда повышают добавлением соды.

Кроме продуктов разложения амидов, щелочность сока могут также понижать продукты разложения редуцирующих веществ, в частности инвертного сахара, в случае неполного их разложения при очистке сока.

Схема очистки сока должна обеспечивать разложение основного количества амидных соединений, с тем чтобы доразложение их при выпаривании не смогло понизить щелочность сока до его кислот

реакции. В том случае, когда сок с высокой натуральной щелочностью пересатурирован на второй сатурации, на выпарке возможно повышение щелочности сока в результате образования бикарбонатов. Бикарбонаты, нейтральные на фенолфталеин, разлагаются на выпарке с выделением диоксида углерода и образованием щелочного карбоната калия (натрия): $2\text{KHCO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$.

Для предупреждения нежелательных явлений строго выдерживают оптимальную щелочность сока второй сатурации, контролируют температуру сока ($100\text{—}102^\circ\text{C}$).

Нарастание цветности. При выпаривании сока наблюдается нарастание его цветности, которое зависит от продолжительности выпаривания, температурного режима, схемы очистки сока и других факторов.

Установлено, что при выпаривании сульфитированного сока при нормальном технологическом режиме его цветность почти не увеличивается. Основными причинами повышения цветности сока являются карамелизация сахарозы, разложение инвертного сахара и образование соединений инвертного сахара с аминокислотами (меланоидинов).

Образование осадков. В соке при выпаривании образуются различные соли, которые выпадают в осадок и частично осаждаются на поверхности нагрева выпарного аппарата. Образование осадков зависит от различных причин. Повышение концентрации сахара в соке приводит к осаждению на поверхностях нагрева корпусов CaSO_3 , CaSO_4 и щавелевокислого кальция вследствие уменьшения их растворимости. В результате реакций обмена между растворимыми кальциевыми солями и карбонатами калия и натрия также происходит осаждение карбоната кальция ($\text{CaX} + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{K}_2\text{X}$).

Пересатурирование сока второй сатурации и плохо проведенный процесс фильтрации его приводят к образованию растворимого карбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, разлагающегося по реакции $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Карбонат кальция отлагается на поверхностях нагрева первых корпусов выпарки.

Как правило, состав накипи зависит от химического состава свежлы, способа получения и схемы очистки сока, а также от состава и свойств вспомогательных материалов. Осадок состоит главным образом из карбоната кальция и некоторого количества карбоната магния, солей кальция таких кислот, как сульфатной, сульфитной, щавелевой, кремниевой, и незначительного количества органических соединений. Обычно в I корпусе осаждается в основном карбонат кальция при разложении бикарбоната; во II корпусе к карбонату кальция добавляется сульфат, сульфит и иногда оксалат кальция; оксалаты составляют основную часть накипи в III и IV корпусах; соли кремниевой кислоты отлагаются на поверхностях II и III корпусов (появление в составе накипи значительных количеств этих солей можно объяснить добавлением на вторую сатурацию извести, которая была получена из известняка, содержащего кремнекислые соединения).

Для уменьшения образования накипи на выпарке необходимо строго выдерживать установленный технологический режим на всех предыдущих станциях, и особенно на второй сатурации.

Очистка поверхности нагрева выпарного аппарата

Вопрос снижения накилеобразования является важной и еще не решенной до конца проблемой сахаротехники. Полностью устранить образование накипи применяемой схемой очистки соков (за исключением ионитной очистки) не удастся.

По мере работы выпарки толщина осадка на поверхности нагрева увеличивается, что приводит к получению сиропа с низкой концентрацией или же получается сироп с нормальной концентрацией, но снижается производительность выпарного аппарата, увеличивается общий расход пара по заводу.

Накипь с поверхности нагрева периодически удаляют с помощью химических веществ. Для этого выпарку «вываривают» с раствором соды, а затем с раствором соляной кислоты. При обработке накипи содовым раствором труднорастворимые кальциевые соли переходят в карбонаты, хорошо растворимые в соляной кислоте (например, $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$; $\text{CaSO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_3$). При обработке раствором соляной кислоты нерастворимый карбонат кальция превращается в растворимый хлорид кальция: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

Щавелевокислый кальций не растворяется в сильно разбавленной соляной кислоте, но легко растворяется в 8%-ном ее растворе. В этом случае применяют кислоту с добавкой ингибитора, т. е. вещества, предохраняющего металл от растворения, но не влияющего на скорость и полноту растворения осадка. Такими защитными свойствами обладают препараты типа антрацена, декстрина, пиридина, тиомочевины, аминов и др.

Иногда в накипи содержится значительное количество силиката кальция, который не растворяется в кислоте и в растворах соды с едким натром. В таких случаях применяют 0,5-часовое кипячение с 6%-ным раствором едкого натра. При незначительном содержании силиката кальция применяют выварку содой с добавкой едкого натра. Выварку осуществляют следующим образом. Корпуса выпарки заполняют содовым раствором с концентрацией, увеличивающейся к последнему корпусу, в связи с большим количеством накипи в этих корпусах (табл. 4). Выварку содой проводят в продолжение 12—14 ч, затем раствор соды спускают из аппаратов, промывают их водой и заполняют раствором соляной кислоты. Выварка соляной кислотой продолжается около 3 ч. После спуска промывной воды в аппарате обязательно открывают нижний смотровой люк и предохранительный клапан для удаления водорода, который может образоваться при действии кислоты на металл кипяtilьных трубок.

В конце производства после химической очистки выпарных аппаратов от накипи иногда применяют механическую очистку трубок ме-

Тип выпарки	Химикат	Концентрация растворов (в %) по корпусам выпарки				
		I	II	III	IV	V
Трехкорпусная с концентратором	Сода	2,0	3,0	3,5	4,0	—
	Соляная кислота	0,8	1,2	1,5	2,0	—
Четырехкорпусная с концентратором	Сода	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Соляная кислота	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0
Пятикорпусная	Сода	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Соляная кислота	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0

таллическими ершами, закрепленными на вращающемся гибком валу. При механической очистке запрещено пользоваться открытым пламенем внутри аппарата из-за опасности взрыва остатков горючих газов после химической очистки.

Можно применять термическую очистку выпарки путем обработки перегретым паром (280—300°C), при этом накипь отслаивается от поверхности нагрева, а затем удаляется водой.

Выварка выпарки занимает 1—2 сут, причем останавливать аппараты для очистки нужно каждые 50 сут. Для того чтобы не останавливать производство, применяют поочередную выварку отдельных корпусов. Для этого корпус выпарки выключают из сокового потока при помощи обходного трубопровода, оставляя его включенным в схему по пару. Из выключенного корпуса спускают сок в следующий корпус и промывают аппарат водой. Корпус быстро заполняют раствором соды и кипятят, поддерживая постоянный уровень раствора в аппарате добавлением воды. После выварки кислотой и промывки водой корпус включают в соковый поток. Для выварки выпарки на ходу необходимо иметь мешалку для приготовления растворов соды и кислоты, трубопроводы и насосы для подачи этих растворов в каждый корпус выпарки, дренажную и водяную коммуникации.

Пример. Определить падение щелочности $\Delta Ш$ сока второй сатурации на выпарке (в % СаО к массе свеклы), если известно, что щелочность сока $Ш_1=0,02\%$ СаО к массе сока, а щелочность сиропа $Ш_2=0,026\%$ СаО к массе сиропа. На выпарную станцию поступает 125% сока и получается 30% сиропа к массе свеклы. Щелочность сока (в % СаО к массе свеклы) составит $0,02 \cdot 125 : 100 = 0,025\%$. Щелочность сиропа: $0,026 \cdot 30 : 100 = 0,0078\%$ СаО к массе свеклы. Падение щелочности сока на выпарной станции: $\Delta Ш = (0,02 \cdot 125 - 0,026 \cdot 30) : 100 = 0,0172\%$ СаО к массе свеклы.

Общие сведения о сахарных растворах

Сахар хорошо растворим в воде, с повышением температуры его растворимость возрастает. Например, при 20°C в 1 кг воды растворяется 2,023 кг сахарозы, а при 75°C — 3,477 кг. Сахарный раствор, в котором при данной температуре кристаллы сахара больше не растворяются, называется насыщенным раствором. Для получения насыщенного раствора необходимо растворить в воде определенное количество сахара, соответствующее его растворимости при данной температуре.

Продукты свеклосахарного производства содержат различные несахара. Растворимость сахарозы в воде зависит от качества и количества этих несахаров и в большинстве случаев увеличивается с понижением доброкачественности раствора. Влияние несахаров на растворимость сахарозы в воде характеризуют коэффициентом насыщения α' .

Коэффициент насыщения показывает, во сколько раз увеличивается или уменьшается растворимость сахарозы в присутствии несахаров по отношению к растворимости сахарозы в чистой воде при той же температуре. Если растворимость сахарозы в чистой воде равна H , а в присутствии несахаров — H' , то $\alpha' = H'/H$.

Для сахарных заводов СССР коэффициент насыщения α' при доброкачественности выше 75% можно считать приблизительно равным 1 (Силян). При $\alpha' = 1$ присутствующие в растворе несахара не влияют на растворимость сахарозы. Впервые коэффициент насыщения был определен Классеном, а затем Хеглундом.

Раствор, в котором на одну часть воды приходится больше сахара, чем в насыщенном растворе, называют пересыщенным. Если насыщенный сахарный раствор, например, выпаривать при 70°C , то по мере удаления из него воды раствор становится пересыщенным и часть сахара будет выделяться в виде кристаллов. Величина этого пересыщения зависит от доброкачественности раствора. Следовательно, образование и рост кристаллов сахара возможны только в пересыщенном сахарном растворе. Степень пересыщения раствора характеризуется (по Классену) коэффициентом пересыщения α — числом, показывающим, во сколько раз в данном растворе на единицу воды приходится сахара больше, чем в насыщенном растворе при той же температуре: $\alpha = H_1/H'$ (где H_1 — количество сахара, приходящееся на единицу воды в данном растворе).

Для пересыщенных растворов $\alpha > 1$, для насыщенных $\alpha = 1$, не-насыщенных — $\alpha < 1$.

Различают видимый и истинный коэффициенты пересыщения. Для нечистых растворов растворимость H' определяют экспериментально (длительно перемешивая раствор с кристаллами сахара). На практике для нечистых растворов при определении пересыщения используют растворимость H сахарозы в чистой воде и

находят так называемый видимый коэффициент пересыщения α_1 :
 $\alpha_1 = H_1/H$.

При сравнительно высокой чистоте, например, утфеля I продукта, видимый коэффициент пересыщения почти равен истинному, т. е. H' почти равно H . Для утфеля II продукта видимое и истинное пересыщение значительно различаются. Из выражений для α' и α_1 следует, что истинный коэффициент пересыщения $\alpha = H_1/H' = \alpha_1/\alpha'$, т. е. истинный коэффициент пересыщения равен видимому, деленному на коэффициент насыщения.

Основы теории кристаллизации сахара

Образование кристаллов сахара. Основной задачей продуктового отделения завода является получение белого кристаллического сахара высокого качества при минимальных его потерях с отходом сахарного производства — мелассой. В водном растворе, насыщенном сахаром при $\alpha = 1,0$, кристаллы сахара не растворяются и не растут (стабильный раствор). Если раствор несколько пересыщен, т. е. $\alpha > 1,0$ (но не больше 1,1), то начинается рост кристаллов сахара без образования новых центров кристаллизации (метастабильный раствор). Скорость кристаллизации зависит от коэффициента пересыщения, превышающего единицу. Например, при $\alpha = 1,06$ скорость кристаллизации будет выше, чем при $\alpha = 1,02$, в $(1,06 - 1,00) : (1,02 - 1,00) = 3$ раза.

При $\alpha > 1,1$, например при $\alpha = 1,2$ и больше, идет процесс кристаллизации с образованием и ростом новых кристаллов. Такие растворы называют лабильными (т. е. неустойчивыми). При значении α между 1,1 и 1,2 образование новых кристаллов происходит медленно. В растворе сахарозы, если он не содержит готовых кристаллов, центры кристаллизации появляются с большим трудом даже при $\alpha \geq 1,2$. Поэтому для начала образования кристаллов в раствор сахара, сгущенный до лабильной области ($\alpha = 1,2$), вводят «затравку» в виде сахарной пудры. Затравка вызывает образование новых кристаллов, кроме уже содержащихся в растворе. Эту операцию называют «заводкой» кристаллов.

Сахароза кристаллизуется в клиноромбической или моноклинической системе. Кристалл представляет собой комбинацию из шести кристаллографических форм с тремя осями. Две из них расположены под прямым углом, а третья — под углом $103^\circ 30'$ к горизонтальной оси.

Скорость кристаллизации. Скорость кристаллизации определяется количеством сахара (в мг), выкристаллизовавшегося из пересыщенного раствора в 1 мин на 1 м^2 поверхности. При кристаллизации часть растворенного сахара из пленки раствора фиксируется на поверхности кристаллов, при этом у граней кристалла концентрация сахара в сиропе понижается. Следовательно, между этой пленкой и всей массой пересыщенного раствора создается разность концентраций, обуславливающая диффузию сахара к поверхности кристалла. Количество выкристаллизовавшегося сахара S (в мг) при посто-

янных условиях пересыщения раствора пропорционально времени τ кристаллизации (в мин) и площади поверхности F (в м^2) кристаллов: $S = kF\tau$ (где k — коэффициент пропорциональности, равный S при $F = 1 \text{ м}^2$, $\tau = 1 \text{ мин}$). Это уравнение справедливо только при условии небольшого пересыщения, т. е. без образования новых кристаллов. Из уравнения следует, что чем больше поверхность кристаллов, тем быстрее протекает кристаллизация. Суммарная поверхность кристаллов тем больше, чем эти кристаллы мельче. Величина поверхности каждого кристалла сахара f зависит от его массы p и может быть приблизительно выражена следующей зависимостью (Кухаренко): $f = 4,12 \sqrt[3]{p^2}$.

Например, если 1 г сахара состоит из 3000 кристаллов, то их суммарная поверхность равна 59 см^2 ; для более мелких кристаллов, например, когда 1 г сахара состоит из 6000 кристаллов, поверхность будет равна $74,5 \text{ см}^2$, т. е. на 26% больше.

При современных быстрых темпах уваривания получают утфель с содержанием от 3000 до 5000 кристаллов в 1 г (крупным считают сахар с содержанием кристаллов в 1 г 2000 и слишком мелким — 10 000).

Каганов предложил скоростью кристаллизации называть линейную скорость роста кристалла (k_l), т. е. увеличение длины кристалла в микронах в минуту. Линейная скорость кристаллизации, по Каганову, в 500 раз меньше обычной скорости кристаллизации ($k_l = k/500$). Например, при пересыщении $\alpha = 1,06$ и 70°C скорость кристаллизации $k = 2370$; по Каганову, линейная скорость кристаллизации составит: $k_l = 2370:500 = 4,74 \text{ мкм/мин}$ (или $0,00474 \text{ мм/мин}$). Следовательно, для выращивания кристалла длиной 1,0 мм необходимо затратить $1,0:0,00474 = 211 \text{ мин}$.

Если линейную скорость кристаллизации выразить в мм/ч , то k_l будет уже в 8333 раза меньше k , т. е. $k_l = k:8333 \text{ мм/ч}$.

Факторы, влияющие на скорость кристаллизации

Кристалл сахара окружен неподвижной пленкой раствора толщиной d (рис. 32). Непосредственно у самой грани кристалла вследствие кристаллизации раствор уже не пересыщен и имеет концентрацию сахара, равную c . На расстоянии d от грани кристалла находится пересыщенный раствор с концентрацией C . Вследствие разности концентраций $C - c$ молекулы сахарозы диффундируют через пленку раствора к грани кристалла и выкристаллизовываются на ней.

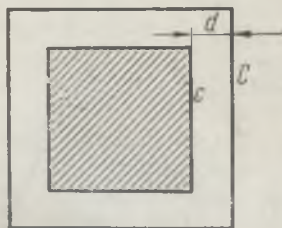


Рис. 32. Схема процесса кристаллизации сахара.

Количество продиффундировавшего сахара S прямо пропорционально разности концентраций $C - c$, поверхности, через которую проходит диффузия, т. е. поверхности кристаллов F , времени диффундирования

или кристаллизации τ , температуре T и обратно пропорционально пути диффундирования d .

Движущей силой процесса кристаллизации является избыточное пересыщение $C - c$ раствора или приблизительно пропорциональная ему величина $\alpha - 1$.

Например, если пересыщенный раствор с коэффициентом пересыщения $\alpha = 1,10$ имеет избыточное пересыщение 0,10, а другой раствор с $\alpha = 1,05$ — избыточное пересыщение 0,05, то второй раствор должен кристаллизироваться в 0,10 : 0,05 = 2 раза медленнее, чем первый.

Скорость кристаллизации зависит от d , т. е. толщины пленки раствора, прилипшей к кристаллу. Чем она тоньше, тем короче путь диффундирования, тем выше скорость кристаллизации. В основном d зависит от скорости движения кристалла относительно окружающего его отека и чем быстрее это движение, тем меньше d и выше k . Практически в утфельной массе каждый кристалл по отношению к окружающему его отеку движется исключительно под влиянием ускорения свободного падения вследствие относительно более высокой плотности. Главной целью перемешивания утфельной массы в процессе кристаллизации является создание условий для непрерывного падения кристаллов в течение всего периода кристаллизации. Так как кристаллы медленно падают в вязком отеке, то достаточно медленного перемешивания. Ускорение перемешивания утфеля в мешалках не дает никакого эффекта.

В табл. 5 приведены данные о скорости кристаллизации сахарозы [в мг/(м²·мин)] в зависимости от температуры. Как видно из приведенных данных, с повышением температуры на каждые 10°C k увеличивается приблизительно в 2 раза. Кроме того, значительное влияние на скорость кристаллизации оказывает степень пересыщения.

Т а б л и ц а 5

Температура, °C	Скорость кристаллизации сахарозы при коэффициенте пересыщения											
	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24
20	50	100	145	195	240	290	340	395	450	500	550	600
30	90	195	325	460	600	755	920	1120	1330	—	—	—
40	170	350	555	765	965	1190	1420	1650	1875	—	—	—
50	265	545	875	1300	1850	2385	2920	3460	3980	—	—	—
60	360	740	1300	2120	2930	—	—	—	—	—	—	—
70	780	1570	2370	3430	—	—	—	—	—	—	—	—

Вязкость не является самостоятельным фактором и изменяется от изменения температуры и доброкачественности кристаллизующегося раствора. С повышением температуры раствора вязкость η уменьшается и вместе с этим уменьшается d , так как увеличивается

относительная скорость падения кристаллов в менее вязком оттеке, и увеличивается k .

Вязкость насыщенного раствора чистого сахара меняется с изменением температуры следующим образом:

Температура, °C	20	30	40	50	60	70	80	90
Вязкость, кПа·с	2,24	1,63	1,26	1,02	0,90	0,82	0,85	0,92

Понижение доброкачественности сахарного раствора резко снижает скорость кристаллизации. В табл. 6 приведены данные о скорости кристаллизации [в мг/(м²·мин)] в нечистых сахарных растворах при 70°C и пересыщении в пределах 1,03—1,24.

Т а б л и ц а 6

Доброкачественность, %	Скорость кристаллизации сахарозы при коэффициенте пересыщения							
	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24
100	1120	2360	4050	6900	—	—	—	—
92	620	1540	2390	2850	3300	3750	4180	—
80	235	415	580	710	840	975	1105	1235
70	40	65	85	105	125	150	170	195

Из данных табл. 6 видно, что при доброкачественности 92% k уже в 2 раза меньше, чем для чистой сахарозы, а при 70% — даже в 30—65 раз. Это объясняется повышением вязкости растворов низкой чистоты. Однако, как отмечает П. М. Силин, обычные несахара соков не вызывают повышения вязкости.

Скорость кристаллизации, по экспериментальным данным, не зависит от величины кристаллов и количества кристаллов в утфеле в пределах от 16 до 41%.

Технологические схемы варочно-кристаллизационного отделения завода

Процесс кристаллизации должен обеспечить выпуск белого сахара высокого качества при максимально возможном истощении мелассы. Рациональная технологическая схема варочно-кристаллизационного отделения завода должна иметь необходимое количество ступеней кристаллизации, чтобы общее истощение сиропа (т. е. разность между доброкачественностью сиропа и мелассы) составило около 34 ед.

При получении кристаллического сахара на одной ступени кристаллизации образуется утфель в виде неподвижной груды кристаллов, который трудно спускать из вакуум-аппарата и перемешивать в мешалке. При двухступенчатой кристаллизации утфель I продукта уваривают до содержания кристаллов 55%; свыше 55% кристал-

лы вплотную придвигаются один к другому и утфель теряет подвижность. В утфеле II кристаллизации количество кристаллов обычно составляет 42—43%, так как его подвижность дополнительно ограничивается высокой вязкостью межкристального отека.

В СССР типовой является трехпродуктовая схема, которая рекомендуется также для всех новостроящихся и реконструируемых заводов. Главная цель применения трехпродуктовой схемы состоит в получении сахара повышенного качества за счет повышения доброкачественности сиропа возвратом в него желтых сахаров и отсутствия возврата в утфель I продукта патоки. При правильной работе двух- и трехпродуктовой схемы позволяют получать одинаковую степень истощения мелассы. Для хорошего истощения мелассы по трехпродуктовой схеме необходимо, чтобы доброкачественность последнего утфеля не снижалась ниже, например, 75%.

Для улучшения качества белого сахара рекомендуется во всех случаях аффинировать (т. е. механически удалять менее доброкачественную паточную пленку с поверхности кристаллов сахара, заменяя ее на более чистую, без растворения кристаллов сахара) желтый сахар последнего продукта зеленой патокой при 85°C.

ДВУХПРОДУКТОВАЯ СХЕМА

По этой схеме (рис. 33) очищенную смесь сиропа с клеровкой направляют в сиропные сборники, из которых ее забирают в вакуум-аппараты I продукта и уваривают до содержания СВ 92—93% (утфель I продукта). Утфель состоит из смеси кристаллов сахара (не более 55—60%) и маточного раствора, содержащего часть сахара и все несахара сиропа. Из вакуум-аппарата утфель I продукта направляют в мешалку, которая одновременно служит и утфелераспределителем. При спуске из вакуум-аппарата утфель опрыскивают водой температурой 75°C в количестве 0,5% к массе утфеля. На некоторых заводах утфель I продукта из мешалок направляют в утфелераспределитель и из него — в центрифуги, где кристаллы сахара отделяются от маточного раствора и пробеливаются горячей водой.

Белый сахар из центрифуг транспортируют качающимся конвейером и элеватором в сушильное отделение. Сушку сахара осуществляют в одно- или двухбарабанной сушилке горячим воздухом с последующим охлаждением сахара холодным воздухом.

Высушенный сахар направляют ленточным транспортером на сортировочный качающийся конвейер с ситами. Просеянный сахар направляют в бункер, а отсеянные комочки — на клеровку. Сахар из бункера упаковывают в мешки, взвешивают и отправляют в склад.

При пробеливании утфеля I продукта в центрифугах получают два отека: первый оттек называется зеленой патокой и является маточным раствором утфеля, второй оттек называется белой патокой и состоит из маточного раствора, воды после промывания кристаллов и сахара, растворенного в этой воде. Зеленая

При фуговке утфеля III продукта получают желтый, а при побеливании водой — бурый сахар и мелассу. Желтый сахар III продукта аффинируют при 85°C зеленой патокой I продукта. Аффинационный утфель с содержанием СВ 90% направляют через утфелераспределитель в центрифуги для получения желтого сахара и аффинационного оттека. Аффинированный желтый сахар III продукта вместе с желтым сахаром II продукта направляют в клеровочные котлы.

Оттек, получаемый при фуговке аффинационного утфеля (аффинационный оттек), возвращают на варку утфеля III продукта на последние подкачки.

Технологическая схема работы кристаллизационного отделения с выводом сиропа на хранение

В настоящее время ряд действующих заводов (Лебедянский, Перелешинский и др.) реконструируют для работы с выводом сиропа на хранение. Это позволяет при минимальных капитальных затратах увеличить мощность завода по переработке свеклы, сократить длительность ее переработки, снизить потери сахара при хранении свеклы. При этом реконструкции подвергают завод до продуктового отделения. При переработке свеклы часть сиропа, соответствующая производительности продуктового отделения, перерабатывается с получением сахара-песка, а остальное количество сиропа после соответствующей подготовки выводится в резервуары на хранение. По окончании переработки свеклы из этого сиропа вырабатывают сахар-песок.

К качеству сиропа, направляемого на хранение, предъявляются следующие требования: максимальная концентрация сухих веществ (67—70%), минимальная инфицированность микроорганизмами при абсолютном отсутствии дрожжей (осмофильных), оптимальная температура перед резервуаром (не выше 25°C), минимально возможная цветность, оптимальная величина рН (7,7—8,0), минимальная величина кислотного радикала R сиропа (в мл 0,1н. раствора NaOH) и минимум содержания редуцирующих веществ.

Результаты промышленных экспериментов (заводы Кореновский, Сальковский, Мироновский) показали, что при длительном хранении сиропа разного качества все физико-химические показатели качества сиропа (кроме цветности, которая увеличивается приблизительно в 2 раза) изменяются незначительно. В связи с этим технологическая схема переработки сиропа после хранения остается прежней, если его цветность не превышает 20—30° Шт. При более высокой цветности необходимо менять схему переработки сиропа.

При переработке свеклы в зависимости от ее технологического качества будет изменяться и качество сиропа, особенно по величине цветности, в то же время такие показатели качества, как концентрация сухих веществ, температура, стерильность, более стабильны и не зависят от качества свеклы. В связи с этим продуктивное отде-

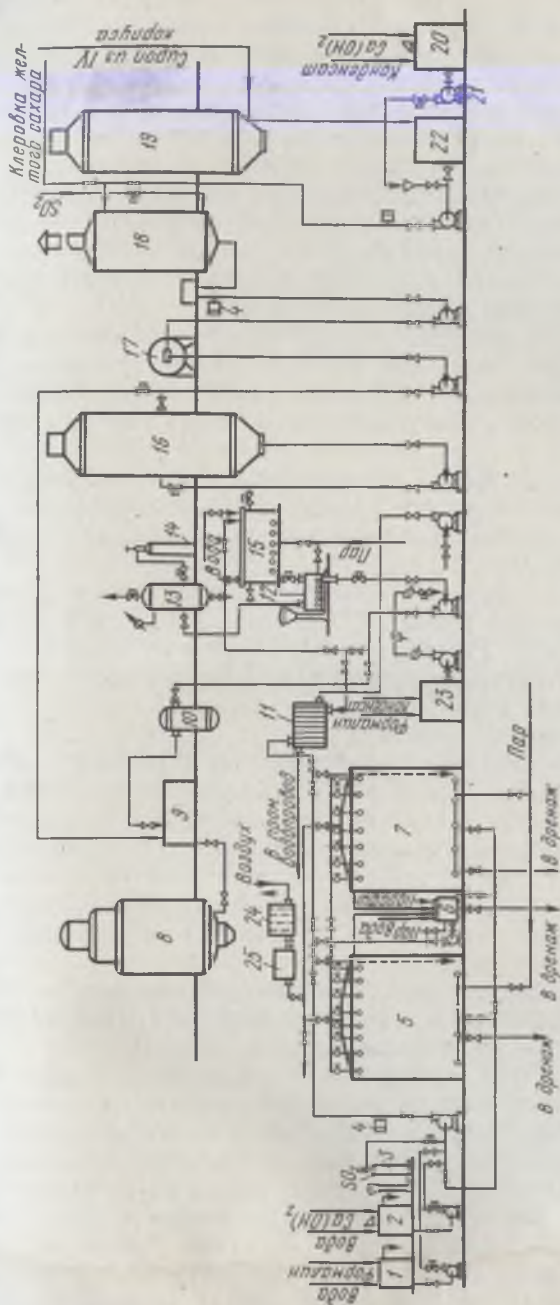


Рис. 34. Технологическая схема подготовки сиропа для хранения.

1, 23 — сборник формалина; 2, 20 — мешалка известкового молока; 3 — емкость с жидким диоксидом серы; 4 — датчик pH-метра; 5, 7 — резервный вакуум; 6 — автоклав; 8 — вакуум-аппарат; 9, 22 — сборник сиропа на вес; 10 — подогреватель; 11 — теплообменник; 12 — теплообменник; 13 — емкость с жидким SO_2 ; 14 — вакуум-сборник; 15 — буферная емкость сиропа; 16 — подварочный вакуум-аппарат; 17 — дисковый фильтр; 18 — сульфитатор; 19 — концентратор; 20 — мешалка; 21 — насос; 24 — фильтр очистки воздуха; 25 — бактерицидная установка.

ление должно иметь техническую возможность переработки сиропа с высокой цветностью при гарантированном получении сахара высокого качества и минимальных его потерях с мелассой.

Принципиальная аппаратурно-технологическая схема подготовки сиропа к выводу на хранение (рис. 34) предусматривает обеспечение таких показателей качества сиропа, как концентрация сухих веществ, стерильность, рН, температура.

Высокая концентрация сухих веществ в сиропе позволяет эффективнее использовать полезный объем резервуаров, снижает опасность возникновения микробиологических процессов; ее величина ограничивается температурой хранения, определяющей исключение произвольной кристаллизации сахарозы из сиропа в резервуаре при отрицательных температурах (-10°C).

Сироп с выпарки или смесь сиропа с клеровкой после их сульфитации и фильтрации стерильны. Поэтому важно при выводе сиропа в резервуары обеспечить стерильность всего оборудования и технологических трубопроводов и исключить контакт сиропа с атмосферным воздухом.

Снижение температуры и рН сиропа необходимы для соответствующего снижения скоростей процессов химического разложения сахарозы и образования красящих веществ (например, меланоидинов) при хранении сиропа.

Перед выводом сиропа стерилизуют оборудование и трубопроводы горячей аммиачной водой (90°C), содержащей 40% формалина (0,1% к массе воды). Резервуары обрабатывают парами формалина, нагревая воду ретурным паром (132°C) через барботеры. Обработка оборудования и трубопроводов длится 18—24 ч. Затем воду сбрасывают в дренаж.

Сироп из концентрата обрабатывается 0,1—0,2% СаО к массе сиропа из мешалки 20 для восстановления натуральной щелочности и направляется в сульфитатор. Сульфитированный сироп фильтруют на дисковом фильтре и направляют в подварочный вакуум-аппарат 15, который снабжен циркуляционным насосом. Сироп с заданной концентрацией сухих веществ перекачивается из вакуум-аппарата в буферную емкость 15, из которой он поступает в сборники на весах.

Взвешенную порцию сиропа насосом направляют через теплообменник 11 в нижнюю часть резервуаров 5 и 7. При необходимости в сироп вводят 0,1% формалина.

Теплообменник типа «жидкость — жидкость» охлаждается водой из промышленного водопровода или хладагентом из холодильной установки. Резервуары сообщаются с атмосферным воздухом через механический фильтр 24 и бактерицидную установку 25. После заполнения резервуара на зеркало сиропа выкачивают насосом из автоклава 6 расчетное количество пищевого парафина (температура плавления 25°C , содержание углеродных атомов от 10 до 25) для образования пленки толщиной 3—5 мм. Парафин предварительно стерилизуют острым паром и расплавляют. Пленка парафина экранирует сироп от прямого контакта с воздухом и защищает от по-

падания инфекции из воздуха в случае неплотностей в крышке резервуара.

При обнаружении инфекции на поверхности зеркала сиропа его орошают раствором формалина через систему форсунок, установленных под крышкой резервуара, из расчета $0,05—0,10$ л/м².

Схемой предусмотрена ликвидация инфекции в сиропе, возникшей уже в процессе хранения. Для этого сироп перекачивают из одного резервуара (заполненного) в другой (незаполненный), например из 5 в 7, с одновременной его стерилизацией формалином или диоксидом серы с предварительным подщелачиванием.

На резервуарах устанавливают по высоте пробоотборные краны. Для исключения контакта сиропа с атмосферным воздухом при опорожнении буферной емкости 15 и сборников 12 на весах их герметизируют и соединяют с баллоном жидкого CO₂ через вакуум-сборник.

Сироп на переработку перекачивают по тому же трубопроводу, выключив теплообменник. Сироп поступает в буферную емкость и далее через сборник на весах и подогреватель 10 направляется в сборники 9 перед вакуум-аппаратами. Схема должна быть максимально автоматизирована.

Следует обращать внимание на хорошую герметичность соединений, трубопроводов, арматуры, сборников, резервуаров, сальников сиропных насосов.

Варка утфеля I продукта

Целью уваривания сиропа с клеровкой в вакуум-аппарате является выкристаллизовывание сахара при выпаривании воды. В вакуум-аппарат поступает сироп с 65—70% СВ, в результате уваривания сиропа получают утфель с 92—93% СВ. Количество воды, выпариваемой в вакуум-аппаратах I продукта, составляет примерно 10% к массе перерабатываемой свеклы. Утфель I продукта содержит около 7,5% воды и около 55% выкристаллизовавшегося сахара.

По своей консистенции утфель представляет густую и вязкую смесь кристаллов и межкристалльной жидкости. Такую массу невозможно получить в обычных выпарных аппаратах, поэтому сироп уваривают в специальных вакуум-аппаратах, работающих периодически или непрерывно.

Уваривание сиропа ведут под разрежением, так как концентрация сухих веществ в кипящей массе непрерывно повышается, что вызывает соответствующее повышение температуры ее кипения приблизительно на 20°C.

Если, например, сироп уваривать под атмосферным давлением, то его температура кипения будет $100 + 20 = 120^\circ\text{C}$, что вызовет карамелизацию сахара, так как уваривание сиропа длится 2—4 ч. Под разрежением же температура сиропа и утфеля при уваривании поддерживается на уровне 75—80°C.

ность межкристальной патоки в аппарате приблизится к доброкачественности белой патоки, прекращают ввод сиропа в аппарат и начинают подкачку нагретой белой патоки. При работе по двухпродуктовой схеме на варку утфеля I продукта направляют все количество белой патоки, если ее цветность не влияет на цветность сахара-песка.

4. Сгущение и спуск утфеля. Завершающий период варки — сгущение утфеля перед спуском — начинается после того, как необходимое количество патоки введено в вакуум-аппарат и уварено. При уваривании в утфеле остается минимальное количество воды, соответственно концентрация сухих веществ повышается до 92,0—92,5%.

От содержания СВ в утфеле зависит доброкачественность оттока. Например, в момент спуска утфель имеет температуру 75°C, содержание в нем СВ 92,0%, сахара 82,0%, доброкачественность 89%, коэффициент пересыщения межкристального оттока 1,10. Тогда в оттоке на одну часть воды приходится $3,477 \cdot 1,10 = 3,825$ части сахара (3,477 — растворимость сахарозы при 75°C в одной части воды). В 100 кг утфеля содержится воды 100—92,0=8 кг, а в оттоке будет содержаться (в кг): сахара — $8,0 \cdot 3,825 = 30,6$, несахаров — $92,0 - 82,0 = 10,0$, СВ — $30,6 + 10,0 = 40,6$. Доброкачественность оттока составит $30,6 \cdot 100 : 40,6 = 75,3\%$.

Если же утфель будет сгущен только до 91,0% СВ, то доброкачественность оттока составит не 75,3, а 79,2%. Таким образом, 1% воды в утфеле повышает доброкачественность оттока на 79,2—75,3=3,9%. В то же время сгущение утфеля выше 92,5% СВ не рекомендуется, так как это повышает время уваривания и замедляет фуговку.

Утфель, сгущенный до 92,5% СВ при содержании кристаллов сахара 55%, спускают в мешалку в следующем порядке. Сначала закрывают паровые вентили, а затем воздушный вентиль, одновременно открывают спускной шибер и вентиль ввода воздуха в аппарат. Для равномерного спуска утфеля в аппарате поддерживают небольшое разрежение (остаточное давление 0,080—0,087 МПа).

Для уменьшения вязкости и снижения пересыщения межкристальной патоки рекомендуется при спуске обрызгивать утфель аммиачной водой температурой 75°C. При расходе 0,5% воды к массе утфеля коэффициент пересыщения межкристальной патоки снижается до 1,02—1,03. При таком пересыщении утфель не содержит «муки», более подвижен и хорошо фугуется.

После спуска утфеля в аппарат подают пар для удаления остатков его со стенок аппарата, смотровых стекол и поверхности нагрева. Образовавшийся сироп (пропарку) направляют в клеровочный котел.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВАРКИ УТФЕЛЯ I ПРОДУКТА

Продолжительность варки утфеля I продукта от 4—5 до 2—2,5 ч. Длительность отдельных операций в среднем составляет (в мин):

Набор сиропа и сгущение его до заводки	25
Заводка кристалла	3
Наращивание кристалла	70
Сгущение утфеля перед спуском	40
Спуск утфеля, пропарка и подготовка аппарата к следующей варке	12

Длительность всего цикла варки утфеля зависит от качества увариваемых продуктов (их чистоты), принятой схемы варки, опытности аппаратчика и его умения использовать передовые методы работы.

В настоящее время установлены следующие нормы продолжительности полного цикла варки утфеля 1 продукта (z_1) и продолжительности вспомогательных операций (z_2) в зависимости от доброкачественности продукта (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Схема	Доброкачественность увариваемых продуктов, %	z_1 , мин	z_2 , мин
Двухпродуктовая	92—93	150	15
	90—91	195	
	88—89	210	
Трехпродуктовая	92 и выше	135	15
	91—92	170	
	90—91	195	

В практике работы продуктового отделения бывают случаи, когда сгущение сиропа до заводки кристаллов и рост кристаллов в период наращивания значительно замедлены. Эти затруднения объясняются присутствием в сиропе коллоидных веществ, главным образом кальциевых солей. Такая так называемая трудная варка является следствием нарушений технологического режима на предшествующих станциях завода (диффузия, очистка), которые необходимо своевременно выявить и устранить. Если причиной трудной варки оказывается наличие избыточных количеств кальциевых солей (более 0,1% СаО), то для их снижения добавляют на очистке соду или тринатрийфосфат.

Уваривание особенно замедляется при повышенной щелочности сиропа, так как в этом случае часть сахара находится в сиропе в виде сахарата, что повышает его вязкость. Сироп после сульфитации должен быть нейтральным на фенолфталеин и щелочным на крезоловый красный.

АППАРАТЫ ДЛЯ ВАРКИ УТФЕЛЕЙ

Одним из важнейших участков современного сахарного завода является варочно-кристаллизационное отделение, оснащенное вакуум-аппаратами. Результаты работы его имеют большой удельный вес в технико-экономических показателях работы завода.

Конструкция вакуум-аппаратов оказывает решающее влияние на процесс уваривания утфеля. Идеальным вакуум-аппаратом может быть признан такой аппарат, в котором утфельная масса в процессе кристаллизации была бы однородной по плотности, содержанию кристаллов, пересыщению и температуре. Идеальный аппарат можно определить как аппарат с интенсивной циркуляцией, в котором разность между температурой утфеля под камерой и температурой утфеля, измеренной на 40 см выше камеры, составляет не более 3°C в момент окончания варки. Однако полностью эти требо-

вания мало осуществимы, а поэтому в процессе уваривания допускаются отклонения от средних величин температуры и пересыщения в определенных пределах.

Конструкция вакуум-аппаратов должна отвечать следующим требованиям: количество сиропа, набираемого в вакуум-аппарат до заводки кристалла, не должно превышать 25—30% сиропа, потребляемого на всю варку; удельная поверхность нагрева и интенсивный теплообмен должны обеспечить минимальную длительность варки при соответствии между теплопроизводительностью поверхности нагрева и скоростью кристаллизации; компактное расположение поверхности нагрева с максимальным заполнением нагревательными элементами конической части аппарата; циркуляция должна быть интенсивной, исключающей наличие застойных зон при оптимальном соотношении между сечениями подъемных и спускных каналов; оптимальное отношение высоты слоя утфеля в аппарате к его диаметру должно обуславливать величину гидродинамической депрессии и небольшое снижение полезной разности температур.

Вакуум-аппараты периодического действия. В настоящее время на всех заводах сахарной промышленности СССР уваривание утфелей I, II и III продуктов осуществляется в периодически действующих вертикальных вакуум-аппаратах со встроенными или подвесными паровыми камерами (рис. 35). Обогревательные трубки имеют наружный диаметр $102 \times 3,5$ мм, который обеспечивает хорошую циркуляцию утфельной массы в аппарате.

Греющий пар входит в каждую камеру с противоположных сторон. Камеры можно обогревать паром различного давления (I, II или III корпуса выпарки).

Конденсат отводится из каждой камеры снизу, аммиачные газы — из верхней части камеры.

Во время уваривания утфельная масса циркулирует в верхней части аппарата и опускается по циркуляционной трубе и кольцевому зазору между стенками аппарата и подвесной камерой. В верхней части аппарата устанавливают щит и ловушку для брызг, как в выпарных аппаратах.

Пар из вакуум-аппарата направляют в конденсатор через вентиль разрежения.

Установка для получения вакуума состоит из конденсатора с барометрической трубой, вакуум-насоса, ящиков холодной и барометрической вод.

Спускное отверстие вакуум-аппарата закрывается конусным шибром с помощью гидромасляной системы. Перед тем как спускать утфель из аппарата, закрывают вентиль разрежения и открывают воздушный вентиль для впуска воздуха в аппарат.

Вакуум-аппарат снабжен напорным трубопроводом и вентилем, через которые в аппарат поступают сироп, белая и зеленая патоки.

Сборники для сиропа и оттеков размещают рядом с вакуум-аппаратом, эти продукты поступают в аппарат самотеком под влиянием разрежения.

Для наблюдения за кипением увариваемой массы и уровнем заполнения аппарата предназначен ряд смотровых стекол, расположенных по высоте аппарата. Стекла можно пропаривать периодически изнутри аппарата, что предотвращает их засахаривание. Для этой цели предназначены трубки для пропаривания. При конденсации пара конденсат растворяет и смывает утфельную массу.

Пробный кран в нижней части вакуум-аппарата позволяет отбирать пробы увариваемой массы в процессе работы под разрежением.

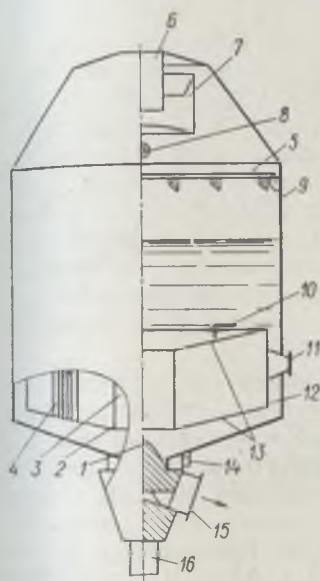


Рис. 35. Вакуум-аппарат ВАА-400:

1 — запорный клапан; 2 — патрубок отвода конденсата; 3 — циркуляционная труба; 4 — трубки; 5 — барботер пропарки; 6 — патрубок вывода утфельного пара; 7 — сепаратор; 8 — патрубок сброса разрежения; 9 — корпус; 10 — аммиачные оттяжки; 11 — патрубок ввода греющего пара; 12 — паровая камера; 13 — трубные решетки; 14 — патрубок ввода сиропа; 15 — патрубок вывода утфеля; 16 — масляный гидрпривод.

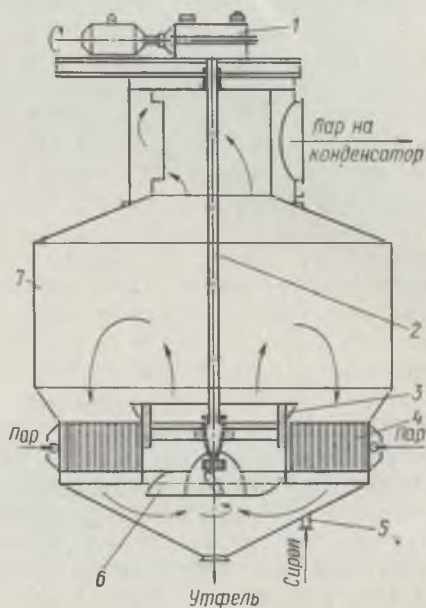


Рис. 36. Вакуум-аппарат с механическим циркулятором:

1 — электромеханический привод; 2 — вал; 3 — циркуляционная труба; 4 — паровая камера; 5 — патрубок ввода сиропа; 6 — лопастной ротор циркулятора; 7 — корпус.

На аппарате устанавливают вакуумметр, представляющий собой U-образную трубку, заполненную ртутью. В нижней части аппарата установлен термометр, показывающий температуру кипения увариваемой массы.

На паропроводах устанавливают манометры.

Основным недостатком вакуум-аппаратов периодического действия типа ВАА является недостаточная циркуляция увариваемой массы, особенно в заключительной фазе варочного цикла. Поэтому в последнее время эти аппараты стали снабжать механическими циркуляторами (рис. 36). Это приводит к увеличению производительности вакуум-аппаратов, что проявляется, например, в сокращении времени уваривания, в получении более однородных и менее агломерированных кристаллов, в уменьшении содержания золы в готовом сахаре.

Вакуум-аппараты непрерывного действия. Основные технологические процессы свеклосахарного производства достаточно механизированы и автоматизированы на базе непрерывного производственного потока с использованием оборудования непрерывного действия. Один из основных производственных процессов сахарного производства — получение утфелей — осуществляется периодическим способом. Создание непрерывнодействующего вакуум-аппарата является неотложной задачей дальнейшего совершенствования технологического процесса сахарного производства. Решение этой задачи позволит превратить сахарный завод в полностью поточное автоматизированное производство, осуществить равномерное потребление пара, уменьшить расход топлива, улучшить качество сахара и производить более глубокое истощение мелассы, полностью автоматизировать процесс получения утфелей.

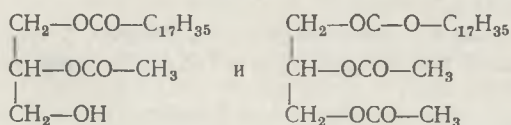
Несмотря на большое количество предложенных установок и способов, проблема уваривания утфеля непрерывным способом не решена. Это вызвано отсутствием надежно работающих приборов для управления этим процессом и исходных параметров для его автоматизации. Работоспособная установка непрерывного действия может быть создана только после решения ряда вопросов, связанных с исключением при непрерывной кристаллизации процессов неравномерного укрупнения кристаллов, друзообразования и засахаривания аппарата в условиях постоянного пересыщения, образования «муки» и чрезмерного нарастания цветности.

Предложенные конструкции вакуум-аппаратов систем Зуева — Востокова, Бурдакова, Гузенко, Тумашева, Знаменского, Данильцева и многосекционного непрерывнодействующего вакуум-аппарата ВАМНД, горизонтальных и вертикальных циркуляционно-прямоточных вакуум-аппаратов непрерывного действия не позволяют получить утфель с нормальным гранулометрическим составом кристаллов сахара, подвержены засахариванию и закупорке контуров циркуляции. Отсутствие надежных средств автоматического регулирования делает обслуживание этих вакуум-аппаратов более сложным, чем вакуум-аппаратов периодического действия. Лучше, чем в других конструкциях, вопрос прямоточного перемещения утфеля решается в вакуум-аппарате с транспортной системой (ВНИИСП). Возможность дальнейшего улучшения кристаллов утфеля в этом аппарате за счет увеличения числа секций и перемешивающего устройства делает эту конструкцию перспективной для уваривания утфеля I продукта.

Одним из новых способов интенсификации процесса кристаллизации сахара является применение ПАВ в виде добавки к утфелю в период уваривания. Отечественный и зарубежный опыт показал, что добавка ПАВ сокращает длительность уваривания утфелей, ликвидирует пенение в вакуум-аппаратах, улучшает гранулометрический состав сахара, увеличивает подвижность утфеля, повышает коэффициент теплопередачи.

К ПАВ относятся химические соединения, молекулы которых содержат гидрофильную и лиофильную части, способные адсорбироваться на границе раздела фаз в виде мономолекулярного слоя, что влияет на скорость обмена веществ между фазами.

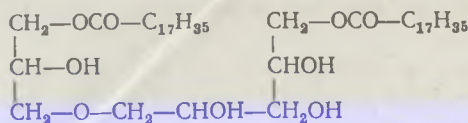
Положительные результаты были получены при применении пищевых ПАВ — неполных эфиров жирных кислот и глицерина, которые безвредны и широко используются в пищевой промышленности. К ним относятся, например, моноглицерид стеариновой кислоты 50- и 100%-ной степени ацелирования (АМГСК-50)



Т а б л и ц а 8

Период уваривания	Количество добавляемого ПАВ, % к массе утфеля				Цель ввода ПАВ
	I продукта доброка- чественностью, %		последнего продукта доброкачественнос- тью, %		
	92 и выше	92 и ниже	78—82 и выше	78—74 и ниже	
После заполнения ва- куум-аппарата си- ропом или оттеком перед заводкой кри- сталлов	0,001	0,001	0,001	0,001	Гашение пены, улучшение грану- лометрического со- става сахара
Подкочки сиропа или оттека в процессе уваривания	—	0,003	0,002	0,005	Снижение вязкос- ти утфеля, ин- тенсификация про- цесса предотвра- щения образова- ния «муки»
Последняя подкочка	0,001	0,001	0,002	0,004	То же
Всего	0,002	0,005	0,005	0,010	—

и дистеарат полиглицерина (эмульгатор Т-2)



В качестве ПАВ может быть использовано подсолнечное масло (ГОСТ 1129—55).

Техника применения ПАВ при кристаллизации утфелей заключается в следующем. После заполнения вакуум-аппарата сиропом или оттеком перед вводом кристаллической затравки вводят около 10—20% общего количества ПАВ для уменьшения образования пены и улучшения гранулометрии сахара. 30—40% вводят при последней подкачке для снижения вязкости и исключения образования «муки». Остальные 50—60% ПАВ распределяют одинаковыми частями при каждой промежуточной подкачке.

Фактором, определяющим расход ПАВ на один вакуум-аппарат, является качество сиропа с клеровкой и паток.

Режим ввода ПАВ в вакуум-аппарат в зависимости от качества утфелей приведен в табл. 8.

Продолжительность уваривания, например, утфелей последнего продукта при добавке АМГСК-50 и Т-2 снижается на 27—28%.

Фуговка утфеля I продукта

Утфель из вакуум-аппарата I кристаллизации после уваривания направляют в мешалку-утфелераспределитель. При спуске утфель I продукта опрыскивают водой температурой 75°C для снижения пересыщения и исключения образования «муки». Утфель фугуется приблизительно при 70°C, что снижает вязкость межкристального оттека и ускоряет процесс.

ОСНОВЫ ПРОЦЕССА

Отделение межкристальной патоки от кристаллов (фуговка) осуществляется в центрифугах. Сущность процесса разделения в центрифугах — в поле центробежных сил — состоит в том, что материал направляют в вращающийся барабан, где взвешенные частички, имеющие несколько большую плотность, чем осветляемая суспензия, движутся под действием центробежных сил по направлению к стенке барабана и скапливаются там в виде сгущенного осадка. Отделенная жидкость, пройдя внутренние лабиринты барабана, отводится через специальное приспособление.

Чем больше разница в плотностях жидкости и взвешенных частиц, тем лучше и быстрее происходит процесс разделения.

Одним из главных параметров технической характеристики центрифуги считается фактор разделения F_g . Он показывает, во сколько раз ускорение центробежной силы, действующей на частицы утфеля-

ной массы, больше ускорения силы тяжести, т. е. $Fg = Dn^2/1800$ (где D — диаметр ротора центрифуги; n — частота вращения ротора).

Фактор разделения центрифуг, применяемых на сахарных заводах, от 500 до 1700.

АППАРАТЫ ДЛЯ ФУГОВКИ УТФЕЛЯ

На сахарных заводах СССР для фуговки утфеля применяют центрифуги периодического и непрерывного действия. В периодически действующих центрифугах фуговка состоит из периодически повторяющихся в определенной последовательности и с определенной продолжительностью циклов загрузки и разгрузки; они имеют ручное управление. В непрерывнодействующих центрифугах процесс идет непрерывно в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Принципиальное устройство центрифуги заключается в следующем. Стальной перфорированный барабан центрифуги насажен на стальной вал и закреплен в нижней его части. Верхнюю часть вала закрепляют в подшипнике таким образом, что вал вместе с барабаном оказываются свободно подвешенными. Подшипник, на котором закреплен вал центрифуги, снабжен резиновыми прокладками для возможности некоторого отклонения от вертикального положения. В нижней части барабана расположено отверстие для выгрузки сахара. Барабан центрифуги помещен в неподвижный цилиндрический кожух, в котором при фуговке задерживается оттек, выводимый через отверстие в дне кожуха. Внутри барабана вначале закрепляют подкладочное сито из оцинкованной железной или латунной проволоки диаметром 1 мм с размером отверстий 5×5 мм. На подкладочное сито закрепляют штампованное или плетеное сито, которое задерживает кристаллы сахара.

Привод центрифуги выполнен из фрикционной муфты и электродвигателя, соединенных с верхней частью вала.

Центрифуга ПМ-1200. Это аппарат периодического действия. Цикл работы центрифуги состоит из нескольких операций: пуск и загрузка утфеля, отделение межкристальной патоки, пробелка сахара водой, торможение центрифуги, выгрузка сахара. Утфель загружают в центрифугу при частоте вращения барабана 200—300 об/мин, а затем увеличивают частоту вращения до заданной величины. Под действием центробежной силы утфель отбрасывается с горизонтального диска, укрепленного на валу внутри барабана, на сито барабана и распределяется на нем равномерным слоем. При этом кристаллы сахара остаются на сите барабана, а межкристальная патока проходит через отверстия в ситах и стенке барабана и попадает в пространство между барабаном и кожухом. Из кожуха патоку самотеком по желобу направляют в сборник зеленой патоки. После отделения основной массы межкристальной патоки (фуговки) с кристаллов сахара водой температурой 80—85 или 110—120°C удаляют пленку отека, т. е. промывают кристаллы

сахара (пробелка). Вода растворяет около 9% сахара к массе утфеля и превращается в белую патоку.

Центрифуга снабжена устройством (сегрегатор) для разделения оттеков и направления их по желобам в соответствующие сборники.

Сахар из центрифуг поступает на вибрационный конвейер, транспортирующий его к ленточному элеватору, подающему сахар на сушку.

Длительность цикла фуговки 2—3 мин.

Сита центрифуг постепенно забиваются сахаром, поэтому периодически их промывают на ходу водой и пропаривают.

При работе группы центрифуг периодического действия важно, чтобы они находились в различных фазах цикла фуговки, что необходимо для равномерности потребления энергии.

Автоматическая программная центрифуга ФПН-1251Л. Эта центрифуга, также периодически действующая, принята в качестве типовой для фуговки утфелей I—III продуктов. Внутренний диаметр ротора 1250 мм, высота ротора 800 мм; в ротор загружается 650 кг утфеля; фактор разделения — 1480. Двигатель мощностью 75 кВт пятискоростной (1500, 1000, 750, 230 и 115 об/мин).

Центрифуга ФПН-1251Л выпускается двух модификаций: ФПН-1251Л-3 и ФПМ-1251Л-2. Последняя отличается тем, что питатель заменен на шибер и лоток для подачи утфеля, а отверстие в роторе для выгрузки сахара закрывается конусом; поддон отсутствует, а промывная трубка выполнена стационарно.

Центрифуга ФПН-1251Л-3 в автоматическом цикле работает следующим образом. При нажатии кнопки «Пуск» включается электропривод и ротор разгоняется до 230 об/мин. Пуск возможен только при верхнем положении ножа. При 230 об/мин соответствующее токовое реле включает электромагнитный распределитель, подающий воздух в пневмоцилиндр клапана питателя, через который утфель поступает в ротор центрифуги. После заполнения ротора срабатывает датчик загрузки, и клапан питателя закрывается. Частота вращения ротора увеличивается до 750 об/мин. Одновременно включается электромагнитный вентиль, через который поступает вода для промывки питателя от утфеля. Промывка регулируется реле времени. После этого начинается фуговка утфеля. Токковое реле разгоняет ротор последовательно до 1000 и 1500 об/мин. При 1500 об/мин включается реле времени, которое регулирует время фуговки до момента торможения и начала промывки сахара. Одновременно в ротор опускается промывная труба.

По истечении времени фуговки начинается электрическое торможение электродвигателя от 1500 до 1000, 750 и 230 об/мин и включается электромагнитный вентиль подачи воды в промывную трубу для пробелки сахара. Одновременно поворачивается лоток сегрегатора для отвода белой патоки. Через заданное время пробелка прекращается и промывная труба поднимается, после чего ротор останавливается и начинает вращаться в обратную сторону до достижения частоты 115 об/мин. При 115 об/мин нож поворачивается на срез сахара, а поддон поворачивается к транспортеру сахара. При

повороте нож входит в верхний слой сахара и срезает его. Затем включается электродвигатель подачи ножа, который, опускаясь, срезает сахар со всей поверхности сита. Достигнув дна ротора, нож при помощи конечного выключателя останавливается. Одновременно поддон поворачивается в сторону от транспортера сахара и в ротор опускается промывная труба. Через некоторое время нож отводится от сита и поднимается. При достижении верхнего положения нож нажимает на конечный выключатель, отключающий электродвигатель ножа. Одновременно включается электромагнитный вентиль, подающий воду в промывную трубу для промывки сита.

После подъема промывной трубы лоток сегрегатора переводится на отвод зеленой патоки, а электродвигатель ротора тормозится и ротор останавливается. Очередной цикл начинается автоматически или нажатием кнопки «Пуск».

Полный цикл работы занимает от 180 до 900 с в зависимости от качества утфеля. Цикл фуговки утфеля I продукта равен приблизительно 210 с.

Центрифуга НВИ-1000. Это центрифуга непрерывного действия с инерционной выгрузкой продукта (рис. 37) Ротор центрифуги выполнен в форме воронки с углом 70° , диаметром 1000/400 мм и высотой 430 мм. На внутренней поверхности ротора закреплено сито с коническими отверстиями (0,06 мм). Равномерно увеличивающийся диаметр увеличивает фактор разделения до максимальной величины, равной 1700 при 1750 об/мин. Для пробеливания сахара и промывания ротора к центрифуге подведена горячая вода, а для пропаривания сита — пар.

Принцип действия центрифуги следующий. Утфель через загрузочный вентиль непрерывно поступает в распределитель, который направляет его на фильтрующее сито. На роторе создается равновесие между силой трения сахара по сити и касательной составляющей центробежной силы, стремящейся переместить сахар в направлении выгрузки. Сахар перемещается по ротору благодаря давлению утфеля, поступающего в распределитель, и некоторому неравновесию вышеуказанных сил. Для получения сахара с определенной

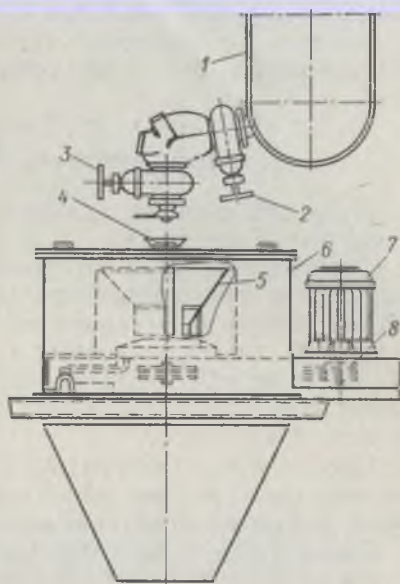


Рис. 37. Центрифуга непрерывного действия НВИ-1000:

1 — утфелераспределитель; 2, 3 — задвижки; 4 — загрузочная воронка; 5 — конический ротор; 6 — кожух; 7, 8 — электродвигатель с текстропной передачей.

цветностью производится промывка и пропарка сахара только в верхней части ротора. Отфугованный сахар выбрасывается через верхний край ротора в камеру для его удаления.

Испытания центрифуг непрерывного действия на утфелях свеклосахарного производства показали, что в таких центрифугах получить кондиционный белый сахар-песок невозможно из-за недостаточного времени пребывания сахара в роторе после пробелки водой. Кроме того, установлено, что при больших ускорениях кристаллов на сите ротора они истираются и мутнеют, приобретая молочный цвет.

Сушка, упаковка и хранение белого сахара

Процессы сушки и упаковки сахара осуществляются по схеме, приведенной на рис. 38.

Транспортирование сахара-песка на сушку выполняют при помощи вибрационного конвейера и ленточного элеватора с карманами. Желоб конвейера устанавливают на катках с возвратной круглой пружиной или на наклонных листовых пружинах. Колебательные движения желобу придаются с помощью кривошипного механизма. Виброконвейер не перетирает кристаллы сахара и не допускает образования комочков.

После виброконвейера сахар элеватором направляют в сушильное отделение, которое располагается на втором этаже в отдельном сухом, светлом и отапливаемом помещении.

Сахар-песок из центрифуг, прежде чем упаковать в мешки, необходимо высушить и охладить до температуры хранения ($20\text{--}25^{\circ}\text{C}$). Перед сушкой сахар имеет высокую температуру ($70\text{--}80^{\circ}\text{C}$) и влажность: при пробелке только водой — $1,5\%$, перегретой водой — $1,0$, водой и паром — $0,5\%$. После сушки влажность сахара уменьшается от $0,5$ до $0,10\text{--}0,05\%$, а температура снижается до 30°C .

Для сушки сахара применяют одно- или двухбарабанные сушилки, шахтные сушилки с пересыпными полками, а также аппараты, в которых сушка происходит в псевдоожиженном слое. В качестве теплоносителя используют подогретый воздух.

На многих сахарных заводах установлены двухбарабанные сушильные установки, состоящие из сушильного и охладительного барабанов. В однобарабанной сушильной установке барабан разделен на две секции — сушильную и охладительную. В сушильной секции аппарата нагретый в калорифере воздух движется прямоточно с сахаром, а в охладительной секции — противоточно.

Перспективной конструкцией сушилки для сахара является установка СПС-20-ВНИИСП для сушки и охлаждения сахара-песка в псевдоожиженном («кипящем») слое (рис. 39). По сравнению с барабанной сушилкой эта установка производительностью по высушенному сахару 20 т/ч имеет ряд преимуществ. Аппарат СПС-20-ВНИИСП обеспечивает получение сахара влажностью $0,02\text{--}0,04\%$, который пригоден для хранения в силосах. Установка проста, легко

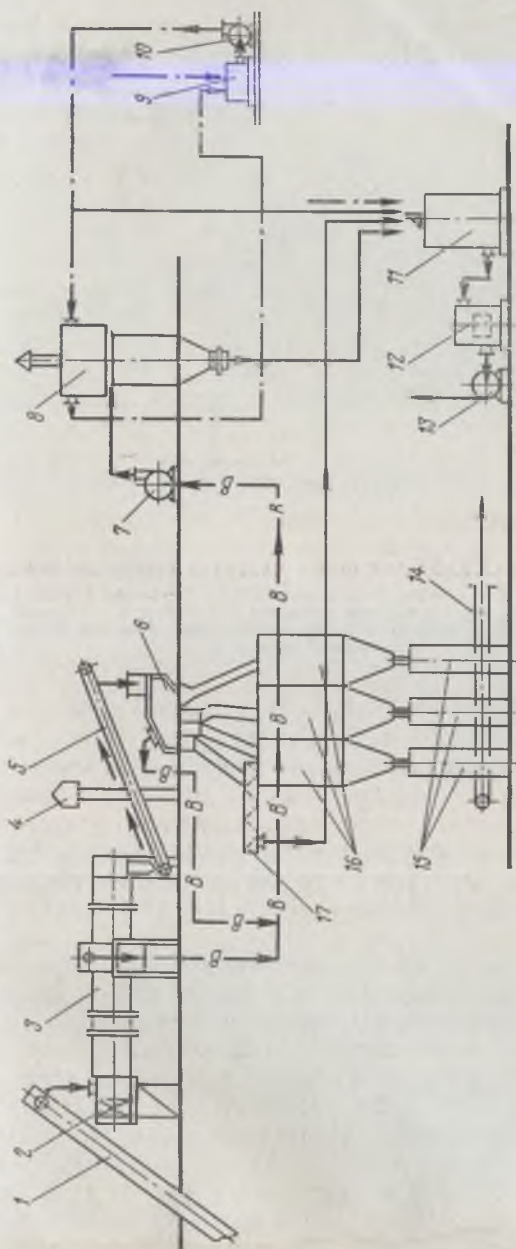


Рис. 38. Технологическая схема сушки и упаковки сахара:

1 — элеватор; 2 — конвейер воздуха; 3 — сушильный аппарат; 4 — автоматические конвейерные весы; 5, 14 — ленточный транспортер; 6 — машина рассева сахара; 7 — циклон; 8 — бункер; 9 — насос; 10, 13 — мешалка; 11 — конвейер; 12 — песколоушка; 15 — защитная машина; 16 — бункер; 17 — шнек.

автоматизируется и безопасна в эксплуатации. В этой сушилке имеет место наименьшее истирание кристаллов.

Корпус аппарата разделен на две камеры: сушильную и охлаждающую. В нижней части обеих камер имеются расположенные одна над другой решетки. Нижние решетки 9, 11 служат для равно-

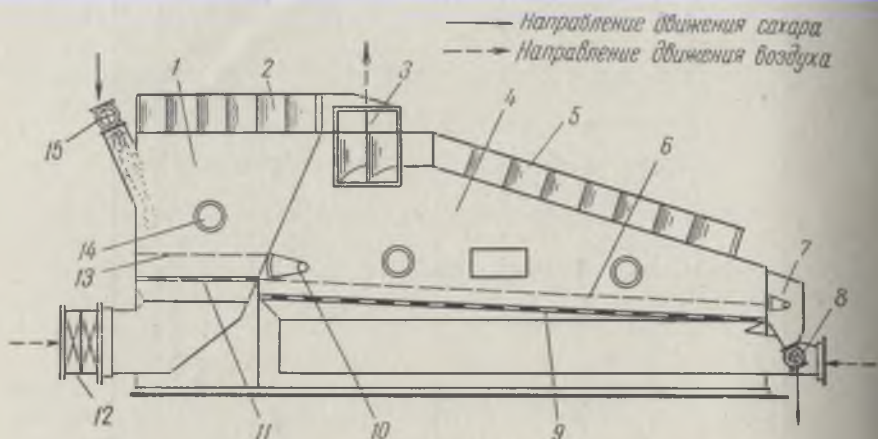


Рис. 39. Установка СПС-20 для сушки сахара в псевдооживленном слое:

1 — сушильная камера; 2, 5 — аспирационные коллекторы; 3 — вывод отработанного воздуха; 4 — охлаждающая камера; 6, 13 — верхние решетки; 7 — шибер; 8 — турникет; 9, 11 — нижние решетки; 10 — регулировочный шибер; 12 — калорифер; 14 — смотровые стекла; 15 — шлюзовой затвор.

мерного распределения воздуха, подаваемого в слой сахара вентилятором. Верхние решетки 6, 13 поддерживают слой движущегося сахара. Решетки смонтированы под углом 2—3° с уклоном в сторону движения сахара. Пространства под решетками разделены на две части и служат воздухопроводами для подачи горячего воздуха в сушильную камеру и холодного — в охлаждающую. При помощи секторного шиберы регулируется толщина слоя в сушильной камере аппарата, а с помощью шиберы 7 — толщина слоя сахара в охлаждающей камере.

Воздух отводится через два аспирационных коллектора 2, 5, и далее через патрубок отвода 3 отработавший воздух проходит через установку двухступенчатого пылеулавливания.

Сахар в установку подается через шлюзовой затвор, перемещается по решетке 13 сушильной камеры с помощью горячего воздуха, вдуваемого вентилятором высокого давления под решетку. В этой камере поддерживается перемешивание взвешенных кристаллов воздухом, за счет чего сахар интенсивно сушится. В охлаждающей камере сахар движется вдоль решетки во взвешенном (псевдооживленном) состоянии. Отводится высушенный и охлажденный сахар через турникет 8.

От высушенного и охлажденного сахара перед упаковкой отделяют комки сахара (для отделения комков применяют машину ТКС-

1,2, представляющую собой виброконвейер с ситом, на котором задерживаются комки сахара) и металлические примеси (окалину). Затем сахар сортируют на несколько фракций по величине кристаллов. Для разделения сахара-песка на три фракции (крупную, среднюю и мелкую) применяют машину МРС-69, состоящую из вибросит, помещенных в кожух. Сита имеют квадратные ячейки с размерами: верхнее 2,5 мм, среднее 1,2 и нижнее 0,45 мм. Колебательные движения сита получают от вибратора. Фракции сахара попадают в четыре отсека с отверстиями в днище, через которые сахар распределяется по соответствующим бункерам. Бункер для сахара представляет собой железобетонный закрыв с деревянной внутренней обшивкой с наклоном нижних стенок 50—60°.

Сахар-песок упаковывается в джутовые мешки стандартного размера, рассчитанные на массу нетто 50, 60, 80 и 100 кг, или в многослойные крафт-мешки на 25 и 40 кг. Наполнение и взвешивание мешков осуществляется с помощью бункерных весов или на специальной фасовочной машине. После взвешивания мешков с сахаром их зашивают на специальной машинке 33 Е-М (см. рис. 38).

Хранят сахар-песок в мешках и насыпью. Упакованный в мешки сахар должен храниться в сухих вентилируемых помещениях с относительной влажностью окружающего воздуха не выше 70%. При повышении относительной влажности склады не вентилируют, так как пленка, оставшаяся на кристаллах сахара-песка, очень гигроскопична.

Мешки с сахаром укладывают на деревянные решетки в штабеля высотой до 24 рядов.

При бестарном способе хранения сахар-песок, высушенный до влажности не выше 0,03%, хранят в железобетонных или металлических вертикальных цилиндрических емкостях (силосах) вместимостью 10 000 т и более. Наружную поверхность силосов теплоизолируют, внутреннюю покрывают пищевыми эпоксидными смолами. Силосы оборудованы автоматизированной установкой для кондиционирования воздуха. Загрузка, выгрузка и рециркуляция сахара в силосе при хранении полностью механизированы.

Бестарный способ хранения очень перспективен, так как позволяет экономить большое количество мешкотары, сокращает затраты труда на упаковку сахара в мешки, снижает количество погрузочно-разгрузочных операций. Сахар-песок при этом не загрязняется волокнами и другими примесями.

Требования к качеству сахара-песка

Сахар-песок по качеству должен удовлетворять требованиям ГОСТ 21—78; влажность — не более 0,14%; доброкачественность — не менее 99,75%; содержание редуцирующих веществ — не более 0,05%; содержание карбонатной золы — не более 0,03%; цветность сахара на 100 частей сухих веществ — не более 0,8° Шт.

Сахар-песок имеет три категории качества: высшую, первую и вторую. Продукция высшей категории качества обозначается госу-

дарственным Знаком качества в соответствии с ГОСТ 1.9—67. Эта продукция соответствует лучшим отечественным и зарубежным образцам. Продукция первой категории соответствует требованиям действующих стандартов и удовлетворяет потребности народного хозяйства и населения страны. Продукция второй категории не отвечает действующему стандарту и подлежит улучшению по качественным показателям или снятию с производства.

Глава X. ПЕРЕРАБОТКА ОТТЕКОВ

Характеристика оттеков

Получаемые при фуговке утфеля I продукта оттеки (зеленая и белая патоки) представляют собой водные растворы сахара и несавхаров.

При работе по двухпродуктовой схеме белую патоку доброкачественностью 85—86% возвращают на уваривание утфеля I продукта, а зеленую патоку доброкачественностью 76—78% направляют на варку утфеля II продукта. При фуговке утфеля II продукта получают оттек доброкачественностью 58—60%, который называют мелассой.

При работе по трехпродуктовой схеме (доброкачественность сиропа 92% и выше) белую и зеленую патоки утфеля II продукта направляют последовательно на варку утфеля II продукта. Оттеки, получаемые при фуговке утфеля II продукта, направляют на уваривание утфеля III (последнего) продукта. При этом утфель II кристаллизации уваривают до 93% сухих веществ. При спуске из вакуум-аппарата в мешалку утфель обрызгивают горячей водой для снижения коэффициента пересыщения межкристальной патоки до 1,03. Сгущенный утфель сразу же фугуют. При фуговке утфеля II продукта желтый сахар промывают 1% (к массе утфеля) горячей воды (70°C). Получаемые оттеки делят так, чтобы доброкачественность второй белой патоки была на 7—8 ед. выше, чем второй зеленой патоки. По трехпродуктовой схеме вторые (белую и зеленую) патоки направляют последовательно на варку утфеля III продукта.

Т а б л и ц а 9

Утфель	Доброкачественность увариваемых продуктов, %	z ₁ , мин	z ₂ , мин
II продукта	75—76	600	45
(двухпродуктовая схема)	77—78	420	
II продукта	83—84	330	
(трехпродуктовая схема)	85—87	300	25
III продукта	75—76	600	
	77—78	400	
	74 и ниже	800	45

Аффинационный оттек направляют также на последнюю подкачку на варку утфеля III продукта.

В табл. 9 приведены продолжительности полного цикла варки утфеля II и III продуктов (z_1) и продолжительности вспомогательных операций (z_2) в зависимости от доброкачественности продукта.

Варка утфеля последнего продукта

Последним продуктом при трехпродуктовой схеме называют утфель III продукта, а при двухпродуктовой — утфель II продукта. Основная задача варки утфеля последнего продукта заключается в максимальном извлечении сахара кристаллизацией из увариваемых паток.

Весь сахар, содержащийся в патоках, извлечь не удастся, так как вода и несахара, концентрирующиеся в межкристальной патоке, удерживают часть сахара в растворе. Поэтому основной целью процесса является извлечение всего способного выкристаллизоваться сахара. Особенность варки утфеля последнего продукта обусловлена повышенным по сравнению с сиропом содержанием в нем несахаров. Присутствие несахаров увеличивает вязкость массы и замедляет процесс кристаллизации сахара. Поэтому варка утфеля II продукта длится дольше, чем утфеля I продукта.

Зеленый оттек перед сгущением в вакуум-аппарате разбавляют водой до 65—70% СВ для растворения кристаллической «муки» или нагревают в сборнике до 95°C открытым паром. Сгущение оттека ведут при температуре 93—94°C и остаточном давлении 0,039—0,044 МПа или же при максимальном разрежении и соответствующей низкой температуре.

Кристаллизация утфеля последнего продукта

Кристаллизацию сахарозы проводят в вакуум-аппаратах и кристаллизационной установке. Цикл уваривания и кристаллизации утфеля последнего продукта в вакуум-аппарате состоит из набора оттека и сгущения до пробы, заводки и наращивания кристаллов, окончательного сгущения утфеля.

ЗАВОДКА КРИСТАЛЛА

Для заводки кристалла в аппарат вводят 100—150 г сахарной пудры при $\alpha = 1,4$ (88% СВ). Наращивание кристаллов сахара проводят при частых небольших подкачках через 2—3 мин и делают всего около 30 подкачек. С успехом варят утфель II продукта и на непрерывной подкачке, и на немногочисленных крупных подкачках.

Окончательным сгущением утфеля II продукта доводят содержание в нем СВ до 93—95%, чтобы возможно полнее выкристаллизовать сахар уже в вакуум-аппарате и свести до минимума потери сахара с мелассой.

Если желтый сахар пробеливается, то полученную бурую патоку доброкачественностью 65—66% направляют в вакуум-аппараты II продукта на последние подкачки. Подкачки мелассы обычно применяются для снижения доброкачественности утфеля II продукта, если зеленый оттек имеет доброкачественность, например, выше 79%.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ УТФЕЛЯ В МЕШАЛКАХ

Утфель последнего продукта дополнительно кристаллизуют в мешалках-кристаллизаторах с искусственным охлаждением. Для кристаллизации сахара утфель последнего продукта перемешивают в мешалке-кристаллизаторе с постепенным снижением его температуры от 80 до 30°C в течение 24 ч. Сахар выкристаллизовывается за счет снижения растворимости от величины 3,703 кг при 80°C до 2,175 кг при 30°C. Охлаждением утфеля уменьшают растворимость сахара в воде и за счет этого повышают коэффициент пересыщения межкристальной патоки (при этом одновременно понижается доброкачественность межкристальной патоки).

Сахар, не выкристаллизовавшийся из утфеля последнего продукта, остается в мелассе. Содержание сахара в мелассе составляет 2—3% по массе свеклы. Снижение доброкачественности мелассы на 1,0% повышает выход сахара на 0,07—0,10% по массе свеклы.

Процесс дополнительной кристаллизации ведут так, чтобы поддерживалось пересыщение межкристальной патоки $\alpha = 1,1$, при котором избыточный сахар поступал бы исключительно на наращивание имеющихся кристаллов. При большом пересыщении межкристальной патоки могут образоваться новые мелкие кристаллы, которые затруднят фуговку утфеля.

Для создания оптимальных условий кристаллизации и фуговки снижают вязкость межкристальной патоки раскачкой утфеля. Для этого его обрызгивают горячей аммиачной водой. Количества воды могут быть следующими: при Дб=77—78 и СВ=94%—1,5% по массе утфеля; при СВ=93,5—1,25, а при СВ=93%—1%. При повышенной доброкачественности утфеля (79—80%) расход воды составляет: при СВ=95%—1,25%, при СВ=94,4—1 и при СВ=94%—0,75% по массе утфеля.

На некоторых заводах утфель уваривают до 95—95,5% СВ, а перед спуском раскачивают непосредственно в аппарате горячей водой в течение 9—10 мин до содержания СВ 92—93%. При последующей дополнительной кристаллизации в мешалках утфель уже не раскачивают водой. Преимущества такого способа раскочки утфеля перед раскачкой в мешалках заключаются в том, что вода за счет самоиспарения равномерно и быстро распределяется по всей массе утфеля и растворяет всю «муку», исключается необходимость раскочки утфеля при спуске и охлаждении его в мешалках-кристаллизаторах.

П. М. Силин рекомендует вводить в аппарат полное количество воды только в том случае, когда ее расход не превышает 1,5% по массе утфеля. При более высоком расходе воды часть ее вводят в мешалки в процессе охлаждения утфеля.

П. В. Головин предложил уваривать утфель последней кристаллизацией до 92% СВ и вести его дополнительную кристаллизацию в мешалках при глубоком охлаждении без раскочки.

Продолжительность пребывания утфеля последнего продукта в мешалках-кристаллизаторах при двухпродуктовой схеме — 38 ч, при трехпродуктовой — 44 ч. Продолжительность охлаждения утфеля при этом соответственно равна 24 и 28 ч, а продолжительность нагревания перед фуговкой — до 3 ч.

РЕЖИМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ УТФЕЛЯ ПОСЛЕДНЕГО ПРОДУКТА

От проведения процесса кристаллизации утфеля последнего продукта в значительной степени зависит величина потерь сахара с мелассой. Поэтому расчету режима кристаллизации уделяется большое внимание.

Исходными данными для расчета являются: конечная достижимая на данном заводе в сложившихся условиях температура охлаждения утфеля t (в °C); допустимое содержание в утфеле кристаллов K (в %), известное из практической работы мешалок; нормальная¹ доброкачественность мелассы $Дб_{н}$, определяемая в лаборатории или принимаемая ориентировочно на 2—3 ед. меньше полученной первоначальной заводской $Дб$ мелассы; доброкачественность зеленого оттека $Дз.о.$, из которого варят утфель последнего продукта, известная по анализам лаборатории.

Температура утфеля перед фуговкой зависит от содержания в нем сухих веществ и доброкачественности, по данным П. М. Силина, следующим образом:

Температура, °C	30	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Содержание СВ, %	81,5	82,3	82,7	83,1	83,5	83,9	84,3	84,7	85,1	85,5

Доброкачественность заводской мелассы $Дб$ определяется, по П. М. Силину, следующим образом: $Дб = 100 (100 - r) Ha' : r$ (где r — содержание в мелассе СВ, определяемое после фуговки). Следовательно, доброкачественность мелассы уменьшается с увеличением r и уменьшением Ha' .

При повышенной доброкачественности утфель всегда содержит повышенное количество кристаллов. При этом его вязкость (при содержании кристаллов не более 55%) пропорциональна вязкости межкристалльной мелассы и быстро увеличивается с увеличением содержания кристаллов. Допустимая максимальная доброкачественность утфеля, при которой вязкость его при увеличивающемся количестве кристаллов еще не препятствует работе мешалок, зависит от допустимого для данной конструкции мешалки содержания кристаллов K и нормальной доброкачественности мелассы $Дб_{н}$ (табл. 10, 11).

На основе приведенных зависимостей, полученных в результате анализа работы сахарных заводов, принят следующий режим кристаллизации утфеля последнего продукта: конечная температура

¹ Нормальной называется меласса, содержащая 83,5% СВ по рефрактометру при разбавлении 1:1. Она является в то же время насыщенным при 40°C сахарным раствором.

Таблица 10

Температура, °С	Содержание СВ в утфеле в конце кристаллизации (в %) при допустимом содержании кристаллов К, %			
	40	42	44	46
30	89,7	90,1	90,4	90,8
35	90,3	90,6	91,0	91,3
40	90,9	91,2	91,5	91,8
45	91,5	91,7	92,0	92,3
50	92,0	92,2	92,5	92,8
55	92,5	92,7	93,0	93,3
60	93,1	93,3	93,6	93,8

Таблица 11

Нормальная доброкачественность мелассы Дб, %	Доброкачественность утфеля последнего продукта (в %) при допустимом содержании кристаллов К, %			
	40	42	44	46
54	74,2	75,2	76,1	77,1
56	75,4	76,3	77,2	78,1
58	76,5	77,3	78,2	79,1
60	77,6	78,4	79,3	80,1
62	78,7	79,5	80,3	81,0
64	79,7	80,6	81,4	82,0
66	80,8	81,6	82,4	83,0

охлаждения утфеля —40°С, содержание в утфеле кристаллов — 55%. Нормальная доброкачественность мелассы при охлаждении утфеля до различных температур (30, 40, 50°С) оказывается различной и определяется качественным составом несахаров.

Фуговка утфеля последнего продукта

Утфель II продукта при трехпродуктовой схеме фугуют нагорячо, а желтый сахар иногда пробеливают водой, что повышает его качество ($Дб = 97 \div 98\%$).

Желтый сахар клеруют, а два оттека (вторую зеленую и вторую белую патоки) направляют на варку утфеля III (последнего) продукта.

При фуговке последнего продукта получают желтый сахар и мелассу.

Для улучшения качества желтого сахара последнего утфеля его промывают водой в количестве 1,00—1,25% к массе утфеля. При этом получают второй оттек — бурую патоку, которую возвращают на варку последнего утфеля (на последние подкачки).

Для фуговки утфеля последнего продукта и утфелей других продуктов применяют типовую центрифугу ФПН-1251Л, в которой процесс длится 9—11 мин.

Меласса после центрифуг поступает в емкость, из которой ее выкачивают в сборник, установленный на весах. После автоматического взвешивания меласса шестеренчатым насосом перекачивается в резервуары для хранения.

При работе по двухпродуктовой схеме в последнее время применяется предварительная частичная фуговка последнего утфеля с возвратом получаемого оттека в ту же или предыдущую мешалку-кристаллизатор. Этим способом снижают содержание кристаллов

в утфеле, а следовательно, и его вязкость, что позволяет осуществлять дальнейшее более глубокое охлаждение утфеля и более полно выкристаллизовывать сахар.

Сущность способа заключается в том, что предварительную фуговку ведут частью центрифуг из мешалки, где уже возникают затруднения с перемешиванием. Фуговку ведут до момента, когда содержание кристаллов в утфеле снизится до нормы. После прекращения предварительной фуговки все центрифуги фугуют утфель из последней мешалки.

В последнее время в Краснодарском научно-исследовательском институте пищевой промышленности (КНИИПП) И. Н. Акиндиновым и Н. А. Люсым способ предварительной частичной фуговки утфеля последнего продукта применен для снижения содержания кристаллов в утфеле непосредственно в процессе уваривания утфеля в вакуум-аппарате. По этому способу часть утфеля спускают по барометрической трубе в мешалку и сразу же фугуют. Полученный оттек возвращается после подогревания открытым паром в этот же вакуум-аппарат. Способ апробирован в производственных условиях на заводах Кубани (Павловском, Адыгейском) и дал положительный результат как на свекловичном, так и на сырцовом последних утфелях.

Аффинация желтого сахара

Типовой продуктовой схемой предусмотрена аффинация желтого сахара последнего продукта зеленой патокой утфеля I продукта.

Желтый сахар последнего утфеля после центрифуг шнеком направляют в аффинационную мешалку и смешивают с зеленой патокой. Температура аффинационной массы должна быть в пределах 65—70°C. Длительность аффинации 20 мин. Количество зеленой патоки для аффинации — 3,5—4,0% по массе свеклы. Содержание СВ в аффинационном утфеле должно быть в пределах 88—90%. Аффинационный утфель из мешалки утфельным насосом (винтовым) подают через утфелераспределитель в центрифуги и фугуют в горячем состоянии.

Аффинированный сахар рекомендуется промывать в центрифугах водой температурой 60—65°C в количестве 1% по массе утфеля. Общий оттек направляют на варку последнего утфеля (на последние подкачки).

Аффинация желтого сахара II продукта повышает его чистоту на 1,5 ед., а при аффинации бурого сахара III продукта (при трехпродуктовой схеме) — почти на 3 ед. Цветность желтого сахара при этом снижается в 2,5—3,0 раза.

На некоторых заводах Кубани применяют самостоятельную дефекосатурационную очистку клеровки желтого сахара, которую затем сульфитируют совместно с сиропом. Известково-углекислотная очистка клеровки повышает ее чистоту примерно на 1 ед. и снижает цветность примерно на 50%.

Общие сведения об отходах свеклосахарного производства

Отходами свеклосахарного производства являются свекловичные хвостики и обломки свеклы, жом, фильтрационный осадок, меласса.

Бой свеклы и свекловичные хвостики, содержащиеся в сточных водах гидротранспортера и мойки в количестве 2—3% к массе свеклы, улавливаются, отмываются от примесей (см. рис. 4), взвешиваются и либо измельчаются на корм скоту, либо смешиваются со свеклой, подаваемой на свеклорезки.

Количество фильтрационного осадка обычно составляет 10—12% к массе свеклы, считая влажность его равной 50%. Химический состав фильтрационного осадка (в % на сухое вещество) следующий:

Карбонат кальция	74,2
Безазотистые органические вещества	9,5
Азотистые органические вещества	5,9
Сахар	2,0
Пектиновые вещества	1,7
Прочие вещества	6,7

Как видно, преобладающей частью фильтрационного осадка является CaCO_3 . Фильтрационный осадок является ценным удобрением для кислых почв, кислоты которых нейтрализуются CaCO_3 . Кроме того, содержание фосфора и азота в фильтрационном осадке больше, чем в навозе.

Свекловичный жом является мякотью свеклы, в которой остались часть скоагулированных белков свеклы и немного сахара. Жом является дешевым и хорошим кормом для скота.

Примерный химический состав сухого вещества жома (соответственно в % к массе свеклы и в % к массе сухого вещества) следующий:

Пектиновые вещества	2,4	42,8
Целлюлоза	1,2	21,4
Гемилцеллюлозы	1,1	19,7
Белки	0,5	8,9
Зола	0,2	3,6
Сахар	0,2	3,6

Меласса представляет собой насыщенный раствор сахарозы с примесью несахаров, из которого выделять сахар кристаллизацией неэффективно. Химический состав мелассы (в % на 100 частей сухих веществ) в среднем следующий:

Сахароза	58,0
Азотистые вещества	15,0
Безазотистые органические вещества	18,0
Зола чистая	9,0

Количество получаемой мелассы составляет 4—6% к массе свеклы, и, таким образом, на заводе мощностью 3000 т свеклы в сутки получается около 150 т мелассы. Потери сахара с мелассой составляют до 70% всех потерь сахара в производстве.

Меласса, содержащая сахар, который не извлекается больше на сахарном заводе, с успехом утилизируется на ряде производств, давая ценные продукты. Имеется несколько основных путей использования мелассы: в сельском хозяйстве, бродильном и других производствах

Содержащиеся в составе мелассы сахар и ряд несахаров хорошо усваиваются животными. На кормовые цели расходуется 9—10% общего количества мелассы.

Меласса является ценным сырьем для получения ряда продуктов бродильных производств: на производство спирта расходуется до 70%, на производство органических пищевых кислот (молочной и лимонной) и органических растворителей (ацетон, бутанол и др.) — до 10% от общего количества мелассы, получаемой в сахарной промышленности.

Имеется ряд способов извлечения из мелассы сахарозы, основанных на образовании нерастворимых сахаратов кальция, стронция и бария. Кроме этого, возможна переработка мелассы с помощью ионитов. При этом извлекаются сахар, глутаминовая кислота и бетаин.

Переработка жома

Наиболее эффективным способом сохранения питательной ценности жома является его сушка. Важность жомосушения для народного хозяйства определяется тем, что сохраняется кормовая ценность жома, создаются запасы кормов на зимне-весенний период, улучшается транспортабельность жома и становится возможным выработка высокопитательных концентратов: паточного и амидного жома, жомо-дрожжевого корма.

Технологическая схема жомосушильного отделения завода представлена на рис. 40.

На ряде заводов высушенный жом брикетируют на специальных прессах. При этом в 2,0—2,5 раза повышается его объемная масса, что соответственно уменьшает потребность в складских помещениях и облегчает транспортировку.

Содержание воды в нормально высушенном жоме должно составлять 10—12%. При содержании воды в жоме свыше 14% в нем во время хранения могут развиваться микроорганизмы, снижающие качество жома и приводящие к его порче. Если влажность жома будет меньше 10%, то при хранении он будет поглощать влагу, пока влажность не достигнет 10—12%.

Удаление влаги из жома осуществляется в две ступени. Вначале влагу удаляют, отжимая жом на жомоотжимных прессах, — получают жом с содержанием сухих веществ 15—16%. В настоящее время разработаны конструкции прессов, позволяющие получать жом

с содержанием сухих веществ до 20—25% (например, жомоотжимной пресс ПВЖ-60М).

Рассчитаем ориентировочно количество воды, которое можно удалить из жома прессованием. Если из 100 кг свеклы получается 80—90% сырого жома с содержанием сухих веществ 5%, то при сушке жома до влажности 10% получится $(5 \cdot 100)/(100 - 10) = 5,6$ кг сухого жома, т. е. из 85 кг сырого жома нужно удалить $85 - 5,6 = 79,4$ кг воды. При прессовании до содержания СВ 15% образуется $(5 \cdot 100)/15 = 33,3$ кг жома, т. е. удаляется $85 - 33,3 = 51,7$ кг воды.

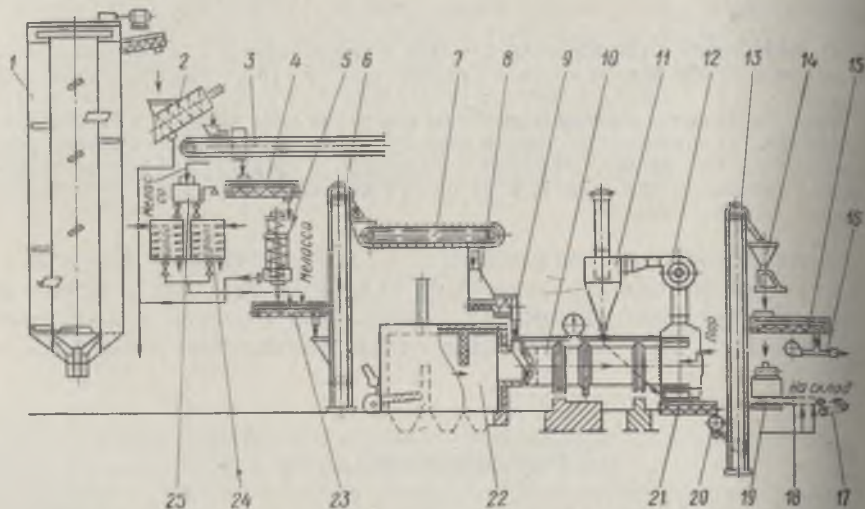


Рис. 40. Схема жомосушильного отделения завода:

1 — диффузионный аппарат; 2 — пресс предварительного отжатия жома; 3, 17 — ленточный транспортер; 4 — распределительный шнек; 5 — вертикальный пресс; 6, 13 — элеватор; 7 — скребковый транспортер; 8 — контрольный бункер; 9 — ступенчатый шнек; 10 — сушильный барабан; 11 — циклон; 12 — вентилятор; 14 — весы для жома; 15, 21 — шнек; 16 — эжектор; 18 — транспортер; 19 — пресс сухого жома; 20 — электромагнитный сепаратор; 22 — топка; 23 — шнек-смеситель; 24 — подогреватель мелассы; 25 — весы для мелассы.

На жомопрессовых установках жом обезвоживают недостаточно. Чтобы удалить из него остальную влагу ($79,4 - 51,7 = 27,7$ кг), его нужно высушить.

Для высушивания жома повсеместно применяются барабанные жомосушилки. Жом поступает в барабан с того же конца, куда подаются горячие дымовые газы. Высушивание жома осуществляется при параллельном движении жома и газов. Противоток здесь неприменим, так как воздействие горячих дымовых газов на подсушенный жом привело бы к его возгоранию. При воздействии горячих дымовых газов (температура 700—800°C) на сырой жом происходит испарение влаги, причем на это расходуется основное количество тепла дымовых газов и их температура снижается. На выходе из барабана температура отходящих газов составляет 100—120°C. На получение 1 кг сухого жома требуется примерно 0,6 кг условного топлива. Время сушки жома 30—40 мин. Жомосу-

шильный барабан длиной 12 м и диаметром 2,4 м при частоте вращения 2 об/мин обеспечивает выработку 30 т сухого жома в сутки, что соответствует переработке 500 т свежлы.

Полученный таким способом жом имеет не слишком большую питательную ценность. Чтобы ее повысить, используют различные

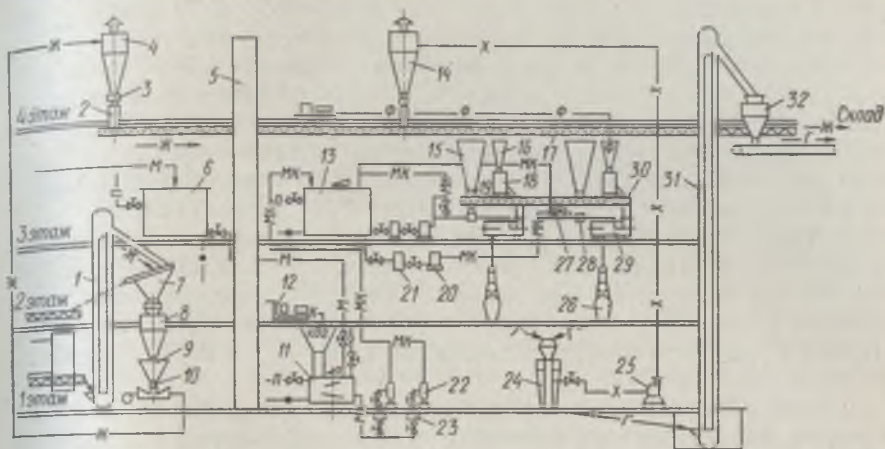


Рис. 41. Технологическая схема производства гранул амидоминаральной добавки:

1 — шлюзовый затвор; 2 — бункер; 3 — весы для сухеного жома ДХМ-150; 4 — вибростол С-435-А; 5 — элеватор НГЦ-20; 6 — сборник для мелассы; 7 — колонка магнитная БМК-1,5; 8 — шлюзовый питатель ПШ-400П; 9 — циклон-разгрузитель; 10 — подъемник; 11 — весы платформенные ВПГ-500; 12 — емкость; 13 — смеситель мелассы и карбамида; 14 — фильтр-ловушка; 15 — ротационно-зубчатый насос РЗ-7 (или НШП-20-59); 16 — фильтр тонкой очистки; 17 — ротационно-зубчатый насос РЗ-3,5 (или НШ-46); 18 — регулировочный кран; 19 — циклон 46ЦШ-550; 20 — бункер; 21 — дозатор питающий ДП-1 с приводом ДП-1; 22 — дозатор тарельчатый ДТ; 23 — бункер над дозатором; 24, 30 — шнек; 25 — расходомер мелассы ИР-11; 26 — смеситель-дозатор мелассы СДМ-3; 27 — пресс-гранулятор ЕВ-ПГА; 28 — охладитель к прессу ЕВ-ПГА; 29 — вентилятор ЦП-7-40 № 8; 31 — элеватор НГЦ-10; 32 — весы для гранул ДХМ-150; — ж — жом сушеный; — х — смесь воздуха и жомовой пыли; — М — меласса; — мк — раствор мелассы и карбамида; — к — карбамид (мочевина); — ф — обесфторенный фосфат; — п — пар; — о — вода; — г — гранулы амидоминаральной добавки.

добавки. Паточный жом получают путем смешивания отжатого жома с мелассой и последующего высушивания приготовленной смеси. Количество мелассы, добавляемой к отжатому жому, составляет 30% к массе сухого жома. При этом паточный жом имеет содержание сахара не менее 12%.

Жомо-дрожжевой концентрат получают путем добавки плазмолизированного дрожжевого молока к отжатому жому и последующего высушивания этой смеси. Количество кормовых дрожжей, добавляемых к отжатому жому, составляет 10—20% к массе сухого жома. За счет этой добавки значительно возрастет содержание усвояемого белка (78 г в 1 кг корма, т. е. в 2 раза больше, чем в обычном сухом жоме). Влажность паточного жома и жомо-дрожжевого концентрата не должна превышать 14%.

На некоторых предприятиях (Савинский сахарный завод) освоено получение гранулированного сухеного жома с амидоминаральной

ной добавкой (рис. 41). По этой схеме сушеный жом подается элеватором 5 через вибросито на автоматические весы и далее в бункер 2. Жом шлюзовым затвором подается в пневмодиффузор и направляется по пневмопроводу в циклон-разгрузитель, из которого он, пройдя магнитную колонку для улавливания ферропримесей, попадает на шнек 24 и далее в бункер 20. Из бункера жом через дозатор 21 поступает на шнек, где к нему дозатором 22 добавляется обесфторенный фосфат. Полученная смесь поступает в смеситель 26, куда добавляется раствор мелассы температурой 70°C, содержащий карбамид и микроэлементы. Водный раствор мелассы, карбамида и микроэлементов приготавливают при 80—90°C в смесителе 13. Готовый раствор насосом 15 направляется в сборник 12 через ловушку 14. Из сборника раствор подается на фильтр тонкой очистки и далее насосом 17 через расходомер 25 — в смеситель 26.

Готовую смесь сушеного жома и раствора направляют на пресс-гранулятор. Гранулы жома накапливаются и охлаждаются воздухом от вентилятора 29 в колонке 28. Охлажденные гранулы поступают на элеватор 31 и далее через автоматические весы 32 в склад готовой продукции. Воздух из охлаждающей колонки 28 очищается от пыли в циклоне 19.

Процесс гранулирования зависит от влажности сушеного жома, которая колеблется от 10 до 30%. Поэтому в схеме установлено вибросито 4, которое пропускает жом с влажностью не более 16—18%. Насыпная плотность гранул составляет 600—705 кг/м³. Охлаждение гранул и удаление мелкого жома с охлаждающим воздухом необходимы для исключения самовозгорания последнего, особенно в напольных складах при высоте слоя гранул выше 3 м.

Гранула имеет следующий состав (в %): сушеный жом — 77, меласса — 9,5, карбамид — 6, сульфат натрия — 1,5, обесфторенный фосфат или монокальцийфосфат — 6. Кроме того, в состав гранулы входят микроэлементы (в г на 1 т амидоминарального жома): хлорид кобальта — 15, сульфат цинка — 85, сульфат меди — 60.

Получение сахара из мелассы

В сахарной промышленности применяют два основных способа обессахаривания мелассы. По первому способу сахарозу переводят в нерастворимое в воде соединение (например, сахарат), отделяют его от маточного раствора фильтрацией, затем разрушают это соединение с получением раствора сахарозы. По второму способу с помощью соответствующих химических и физических методов из мелассы удаляют несахара, получая относительно чистый раствор сахарозы.

Фирма «Süddeutsche Zuckerfabrik A. G.» (ФРГ) создала и испытала установку для очистки сахарозы от несахаров мелассы (в основном тростниковой) способом жидкостной хроматографии. В качестве стационарной фазы в этой установке использован сетчатый сильноокислый катионообменник в Ca⁺-форме, а в качестве несущей фазы — декарбонизированная и подщелоченная известью вода.

Установка состоит из трех колонн диаметром 1 м, высотой 18 м, объемом 13,4 м³, заполненных катионитом с размером гранул от 0,2 до 0,6 мм. Перед пуском колонны заполняются декарбонизированной водой температурой 90°C. После этого в каждую колонну направляется раствор мелассы с содержанием СВ 50% при температуре 90°C в количестве 0,06 объема колонны. Затем через колонну прокачивается промывочная вода со скоростью 3,4 см/мин. Отбирают 3 фракции промывных вод: первая содержит сахарозу, вторая — несахара, третья — инвертный сахар. Продолжительность одного цикла работы колонны составляет 2 ч 15 мин.

Регенерацию колонн проводят после 9 циклов работы. В процессе жидкостной хроматографии Са⁺-ионы смолы заменяются ионами калия и натрия, содержащимися в мелассе. Восстановление смолы осуществляется пропусканием через колонну 6%-ного раствора фосфата или хлорида кальция. Отобранные из колонны фракции обрабатывают по-разному. Фракцию, содержащую сахарозу, кристаллизуют; фракцию, содержащую несахара, используют на корм в сельском хозяйстве, а фракцию, содержащую инвертный сахар, используют для получения кормовых дрожжей или лимонной кислоты.

Существуют и другие способы извлечения сахара из мелассы.

Глава XII. ПЕРЕРАБОТКА ТРОСТНИКОВОГО САХАРА-СЫРЦА

Общие сведения

Сахарные заводы СССР перерабатывают большие количества импортного тростникового сахара-сырца на белый сахар. Сахар-сырец — непробеленный сахар из тростника, состоящий из отдельных кристаллов, покрытых пленкой межкристалльного отека, в которой сконцентрировано основное количество несахаров с небольшим их включением в кристалл.

Сахар-сырец получают смешиванием сахара I и II кристаллизации. Поэтому доброкачественность суммарной пленки всех кристаллов обычно соответствует доброкачественности тростниковой мелассы и составляет около 60%. Доброкачественность сахара-сырца — 98,1%.

Примерный состав сахара-сырца (в % к массе) следующий:

Сухие вещества	99,2	В том числе:	
В том числе сахароза	97,3	редуцирующие вещества	0,8
Вода	0,8	прочие органические несахара	0,6
Несахара	1,9	зола	0,5

Сахар-сырец транспортируют насыпью или в джутовых мешках. Для этой цели используют вагоны или полувагоны открытого типа. Вагоны с сахаром-сырцом после взвешивания разгружают в приемный бункер через люки или вагонный проем. Из приемного бункера сырец системой ленточных транспортеров направляют в склад для хранения его насыпью.

Мешки после опорожнения выворачивают, надевают на металлические каркасы и очищают вениками от остатков сырца.

В клеровочном отделении автосамосвалы взвешивают на 10-тонных автомобильных весах и выгружают сырец в приемный бункер, из которого он ленточным транспортером направляется в клеровочную мешалку.

Сахар-сырец содержит 0,8—1,5% редуцирующих веществ (в том числе инвертного сахара), количество которых при неудовлетворительном хранении может повыситься до 4,0—4,5% к массе сырца. Редуцирующие вещества тростниковосахарного производства (как и инвертный сахар) снижают растворимость сахарозы и соответственно доброкачественность мелассы. Меласса же рафинадного производства, также содержащая много редуцирующих веществ, имеет самую высокую для меласс доброкачественность — 65—70%.

Сахар-сырец более гигроскопичен, чем кристаллы сахарозы, вследствие повышенного содержания инвертного сахара в пленке на кристаллах. Поэтому сырец хранят при более низкой относительной влажности воздуха, чем это допускается для белого сахара. Режим хранения сахара-сырца определяется количественным отношением содержащейся в нем влаги к несахарам, которое называют коэффициентом безопасности. Этот коэффициент не должен превышать 0,33.

Сахар-сырец перерабатывают или на рафинад, или на стандартный сахар-песок соответственно на рафинадном или свеклосахарном заводах. Цветность рафинада должна быть не более 0,08° Шт. Такой рафинад можно получить из уфтеля с цветностью не выше 2° Шт. В случае же производства стандартного сахара-песка с цветностью до 0,8° Шт. цветность исходного уфтеля может быть равна 20—30° Шт. Вследствие этого технологические схемы для переработки сахара-сырца на рафинад отличаются от схем переработки его на стандартный сахар-песок.

Переработка сахара-сырца на рафинад

Кусковой рафинад и рафинадный песок экономически выгоднее вырабатывать непосредственно из тростникового сахара-сырца. За рубежом сахар-сырец перерабатывают в основном на рафинадный песок по различным технологическим схемам. В этих схемах применяют аффинацию сырца в различных вариантах; кроме известково-углекислотной физико-химической очистки клеровки обрабатывают фосфорной кислотой (0,02—0,05% P_2O_5 к массе сухих веществ клеровки). Образующийся осадок трикальцийфосфата $Ca_3(PO_4)_2$ адсорбирует 25—40% красящих веществ клеровки.

При фильтрации широко применяют кизельгур, а для адсорбции активный уголь, обесцвечивающие смолы.

В зависимости от эффективности физико-химической и адсорбционной очисток применяют различные схемы кристаллизации, например 2+2, т. е. с двумя рафинадными и двумя продуктовыми уфтелями, или 4+3, т. е. с четырьмя последовательными рафинадными и тремя продуктовыми уфтелями.

В СССР, например на Одесском рафинадном заводе, переработку сахара-сырца осуществляют по схеме 3+4 (рис. 42). Аналогичная схема рекомендуется также для выработки рафинада из стандартного песка.

При переработке сахара-сырца первый по порядку рафинадный утфель называют первым, а при переработке сахара-песка его называют нулевым.

По данной схеме цветность постепенно снижается: при аффинации — с 40 до 12° Шт., при дефекосатурации — с 12 до 6, при последующей сульфитации — до 4—5° Шт.

При получении сахара по этой схеме потери сахара в мелассе ориентировочно могут иметь величину порядка 2% к массе сырца при его доброкачественности 98%, количество рафинадных утфелей может составить 213% к массе рафинада, в том числе: первого рафинадного утфеля — 72%, второго — 98, третьего — 43%. Выход сахара-рафинада до 94%.

Оптимальным вариантом считают переработку на рафинадном заводе сахара-сырца на рафинад и стандартный песок, т. е. выпуск 50—55% к массе сырца рафинада и 40% стандартного сахара-песка. При этом также работают по схеме 3+4 (т. е. с семью кристаллизациями), а стандартный сахар-песок получают из утфеля IV продукта. Этот утфель уваривают из первого оттока III рафинадного утфеля и сахаров, выделяемых последовательными кристаллизациями из продуктовых утфелей, на которых уваривают аффинационные оттоки. Сахар-песок аффинируют первым оттоком утфеля сахара-песка. Аффинационную массу фугуют и пробеливают водой. Очистка сиропов такая же, как и при получении кускового рафинада и рафинированного сахара-песка. Очистке адсорбцией подвергают все последовательные рафинадные сиропы и сироп сахара-песка. В качестве адсорбента используют активные угли (типа АГС-3 и АГС-4М) в количестве 0,25% к массе сухих веществ полупродукта. Цветность очищенной клеровки от 2 до 6° Шт.

Переработка сахара-сырца на сахар-песок

Свеклосахарные заводы вырабатывают из сахара-сырца, как правило, стандартный сахар-песок. Вследствие этого сырец можно перерабатывать по более простым технологическим схемам. Все варианты этих схем обязательно предусматривают физико-химическую очистку дефекосатурацией или адсорбентами.

Первым процессом схемы является аффинация сырца, в результате которой доброкачественность его повышается до 99%.

Для получения мелассы с доброкачественностью около 50% аффинированный сырец перерабатывают по четырех- или пятипродуктовым схемам, если продуктивное отделение завода оборудовано для работы на три свеклосахарных продукта.

В последнее время свеклосахарные заводы (например, Кубань) перерабатывают сахар-сырец по упрощенной трехпродуктовой схе-

ме (1+2) без применения аффинации, но с дефекосатурационной очисткой и сульфитацией клеровки и аффинацией желтого сахара III продукта или без нее, используя для этой цели оборудование двухпродуктовой схемы свеклосахарного завода. С хорошими показателями перерабатывают в последнее время сахар-сырец заводы Северного Кавказа по схеме с тремя продуктами (кристаллизация-ми) без включения в работу выпарной станции.

Сахар-сырец клеруют до содержания СВ 55% фильтратом и промывом с вакуум-фильтров и барометрической водой, которые предварительно нагревают до 90—100°C. Клеровку нагревают в мешалке паром до 70—80°C и перекачивают насосом (СОТ-150) на очистку.

Известково-углекислотную очистку осуществляют с дефекацией (не более 5 мин) или без нее. В первом случае используют небольшой смеситель (или преддефекатор), а во втором случае в качестве смесителя используют насос сока первой сатурации — для этого клеровку и известковое молоко направляют в контрольный ящик аппарата первой сатурации. Клеровку обрабатывают CO_2 в аппарате второй сатурации. Щелочность клеровки после добавления извести 1,4—1,5% CaO . Клеровку сатируют до щелочности 0,02 % CaO (рН 8,5) в течение 15—20 мин в зависимости от количества перерабатываемого сырца.

Особенностью схемы является то, что первую зеленую патоку (до 60%) направляют не на последние подкачки в аппарат для уваривания утфеля I продукта, а на дефекосатурационную очистку совместно с клеровкой сырца и желтого сахара III продукта. Дефекосатурированную смесь температурой 75—80°C фильтруют на дисковых фильтрах с применением бельтинга или диагоналевой ткани. Фильтрацию ведут до тех пор, пока давление не достигнет 0,4 МПа, после чего фильтр выключают из работы, остаток нефильтованной клеровки перекачивают в работающие фильтры, а осадок смывают барометрической водой (75—80°C) в мешалку и далее в корыто вакуум-фильтров, где его высушивают до содержания сахара 0,6—0,7% к массе осадка.

Для снижения потерь сахара с осадком применяют двойное последовательное его высушивание на вакуум-фильтрах. Фильтрованную клеровку с содержанием СВ 55% сульфитируют до рН 7,2 с клеровкой желтого сахара II продукта и первой зеленой патокой. Смесь нагревают до 80°C, фильтруют на дисковых фильтрах и направляют в сборники перед вакуум-аппаратами. Утфель I продукта уваривают из дефекосатурированной клеровки неаффинированного сырца, желтого сахара II продукта ($D_b = 96 \div 97\%$) и сахара III продукта ($D_b = 90 \div 91\%$), 60% очищенной первой зеленой патоки ($D_b = 87 \div 88\%$) и белой патоки ($D_b = 93 \div 94\%$). На последние подкачки в аппараты вместимостью 40 т в зависимости от цветности утфеля I продукта направляют от 30 до 50 гл неочищенной первой зеленой патоки, и если цветность сахара превышает 0,8° Шт., то возврат первой зеленой патоки прекращают.

Утфель II продукта ($D_b = 86 \div 88\%$) уваривают из 35—40% первой зеленой патоки, а на последние подкачки направляют вторую бе-

лую патоку. Клеровку желтого сахара II ($D_6 = 96 \div 97\%$) с 55—60% СВ при 70—75°C сульфитируют.

Утфель III продукта ($D_6 = 74 \div 75\%$) уваривают из второй зеленой патоки до 93,5—94,0% СВ, а затем кристаллизуют в мешалках, постепенно охлаждая до 38—42°C. Желтый сахар III ($D_6 = 90 \div 91\%$) клеруют в смеси с первой зеленой патокой и направляют на дефекоосурационную очистку.

Продолжительность уваривания утфеля I, II и III продуктов соответственно 3, 6 и 14 ч. Продолжительность фуговки утфеля I, II и III продуктов соответственно 4, 6 и 20 мин. Продолжительность кристаллизации утфеля III продукта при охлаждении до 38°C—33 ч. Выход сахарозы из сахара-сырца при работе по такой схеме достигает 93,7% при ее потерях 1,10% и содержании сахара в мелассе 1,85% к массе перерабатываемого сырца.

Глава XIII. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Получение извести

Необходимые для очистки диффузионного сока известь и диоксид углерода получают непосредственно на сахарном заводе, обжигая известняковый камень в известняковообжигательной печи при высокой температуре.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА

Для получения извести и диоксида углерода используется реакция разложения (диссоциации) карбоната кальция. Эта реакция протекает при температуре свыше 850°C с большим поглощением тепла: $\text{CaCO}_3 + 177,93 \text{ Дж} \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$. Реакция является обратной, и в замкнутом пространстве одновременно с разложением CaCO_3 происходит обратное соединение CaO и CO_2 . Для полного разложения CaCO_3 необходимо удалять образующийся диоксид углерода, т. е. сдвинуть реакцию в сторону термической диссоциации в соответствии с законом действующих масс.

Скорость разложения карбоната кальция, под которой понимают количество разложившегося CaCO_3 на 1 см² поверхности в единицу времени, значительно зависит от температуры и, следовательно, давления выделяющегося CO_2 (так, при температуре 882°C давление диоксида углерода при разложении CaCO_3 составляет 0,098 МПа, а при 1000°C это давление достигает 0,343 МПа. Поэтому скорость разложения карбоната кальция значительно возрастает с увеличением температуры). По этой причине диссоциацию CaCO_3 в промышленных условиях осуществляют при температуре 1000—1100°C.

Разложение CaCO_3 происходит не по всей массе куска одновременно, а осуществляется от поверхности в глубь куска. Границу раздела между слоем образовавшейся извести и еще неразложившимся карбонатом кальция можно установить по внешнему виду.

Скорость продвижения границы раздела вовнутрь куска зависит от температуры обжига и составляет 0,7 см/ч при температуре 1000°C; 1,4 — при температуре 1100°C и 2,9 см/ч — при температуре 1200°C для кусков известняка неправильной формы.

При температуре обжига 1300°C и выше образуется стекловидная известь, которая практически не растворяется при гашении и называется «перепалом». При температуре обжига ниже 1000°C часть карбоната кальция не разлагается и образует «недопал», который, как и «перепал», нерастворим при гашении.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЗВЕСТНЯКА И МЕЛА

Сырьем для получения извести и диоксида углерода являются известняк и мел, представляющие собой карбонат кальция (CaCO_3), загрязненный рядом примесей. По техническим условиям известняк должен иметь следующий химический состав (в %):

Карбонат кальция (CaCO_3)	не менее 95
Карбонат магния (MgCO_3)	не более 1,5
Оксиды железа и алюминия (Al_2O_3 , Fe_2O_3)	не более 1,5
Сульфат кальция (CaSO_4)	не более 0,2
Оксиды калия и натрия (K_2O , Na_2O)	не более 0,25
Диоксид кремния (SiO_2)	не более 2,5

Хорошие сорта известняка имеют содержание влаги 0,5—1,0%. Плотность известняка колеблется от 2,4 до 2,9 г/см³, а объемная масса 1 м³ известняка в кусках составляет около 1,5 т.

Мел, представляющий собой очищенный известняк, отличается мелкокристаллическим строением, его куски имеют значительную пористость. Поэтому влажность мела достигает 20%. Плотность мела составляет в зависимости от пористости 1,6—2,0 г/см³, а объемная масса 1 м³ мела — около 1 т.

Так как на сахарных заводах обжиг известняка ведут обычно в шахтных печах, то к карбонатному сырью предъявляются определенные требования в отношении прочности. Известняк прочнее мела, и потому при обжиге прочность его не вызывает опасений.

Примеси, содержащиеся в известняке, существенно влияют на работу известняковообжигательной печи и качество жженой извести. Так, диоксид кремния SiO_2 образует легкоплавкие силикаты, которые спекают куски известняка, образуя большие конгломераты, что приводит к «зависанию» шихты. Попадая с известью на станции очистки в сок, силикаты могут выделяться затем в виде осадка SiO_2 на поверхности нагрева выпарной станции. Иногда вследствие выделения кремниевой кислоты на поверхности фильтровальной ткани наблюдаются нарушения в работе станции фильтрации.

Карбонат магния MgCO_3 при содержании его в известняке до 1,5% не вызывает затруднений при очистке сока. При обжиге карбонат магния разлагается, как и известняк ($\text{MgCO}_3 \rightleftharpoons \text{MgO} + \text{CO}_2$). Оксид магния в процессе приготовления известкового молока образует гидроксид магния [$\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$], который, так же как и SiO_2 , вызывает иногда затруднения при фильтрации. Для мак-

симального осаждения и удаления на очистке этих соединений рекомендуется работать на первой сатурации с рН не менее 11,0.

Карбонат кальция CaCO_3 , являющийся слабо растворимым соединением, приводит к образованию накипи на поверхности нагрева выпарной станции.

Оксиды щелочных металлов опасны тем, что, образуя с известью легкоплавкие соединения, могут спекать куски известняка и образовывать «козлы». При спекании с футеровкой печи происходит «зависание» шихты и наблюдается быстрый износ футеровки.

ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА

Применяемые для обжига известняка шахтные печи (рис. 43) имеют вертикальную шахту цилиндрической формы высотой 11—18 м. Стенки шахты выложены из огнеупорного кирпича, далее следует теплоизоляционная прослойка, выполняемая из шамотного порошка и строительного кирпича. Снаружи печь обшита стальным кожухом.

Подача известняка и топлива (антрацита или кокса) в печь механизирована и осуществляется специальными устройствами. Из бункеров известняк и топливо питателями подаются в ковш скипового подъемника. Широко распространена весовая дозировка известняка и топлива. Наполненный ковш поднимается по направляющим при помощи лебедки и разгружается в загрузочное устройство печи. Простейшее загрузочное устройство состоит из бункера и колокола, закрывающего вход в печь.

Перспективным является лотковое загрузочное устройство. Загрузочное распределительное устройство лоткового типа состоит из лотка, закрепленного на вертикальном валу, проходящем через затвор печи. Лоток подковообразной формы изготавливается из листовой стали и имеет отверстие прямоугольной формы, заканчивающееся двумя отбойниками, расположенными под определенным углом и служащими для направления шихты в разные сечения печи. Лоток поворачивается вместе с валом после загрузки каждого скипа на 65° , и таким образом обеспечивается равномерная загрузка по сечению печи.

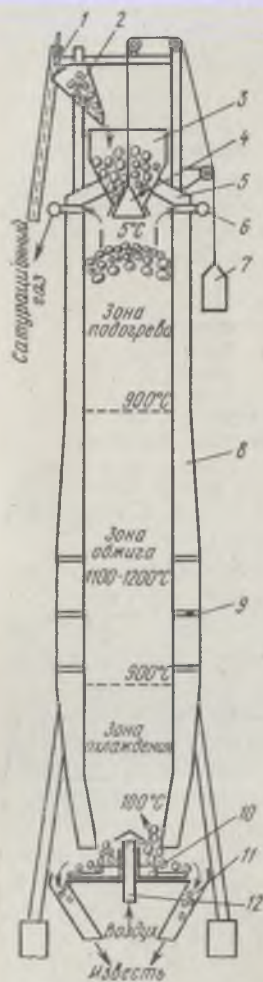


Рис. 43. Известняково-обжигательная печь Гипросахара:

1 — скиповый подъемник; 2 — ковш; 3 — загрузочный бункер; 4 — конусный затвор; 5 — свод; 6 — коллектор; 7 — контргруз; 8 — шахта; 9 — смотровое окно; 10 — выгрузочное устройство; 11 — короб; 12 — центральный канал.

В верхней части печи имеются патрубки для отвода образующегося в печи сатурационного газа.

Выгрузку обожженной извести осуществляют из нижней части печи при помощи специального приспособления, состоящего из четырех ступенчатых кареток, находящихся в возвратно-поступательном движении. При движении вперед каретка продвигает куски извести, которые постепенно доходят до конца каретки и падают на пластинчатый транспортер. Каретки расположены под углом 90° друг к другу. Скорость движения кареток (а следовательно, количество выгруженной извести) изменяют с помощью ступенчатого шкива или редуктора. Каждую каретку можно независимо от других выключить с помощью кулачковой муфты.

Из печей большой производительности выгрузку извести осуществляют с помощью спиралеобразной улитки. Улитка при вращении перемещает известь от центра к периферии и отводит ее через отверстие, расположенное по образующей печи.

Воздух для горения поступает в нижнюю часть печи, а газообразные продукты горения (печной сатурационный газ) и диоксид углерода, выделившийся при разложении CaCO_3 , отсасываются из верхней части печи через специальные патрубки газовым насосом.

При установившемся режиме работы печи осуществляют загрузку известняка и топлива в установленном соотношении, выгрузку извести и отсасывание сатурационного газа — в определенном количестве.

При нормальных условиях работы печи поддерживаются следующие показатели:

Температура сатурационного газа, $^\circ\text{C}$	120—150
Температура выгружаемой извести, $^\circ\text{C}$	50—200
Остаточное давление на выходе из печи, Па	490—2450
Состав газов, % об.	
диоксид углерода	32—36
кислород	2—4
оксид углерода	0,5—1,1
Содержание активной окиси кальция в извести, %	не менее 80

Нормальная работа печи определяется температурой в зоне обжига, которая зависит от интенсивности процесса обжига (количество тепла, выделяющегося в единицу времени на единицу площади поперечного сечения шахты в зоне обжига). Это в свою очередь зависит от количества топлива, загружаемого в печь. Количество тепла, выделяющееся при сгорании топлива, должно обеспечить разложение CaCO_3 и покрыть тепловые потери, имеющие место при работе печи. Расход тепла на разложение 1 кг CaCO_3 постоянный. Потери тепла лученспусканием и конвекцией через кладку печи составляют 3—5% от общего расхода тепла в печи.

Потери тепла с летучими веществами зависят главным образом от вида топлива, и потому наиболее предпочтительным является топливо с небольшим их содержанием.

Расход топлива существенно возрастает при химическом и механическом недожге топлива. Поэтому для получения более дешевой

известии следует вести работу на печи, избегая недожега топлива. Свидетельством механического недожега топлива является наличие негоревших кусков угля в выгружаемой извести. О химическом недожеге свидетельствует повышенное содержание оксида углерода в сатурационном газе.

Расход антрацита составляет примерно 8—9 кг на 100 кг CaCO_3 . При этом коэффициент полезного действия печи составляет 68%, т. е. такая доля от подводимого тепла расходуется на диссоциацию CaCO_3 , а остальное количество тепла теряется с сатурационным газом и известью, лучеиспусканием и конвекцией, через кладку печи.

Для нормальной работы печи большое значение имеет размер загружаемых кусков известняка и топлива. Слишком крупные куски медленно прогреваются, и для их обжига требуется слишком много времени. Мелкие куски оказывают большое сопротивление движению газа, увеличивают разрежение в верхней части печи — тем самым увеличивается количество подсасываемого воздуха, за счет чего уменьшается содержание CO_2 в сатурационном газе. Оптимальный размер кусков известняка составляет 80—120 мм при массе 1—3 кг, а кусочков топлива — 40—80 мм при массе 80—150 г.

Для увеличения производительности печи требуется увеличение производительности газового насоса, и наоборот.

В печи имеются три рабочих (температурных) зоны. Первая зона — зона подогрева, где температура достигает 900°C . В этой зоне загруженная шахта подогревается газообразными продуктами горения, отсасываемыми из печи. При этом отходящие газы охлаждаются до $120\text{—}200^\circ\text{C}$. Во второй зоне, называемой зоной обжига, или разложения, температура изменяется от 900 до 1200°C и затем понижается вновь до 900°C . Здесь происходит разложение CaCO_3 на CaO и CO_2 . Третья зона — зона охлаждения — начинается от температуры 900°C до выгрузочного отверстия, где температура извести составляет $50\text{—}100^\circ\text{C}$. В этой зоне известь охлаждается просасываемым воздухом, необходимым для горения топлива.

Обычно время пребывания известняка в печи составляет 24 ч, а съем извести с 1 м^2 сечения печи достигает 6—9 т в сутки.

Пуск печи в работу осуществляют за несколько дней до начала переработки свеклы. Предварительно высушивают футеровку в течение 3—5 сут, постепенно повышая температуру отходящих газов от 40 до 500°C . Затем покрывают слоем известняка выгрузочный механизм и на него кладут дрова и уголь и подают шихту, содержащую примерно 50% топлива. Затем содержание топлива в шихте снижают до нормальной величины. Дрова обливают соляжкой и поджигают, от горящих дров начинается горение антрацита. Печь при этом работает на естественной тяге.

Через 10—12 ч осуществляют первую выгрузку извести, затем выгрузки производят через каждые 3—4 ч.

После установления нормальных условий горения загрузку шихты и выгрузку извести осуществляют обычным порядком в соответствии с режимом работы печи.

Остановку печи после окончания производства осуществляют в следующем порядке. Отключают газовый насос и печь переводят на естественную тягу. Выгрузку извести регулируют таким образом, чтобы зона горения не опустилась на выгрузочное устройство. После удаления из печи извести печь охлаждают, а затем осматривают для определения объема необходимых ремонтных работ.

При работе печи необходимо контролировать содержание CO_2 в газе, качество получаемой извести, температуру в зонах печи и особенно следить за правильным положением зоны обжига. Если зона обжига переместилась вверх, необходимо увеличить количество выгружаемой извести и загружаемого топлива, и наоборот.

В практике работы заводов бывают случаи зависания шихты («козлы»), что вызывается чрезмерным повышением температуры обжига. При температурах выше 1200°C цвет камня будет ярко-белым вместо нормального светло-желтого. В этом случае необходимо начать непрерывную разгрузку печи. Если при этом известь успела сплавиться с футеровкой, образовавшийся конгломерат разрушают ломом через смотровые люки.

Получение сатурационного газа

Сатурационный газ, выходящий из печи, загрязнен мелкими частицами топлива и извести, смолистыми и другими веществами и имеет температуру $200\text{--}250^\circ\text{C}$. Направлять такой газ на сатурацию с помощью компрессоров невозможно, так как они быстро забьются осадком и выйдут из строя. Поэтому сатурационный газ очищают от взвешенных частиц и охлаждают до температуры $25\text{--}30^\circ\text{C}$. При этом значительно увеличивается производительность компрессора, так как сатурационный газ при такой температуре имеет значительно меньший объем.

Удаление взвешенных частиц осуществляется в сухих ловушках. Сухая ловушка представляет собой вертикальный цилиндр, разделенный перегородкой, не достигающей до нижней части. Газ, поступающий в ловушку, меняет на 90° направление своего движения, проходит под перегородкой и поднимается. Так как сечение ловушки больше сечения трубопровода, скорость движения газа падает. Твердые частицы при этом оседают на дно ловушки, откуда периодически удаляются. Широкое распространение получила на сахарных заводах сухая ловушка циклонного типа.

Охлаждение и очистку сатурационного газа от газообразных примесей, хорошо растворяющихся в воде, осуществляют в лаверах. Известны два типа лаверов: насадочный и форсуночный. На отдельных заводах можно встретить лаверы тарельчатого типа или лавер с насадкой, который состоит из нескольких царг. В нижней части каждой царги находятся решетки со слоем колец Рашига. Сатурационный газ подается в нижнюю часть лавера, а вода — в верхнюю часть, т. е. в лавере имеет место противоток. Равномерное распределение газа и воды по сечению лавера осуществляется за счет насадочных колец. Промытый и охлажденный газ отводится из верхней

части лавера и направляется в ловушку, аналогичную по устройству сухой ловушке, где отделяются капли воды, увлекаемые газом. Вода после контакта с газом содержит ряд анионов кислот, имеет кислую реакцию и является чрезвычайно вредной. Спуск ее в общественные водоемы категорически запрещен. Отвод лаверной воды осуществляется через спускную трубу длиной не менее 2 м в ящик лаверной воды, чем обеспечивается гидрозатвор, так как лавер находится под небольшим разрежением. Постоянный уровень воды в лавере должен быть равен 400 мм.

Охлажденный и очищенный газ подается на сатурацию турбокомпрессором типа ТГ-80-1,8 или поршневыми компрессорами. Перед сатураторами устанавливают специальный сборник для обеспечения равномерности подачи газа.

Приготовление известкового молока

Процесс гашения извести заключается во взаимодействии CaO с водой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 61,13 \text{ Дж}$. Эта реакция экзотермическая и протекает с выделением большого количества тепла.

На продолжительность гашения извести влияют температурный режим печи, химический состав известняка, температура воды, подаваемой на гашение. При увеличении температуры обжига получается более плотная известь, которая гасится медленнее. Существенно увеличивается продолжительность гашения с увеличением содержания в извести CaSO_4 . Длительность гашения извести сокращается при применении горячей воды, и поэтому гашение извести на сахарном заводе следует осуществлять аммиачной водой и промоями из фильтрационного отделения, если содержание сухих веществ в промое не превышает 0,3—0,4%. На рис. 44 представлена схема известкового отделения завода, где осуществляются получение и очистка известкового молока. Известковое молоко поступает в пескоулавливатель Русселя — Дорошенко для отделения песка и других примесей. Для более глубокой очистки известковое молоко направляют на гидроциклоны. Верхний слив с гидроциклона, представляющий собой очищенное известковое молоко, поступает в мешалку и оттуда насосом перекачивается на станцию очистки диффузионного сока.

Известегасильный аппарат представляет собой горизонтальный цилиндрический барабан, вращающийся на роликовых опорах. Внутри барабана по винтовой линии расположены лопатки для перемешивания и перемещения извести. Известь и вода движутся прямоточно от загрузочного отверстия к выгрузочному. Готовое известковое молоко выливается через край выходного отверстия и отводится на пескоулавливатель. Неразгасившиеся примеси попадают на ситчатую решетку, расположенную на передней лобовине барабана, и сбрасываются на наклонную плоскость. Частота вращения барабана составляет 4—5 об/мин. Плотность известкового молока должна поддерживаться в пределах 1,18—1,20 г/см³.

Песколовушка Русселя — Дорошенко представляет собой корыто с цилиндрическим днищем, разделенное перегородками на ряд камер. Внутри камер вращаются черпаки, перемешивающие известковое молоко и одновременно перебрасывающие песок и другие оседающие примеси в следующую камеру в направлении навстречу движению известкового молока. При прохождении известкового молока через ловушку оно освобождается от примесей, которые, оседая на днищах преддефектора и дефектора, могли бы вызвать нарушения в их работе. Песок и другие примеси выводятся из песколовушки шнеком.

На ряде заводов для более глубокой очистки применяются гидроциклоны. В цилиндрическую часть циклона по касательной подается известковое молоко, в результате чего создается вращательное движение жидкости. Центробежной силой песок отбрасывается к периферии и по стенке конической части движется к выходному отверстию. Очищенное известковое молоко отводится в мешалку через

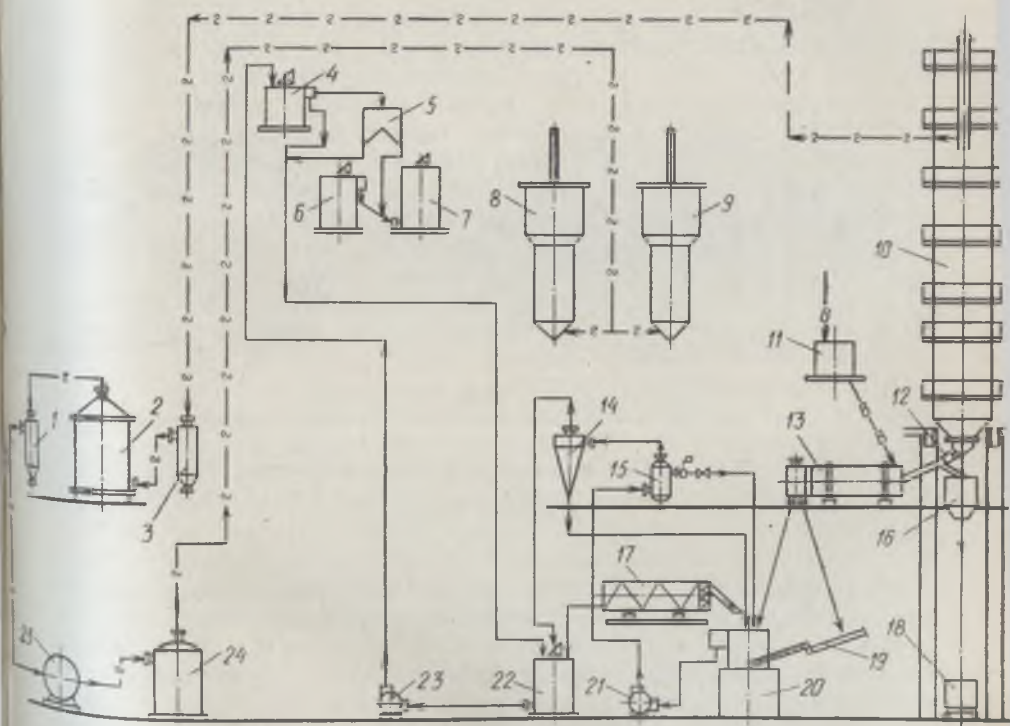


Рис. 44. Технологическая схема известкового отделения:

- 1 — известняковообжигательная печь; 2 — сборник воды; 3 — дозатор; 4 — известегасильный аппарат; 5 — бункер; 6 — тележка; 7 — транспортер; 8 — пескоотделитель; 9, 14 — насос; 10, 11 — мешалка; 11 — дозреватель; 12 — вакуум-сборник; 13 — гидроциклон; 15 — вакуум-сборник газа; 16 — компрессор газа; 17 — мокрая ловушка; 18 — лавер; 19 — сухая ловушка; 20 — аппарат предварительной дефекации; 22 — дозатор известкового молока; 23 — аппарат основной дефекации; 24, 25 — аппараты первой и второй сатурации.

верхнее отверстие. В гидроциклоны известковое молоко подается под избыточным давлением 0,2—0,3 МПа.

Песок с частью молока, выходящий из нижнего отверстия гидроциклона, поступает на шнек песколовушки Русселя — Дорошенко.

На отдельных заводах устанавливаются дозреватели известкового молока. Они имеют вместимость, достаточную для пребывания в них молока в течение 1,5—2,0 ч. При этом происходит более полное гашение извести, кроме того, дозреватель является буферной емкостью.

Получение диоксида серы

На большинстве сахарных заводов СССР диоксид серы получают непосредственно на заводе путем сжигания технической серы

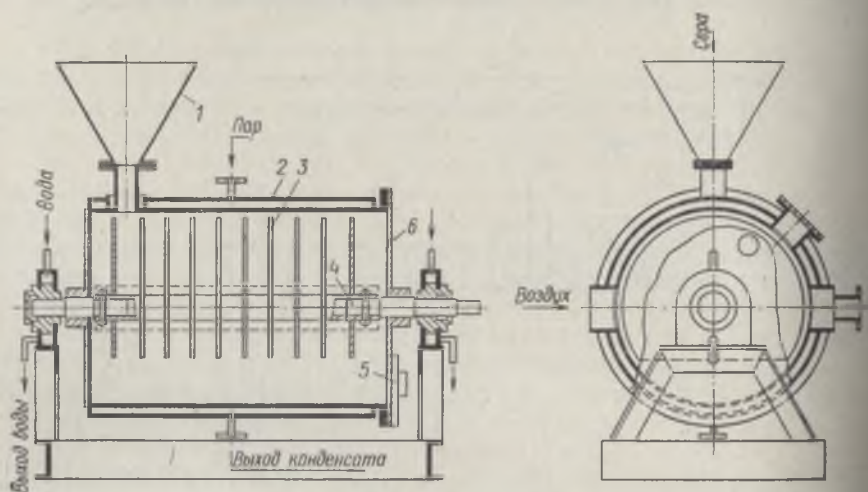


Рис. 45. Печь для сжигания технической серы:

1 — загрузочная воронка; 2 — паровая камера; 3 — диск; 4 — трубовал; 5 — выгрузочный люк; 6 — торцевая крышка.

в сернистых печах. В качестве типовой применяют вращающуюся печь БВЯ, представляющую собой чугунный горизонтальный цилиндр, переходящий в усеченный с обеих сторон конус. Печь вращается на опорных роликах с частотой 0,5 об/мин. На внутренней поверхности вдоль цилиндра печи расположены ребра для равномерного распределения и горения расплавленной серы. Сульфитационный газ, выходящий из печи, охлаждают водой в охладителе с двумя вертикальными перегородками. Поступление газа из печи через охладитель в сульфитатор осуществляют за счет разрежения, создаваемого вентилятором или эжектором, устанавливаемыми после сульфитатора.

В КНИИППе разработана конструкция сернистой печи с дисками на вращающемся горизонтальном валу (рис. 45). Расплавленная сера стекает по дискам тонким слоем, а воздух для горения поступает между дисками. Сжигание серы в печи можно осуществлять как под разрежением, так и под избыточным давлением. По сравнению с типовой эта печь при одинаковом рабочем объеме имеет поверхность горения в 10 раз большую.

При сжигании серы образуется шлаковая пленка, которая превращается при полном сгорании серы в остаток, количество которого составляет 5—40% к массе исходной серы. Максимально возможное содержание SO_2 в газах при сжигании серы не превышает обычно 16%. До 30% получаемого SO_2 может окисляться в SO_3 в зависимости от режима сжигания серы.

Если принять, например, концентрацию SO_2 в сульфитационном газе равной 5%, то в 1 м³ воздуха получают 50 л, или 134,5 г SO_2 при 20°C (1 л SO_2 при 20°C весит 2,69 г). Следовательно, в худшем случае, в 1 м³ сульфитационного газа при 20°C можно получить $134,5 \cdot 0,7 = 94,1$ г SO_2 и $134,5 - 94,1 = 40,4$ г SO_3 .

При охлаждении газа до 35°C триоксид серы осаждается на стенках охладителя. При более высокой температуре газа некоторая часть SO_3 может попасть в сок или сироп.

На некоторых сахарных заводах для сульфитации применяют жидкий SO_2 , доставляемый по железной дороге в специальных емкостях. Весь запас жидкого SO_2 хранят в специальных стальных танках под давлением 0,343 МПа при 20°C. Транспортирование жидкого SO_2 осуществляют воздухом под давлением от компрессора. Применение жидкого SO_2 упрощает автоматизацию и повышает эффективность процесса сульфитации, но связано с определенными капитальными затратами на строительство хранилища.

Для сульфитации сока и сиропа в качестве типового используют оросительный сульфитатор производительностью 1500 и 3000 т свеклы в сутки. Аппарат состоит из вертикальных чугунных царг. Нижняя царга закрыта вогнутым днищем со спускным отверстием для обработанного сока (сиропа), поступающего в контрольный ящик. Здесь же расположено газораспределительное устройство с отверстиями для прохождения газа.

В верхней части аппарата установлено устройство, которое разбивает сок на мелкие струйки, распределяемые равномерно по сечению аппарата. Внутри аппарата установлены распределительные чугунные решетки со щелевидными отверстиями трапецеидального сечения.

Отработавший сульфитационный газ (коэффициент использования SO_2 при сульфитации сока 75%) отводится через вытяжную трубу в атмосферу за пределы производственного помещения.

Для исключения попадания газа в контрольный ящик или в насос сока (сиропа) на отводящей трубе устанавливают сифонную трубу для создания гидравлического затвора.

Продолжительность сульфитации составляет 5 мин при температуре сиропа 85—90°C.

Перспективным является струйный смешивающий сульфитатор (рис. 46). Диаметр сопла на выходе определяется расходом сока или сиропа, которые прокачиваются под избыточным давлением. Благодаря большой кинетической энергии струи в

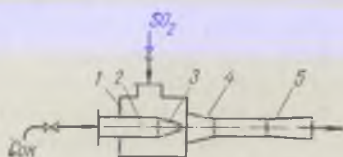


Рис. 46. Струйный сульфитатор системы КТИПП:

1 — корпус; 2 — трубный ствол; 3 — сопло; 4 — камера смешивания; 5 — диффузор.

приемной камере создается разрежение, за счет которого засасывается диоксид серы. Струя жидкости обладает большой поверхностью, находится в развитом турбулентном режиме течения и смешивается с газом в камере смешения и диффузоре. Аппарат обеспечивает коэффициент утилизации SO_2 , например, на соковой сульфитации близкий к 100%. Струйный сульфитатор полно-

стью автоматизирован, компактен и прост в изготовлении.

Для контроля и регулирования щелочности сока второй сатурации и сиропа в процессе сульфитации применяют автоматические рН-метры, позволяющие регулировать подачу SO_2 в сульфитатор и процесс горения серы.

Потребление воды и очистка сточных вод

Свеклосахарный завод является крупным потребителем воды, расходуемой на технологические, энергетические и другие процессы производства. В зависимости от имеющейся схемы водоснабжения, установленного технологического оборудования, наличия повторного использования отработавших вод расход воды колеблется в значительных пределах. В связи с этим свеклосахарный завод имеет большое количество сточных вод, подлежащих очистке.

Учитывая, что водные ресурсы неограничены, а расходы на очистку сточных вод велики, важной задачей производства является сокращение расхода воды и уменьшение количества сточных вод. Источником водоснабжения сахарного завода могут быть реки, пруды, озера. Кроме того, для хозяйственно-бытовых нужд используется вода, получаемая из артезианских скважин.

Для технологических нужд используются следующие виды воды: холодная из источника водоснабжения; барометрическая, представляющая собой подогретую до 40°C речную или прудовую воду с небольшой примесью аммиака; конденсаты из выпарных аппаратов и теплообменной аппаратуры завода, называемые аммиачной водой, так как они содержат в небольших количествах аммиак.

Свежая холодная вода расходуется на мойку свеклы, на конденсаторы вакуум-аппаратов и вакуум-фильтров, лаверы для очистки сатурационного газа, водокольцевые вакуум-насосы, на охлаждение узлов машин, утфеля последнего продукта и на нужды ТЭЦ завода. Барометрическая вода используется на диффузионные установки, в зимнее время добавляется в свекломойку и гидротранс-

портер, для разбавления фильтрационного осадка при выводе его с завода. Основное же количество барометрической воды после охлаждения на градирнях или струйных охладителях направляется обратно в источник водоснабжения. При наличии системы оборотного водоснабжения барометрическая вода охлаждается и повторно используется в качестве холодной воды.

Конденсат I и II корпусов выпарки, подогревателей, обогреваемых ретурным паром, направляется на питание паровых котлов ТЭЦ. Аммиачная вода используется для питания диффузионных аппаратов после соответствующей обработки, промывки фильтрационного осадка, приготовления известкового молока, раскочки утфелей, мойки фильтровальных салфеток и т. д. Артезианская вода подается через напорный бак в сеть пожарно-хозяйственного водопровода завода и используется для питья, пробелки сахара и хозяйственных нужд.

Потребление свежей воды из источника водоснабжения составляет около 1000% к массе свеклы. При оборотном водоснабжении, когда барометрическая вода охлаждается и возвращается на конденсаторы вакуум-аппаратов, выпарки, вакуум-фильтров, охлаждение компрессоров и другого оборудования и т. д., расход свежей воды из общественного водоема можно сократить до 200% к массе свеклы. Таким образом, за счет повторного использования воды в производстве достигается значительная ее экономия.

Сточные воды сахарного завода необходимо очищать. В соответствии с действующими в стране законами сточные воды делятся на три категории. К группе А вод I категории относятся излишняя холодная вода из напорного бака и вода, использованная для теплообмена в утфелемешалках и сублиматоре сернистой печи, охлаждения компрессоров и работы водокольцевых вакуум-насосов.

К группе Б вод I категории относятся барометрические и конденсатные воды. Они слегка загрязнены аммиаком, органическими соединениями и имеют температуру свыше 30°C. При наличии оптимальных схем водоснабжения эти воды охлаждаются в градирнях или путем распыла, а затем через каскад водосборников вновь возвращаются в завод.

К водам II категории относятся транспортно-мочные воды. Они содержат значительное количество нерастворимых взвешенных и органических веществ, а поэтому их нельзя направлять в общественный водоем. В производстве их направляют в отстойники транспортно-мочных вод, где взвешенные частицы оседают, и их совместно с разбавленным сатурационным осадком и водами III категории откачивают на поля фильтрации. Осветленная вода многократно используется для подачи свеклы в завод.

К водам III категории относятся осадок транспортно-мочных вод, избыток жомопрессовой воды, разбавленный сатурационный осадок, лаверная вода, отработавшие воды из лаборатории, хозяйственно-бытовые и фекальные воды завода. Эти воды откачиваются на поля фильтрации, где происходит их качественная биологическая очистка.

ТЕХНОЛОГИЯ САХАРОРАФИНАДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава XIV. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА-РАФИНАДА

Сырьем для получения кристаллического сахара в нашей стране являются сахарная свекла и тростниковый сахар-сырец. Сахар-песок при доброкачественности 99,75—99,55% содержит 0,25—0,45% несахаров к массе сахара, которые придают ему специфический привкус и некоторую окрашенность. Более низкой доброкачественностью и более высокой окрашенностью отличается сахар-сырец. Цель рафинирования на сахарорафинадном заводе — дальнейшая очистка сахара-песка и сахара-сырца от несахаров и красящих веществ. В соответствии с ГОСТ 22—66 сахар-рафинад должен быть белого цвета, чистым, без пятен и посторонних примесей. Рафинад должен обладать определенной твердостью и полностью растворяться в воде.

Рафинированный сахар выпускают в виде рафинированного песка и кускового рафинада. В СССР основным видом считают рафинад в форме правильных кусочков. В США, например, сортом сахара вообще является только рафинированный песок или кусковой рафинад. Рафинированный песок или кусковой рафинад отличаются от стандартного сахара-песка повышенной доброкачественностью — 99,9%.

По способу производства кусковой рафинад делится на прессованный и литой. Кроме того, прессованный сахар-рафинад может быть быстрорастворимым, твердым и со свойствами литого.

Плотность монокристалла сахарозы, отнесенная к массе воды и называемая относительной плотностью, равна 1,59 г/см³, насыпная относительная плотность монокристаллов равна 0,85. В кусковом рафинаде отдельные монокристаллы расположены значительно ближе, чем в сахаре-песке, и, кроме того, эти кристаллы соединены между собой сахаром, выкристаллизовавшимся из клерса при сушке рафинада. При этом относительная объемная плотность кускового сахара-рафинада колеблется от 1,05 до 1,25 г/см³ для разных сортов рафинада, что говорит о наличии между монокристаллами пор, заполненных воздухом. Насыпная плотность кускового сахара-рафинада равна приблизительно 0,7 г/см³.

Рафинирование основано на двух технологических процессах: перекристаллизации и очистке. Для процесса кристаллизации (перекристаллизации) необходимо, чтобы в сухих веществах раствора сахар количественно преобладал над несахарами. При уваривании

маточный раствор становится пересыщенным по отношению к сахару и ненасыщенным — к другим компонентам раствора. При этих условиях силы взаимного притяжения между молекулами сахарозы превышают их сцепление с молекулами воды, молекулы сахара изолируются от молекул воды, растворенных частиц примесей, притягиваются одна к другой и к граням растущих кристаллов, на которых они komponуются в строгую кристаллическую решетку.

Выделяемые из растворов кристаллы сахарозы не являются абсолютно чистыми. Различают три вида загрязнений кристаллов в соответствии с их линейным размером: крупные включения (окклюзия), например пузырьки воздуха, грот; адсорбированные частицы коллоидных размеров и свойств; внедрение между молекулами сахарозы частиц молекулярного размера или замещение ими молекул сахарозы в кристаллической решетке.

Концентрация примесей, включенных в кристалл сахарозы, зависит от их концентрации в маточном растворе. Поэтому, чтобы получить чистые кристаллы, необходимо обеспечить минимальное содержание примесей в маточном растворе. Сущность очищающего действия перекристаллизацией заключается в следующем. Сахар, подлежащий очистке, растворяют, а затем начинают выкристаллизовывать. Некоторая часть несахаров и растворенных примесей включается в растущий кристалл на его поверхности (гранях) за счет избирательных (селективных) адсорбционных свойств кристалла сахарозы и специфических свойств несахара. Таким образом, вероятность включения в кристалл высока только у несахара, обладающего специфической адсорбционной способностью, например у красящих веществ, образовавшихся из продуктов разложения сахара. Поэтому концентрация несахаров в составе сухого вещества кристаллов во много раз меньше концентрации несахаров в составе сухого вещества маточного раствора. Концентрация же несахаров в крупных включениях равна их концентрации в маточном растворе.

Обычно при перекристаллизации имеют дело с несахарами, обладающими высокой адсорбционной способностью по отношению к кристаллам сахарозы. Поэтому может быть и такой случай, когда концентрация несахара в растворяемом и перекристаллизованном сахаре может оказаться одинаковой. Например, путем перекристаллизаций практически невозможно удалить в полной мере красящие вещества, если учесть, что в самом процессе перекристаллизации появляются дополнительно красящие вещества — продукты разложения сахара. К тому же перекристаллизация — довольно не экономичная (с точки зрения расхода топлива) и громоздкая операция.

Наряду с перекристаллизацией применяют очистку маточных растворов при помощи адсорбции. В качестве адсорбентов в рафинадном производстве применяют иониты (аниониты) и угли: костяной (крупку), активные угли типа «норит» или «карборафин», гранулированный активный уголь. Технологическая и экономическая целесообразность включения в схему очистки адсорбционного про-

цесса заключается в том, что для его осуществления используют растворы, направляемые на перекристаллизацию. Адсорбенты позволяют удалить из раствора адсорбционно-активные сахара, особенно красящие вещества, причем при прочих равных условиях их удаляется тем больше, чем ниже их концентрация в очищаемом растворе. Таким образом, адсорбция дополняет перекристаллизацию, резко понижая концентрацию примесей и повышая эффективность очистки.

Основным показателем эффекта адсорбционной очистки считают уменьшение цветности сиропа. Некоторого обесцвечивания сиропов достигают переводом красящих веществ в менее окрашенные или бесцветные соединения при помощи химического реагента — гидросульфита ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Для подавления желтого или серого оттенка, которые портят внешний вид рафинада, сахар при пробелке подсинивают ультрамарином марки УС (ультрамарин сахарный).

Глава XV. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА-РАФИНАДА

Рафинадный завод

Крупные рафинадные заводы размещают в больших городах или в городах с морским портом. Выгодно также размещение рафинадного завода в пригороде большого города или недалеко от порта, учитывая экономичность массовых перевозок автомобильным транспортом.

Сахар-песок перерабатывается в сахар-рафинад с выходом ~99%. Поэтому при перевозке его от места производства к месту потребления масса груза не зависит от того, какой сахар перевозить. Однако для перевозки кускового рафинада требуется транспортных средств на 20% больше, чем для сахара-песка. Это объясняется различиями в насыпной их плотности, а также тем, что кусковой рафинад в больших количествах перевозят в мешках. Такой вид транспортировки загрязняет рафинад ворсом, приводит к крошению кусочков.

Отмеченные выше недостатки устраняются фасовкой рафинада в картонные пачки и упаковкой их в крафт-бумагу, картонные коробки или деревянную тару (при перевозке в близлежащие места потребления рафинад упаковывают в пачки, которые завертывают в пакет или плотную бумагу).

Технологическая схема рафинадного завода предусматривает работу с рафинадной и продуктовой группами утфелей с получением сахара-рафинада и рафинадной патоки.

В последние годы получает распространение перевозка на рафинадные заводы жидкого сахара. Это является одним из способов полной механизации всех погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских операций на пути сахарный завод — рафинадный завод. В настоящее время жидкий сахар второй категории вырабатывают на Лохвицком, Сумско-Степановском, Грязнянском, Пивненковском, Велико-Октябрьском, Червонском и Воронежском свеклоса-

харных заводах и Краснозвездненском, Бердичевском и Дружбинском сахарорафинадных заводах. На этих предприятиях частично или полностью упразднена служба по упаковке сахара в мешки.

Следует отметить, что затраты на транспортировку жидкого сахара в железнодорожных цистернах значительно превышают затраты на транспортировку сахара в мешках, так как при содержании сухих веществ в жидком сахаре 65% на каждые 1000 т жидкого сахара приходится перевозить около 350 т воды. С другой стороны, например, доведение на Лохвицком заводе выпуска жидкого сахара до 50% (приблизительно 55 000 т) от всего количества производимого сахара за сезон позволяет высвободить 82 человека в производственный период, или 25 человек в среднегодовом исчислении. Годовой экономический эффект при этом составляет 267 тыс. руб., или 5 руб. на 1 т сахара (в пересчете на сахар-песок).

Для рафинадного завода целесообразна круглогодичная переработка жидкого сахара. В связи с этим представляется рациональной организация на заводе — поставщике жидкого сахара вывода сиропа на хранение с последующей передачей его на рафинадный завод. При этом в период переработки свеклы одновременно с выпуском жидкого сахара осуществляется вывод сиропа на хранение. По завершении переработки свеклы на рафинадный завод направляют свекловичный сироп, который перерабатывают как сахар-сырец, а затем перерабатывают импортный сахар-сырец. Такая организация поставки жидкого сахара позволит рафинадному заводу в комплексе с переработкой сахара-сырца значительно сократить потребность в сахаре-песке, затаренном в мешках.

При наличии резервуаров большой вместимости рафинадный завод может хранить жидкий сахар в объеме, обеспечивающем работу завода в течение 4 мес и более. При этом на результаты хранения жидкого сахара не влияет исходное качество сахара-песка, если оно находится в пределах, регламентированных ГОСТ 21—78 для промышленной переработки на рафинадных заводах.

Технологическая схема получения и отгрузки жидкого сахара, например на Лохвицком сахарном заводе, изображена на рис. 47.

Пробеленный сахар-песок, минуя сушильное отделение, транспортом 4 подается в клеровочные мешалки 5. Сахар клеруется конденсатом с выпарки. Жидкий сахар с содержанием сухих веществ 63—68% перекачивается в мерники 7, а затем в резервуар 10 для кратковременного пребывания. Схема предусматривает заполнение железнодорожных цистерн непосредственно из мерников, а также обработку мерников, цистерн, насосов и другого оборудования вторичным паром I корпуса выпарки. Пропарку направляют из сборника 13 насосом в клеровочную мешалку комков сахара. Для оперативного учета и контроля качества жидкого сахара при заполнении цистерн из каждого мерника во время его опорожнения отбирают четыре пробы. Загруженную цистерну взвешивают на железнодорожных весах, а затем массу нетто цистерны пересчитывают на сухой сахар. В отобранных пробах определяют содержание сухих веществ и сахара, pH и плотность. После этого оформляют накладную, выдают удостоверение о качестве сахара и сахар отправляют потребителю.

Схема приемки жидкого сахара на рафинадном заводе приведена на рис. 48.

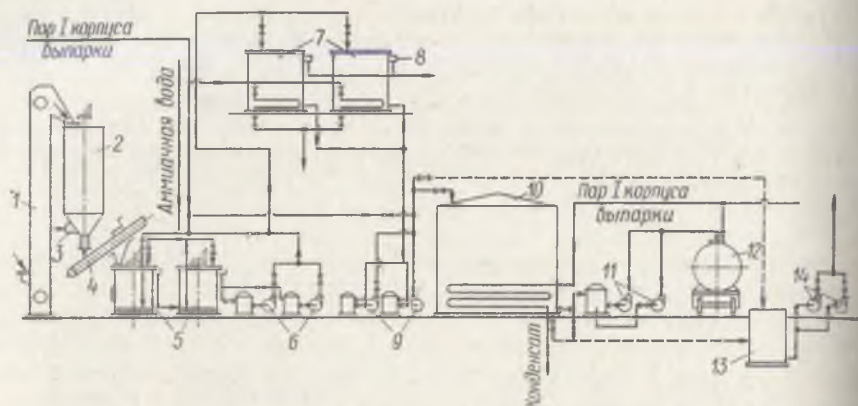


Рис. 47. Технологическая схема получения и отгрузки жидкого сахара:

1 — элеватор белого сахара; 2 — сушильный аппарат; 3 — патрубок подачи горячего воздуха; 4 — ленточный транспортер белого сахара; 5 — клеровочная мешалка; 6 — насос; 7 — мерник жидкого сахара; 8 — патрубок вывода комков сахара в клеровочную мешалку; 9 — насос подачи жидкого сахара в резервуары; 10 — резервуар жидкого сахара; 11 — насос подачи жидкого сахара в железнодорожные цистерны; 12 — железнодорожная цистерна; 13 — сборник пропарки; 14 — насос откачки пропарки.

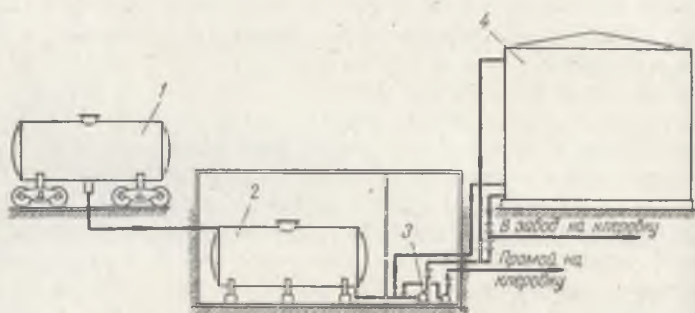


Рис. 48. Схема приемки жидкого сахара на Краснозвездинском рафинадном заводе:

1 — железнодорожная цистерна; 2 — приемный резервуар; 3 — насос; 4 — резервуар для хранения жидкого сахара.

Рафинадное отделение или сахарорафинадный завод при свеклосахарном заводе

Комбинирование рафинадного производства с крупным свеклосахарным заводом приближает рафинадный завод или отделение к источнику сырья и обеспечивает сокращение капиталовложений и эксплуатационных расходов. Некоторые комбинаты состоят из объединенных территориально и организационно свеклосахарного

и сахарорафинадного заводов. Каждый завод работает по самостоятельной технологической схеме с различной длительностью производства (рафинадный завод может перерабатывать также сахар-песок с других свеклосахарных заводов или тростниковый сахар-сырец). На большинстве сахарных комбинатов имеется лишь рафинадное отделение (а не завод), мощность которого обеспечивает переработку всего выпускаемого свеклосахарным заводом сахара-песка. Такое рафинадное отделение не имеет самостоятельной продуктовой группы utfелей и работает по относительно простой сопряженной технологической схеме: сахар-песок из-под центрифуг I продукта свеклосахарного завода клеруют, полученный сироп вместе со вторым оттеком I рафинада очищают и уваривают в рафинадный utfель. Рафинадный utfель фугуют, а сахар пробеливают клерсом и получают рафинадную кашку. Из первого оттека I рафинада и второго оттека II рафинада уваривают utfель II рафинада. После фуговки и пробелки этого utfеля кашка смешивается с кашкой I рафинада. Первый оттек II рафинадного utfеля смешивают со свекловичным сиропом и уваривают на utfель I продукта свеклосахарного производства. Этот возврат повышает доброкачественность свекловичного utfеля и качество сахара-песка. Недостатками рафинадного отделения являются смешивание рафинадной патоки с мелассой, сезонное производство, определяемое длительностью свеклосахарного производства.

Рафинадное отделение при кондитерской фабрике

Основное количество сахарорафинадных заводов и отделений расположено в Европейской части СССР. Транспортировка рафинада в северные, южные и восточные районы страны дороже, чем сахара-песка. Поэтому в свое время был поставлен вопрос об организации рафинадных отделений при крупных кондитерских фабриках в различных экономических районах СССР. Решение этого вопроса экономически выгодно и является одним из условий рациональной организации общественного труда. Рафинадный цех мощностью 25—50 т рафинада в сутки может работать по схеме с одной и максимум с двумя кристаллизациями. Оттеки направляются в кондитерские цеха. Сокращение ступеней кристаллизации снижает разложение сахарозы, исключает получение рафинадной мелассы и потери сахара с ней.

Глава XVI. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА-РАФИНАДА

Производство рафинада из свекловичного сиропа

Возможно производство рафинада на свеклосахарном заводе непосредственно из свекловичного сиропа высокого качества. Такой завод называют свеклорафинадным. Получаемый влажный сахар-песок сразу же прессуют в бруски, сушат и т. д. Стоимость такого

рафинада ниже, главным образом за счет экономии топлива из-за отсутствия уваривания рафинадных утфелей. Однако повышенные требования к свекловичному сиропу и получаемому из него сахар-песку относительно усложняют технологическую схему завода. **Схема предусматривает очистку сиропа кизельгуром, активным углем и частично ионитами; применение не менее трех кристаллизаций; увеличение массы продуктовых (желтых) сахаров, направляемых на аффинацию и перекристаллизацию.**

На выпуск рафинада необходимого качества в данном варианте рафинадного производства большое влияние оказывает качество свеклы.

Перспективным для производства рафинада из свекловичного сиропа может быть способ, основанный на выводе, хранении и последующей переработке полупродуктов. По этому способу при наличии оборудования для работы по трехпродуктовой схеме из сиропа уваривают утфель I продукта и получают влажный сахар-песок. Все количество зеленой патоки I продукта выводят после соответствующей подготовки на хранение в резервуары. Часть сахара-песка клеруют, клеровку очищают на самостоятельной линии дефекосатурацией, фильтруют, сульфитируют и еще раз фильтруют. Из полученной клеровки уваривают рафинадный утфель. Пробелку кристаллов осуществляют клерсом. Кашку направляют на прессование. Первую белую патоку направляют на последние подкачки в этот же утфель. Белую патоку рафинадного утфеля направляют на очистку сорбентами (активными углями или обесцвечивающим анионитом) или на заводку кристаллов в продуктовый I утфель (без очистки). В нескольких (1—2) вакуум-аппаратах уваривают утфель последнего продукта из зеленой патоки рафинадного утфеля, который кристаллизуют в мешалках и фугуют. Желтый сахар последнего продукта аффинируют первой зеленой патокой, клеруют и направляют на сульфитацию с сиропом. Аффинационный оттек направляют на последние подкачки в вакуум-аппараты утфеля последнего продукта. В первую зеленую патоку перед выводом на хранение добавляют расчетное количество сиропа для повышения ее доброкачественности до 81—83%. После переработки свеклы из выведенной патоки уваривают утфель II продукта, который кристаллизуют в мешалках с промежуточной фуговкой и получают желтый сахар. Клоровку желтого сахара нагревают, обрабатывают на дефекосатурации, фильтруют, сульфитируют и еще раз фильтруют. Из очищенной клеровки получают стандартный сахар-песок. Белую и зеленую патоки продуктового утфеля направляют на последние подкачки в этот же утфель. Если цветность сахара-песка будет выше стандартной, то 60% зеленой патоки временно возвращают на дефекосатурационную очистку вместе с клеровкой желтого сахара и частично (или полностью) — на заводку кристаллов утфеля последнего продукта. Такой способ позволяет во время переработки свеклы перерабатывать на рафинад весь сахар-песок или определенную его часть; остальной сахар-песок вырабатывают стандартного качества.

Возможен вариант выработки в период переработки свеклы только кускового рафинада и рафинированного песка (выход до 56% к массе продуктового сахара-песка) с созданием запаса последнего в металлическом силосе для производства кускового рафинада после свекловичного производства.

Производство рафинада из тростникового сахара-сырца

Тростниковый сахар-сырец по составу значительно отличается от стандартного сахара-песка. Содержание в нем несахара достигает 1,5%; в составе органического несахара преобладают редуцирующие вещества (в том числе инвертный сахар) и продукты их разложения; влажность сахара-сырца в зависимости от условий хранения составляет от 0,3 до 1,0% к массе сырца и может быть выше; цветность отдельных партий сырца колеблется в широких пределах — от 25 до 80 ед. и более. Поэтому технологические схемы переработки сахара-сырца более сложные, чем при переработке сахара-песка. Выработка рафинада из тростникового сахара-сырца описана в главе XII.

Глава XVII. АССОРТИМЕНТ САХАРА-РАФИНАДА

В настоящее время выпускают четыре основных сорта рафинада: прессованный колотый, прессованный быстрорастворимый, рафинированный песок и в небольшом количестве литой колотый рафинад. В зависимости от сорта ГОСТ 22—66 предъявляет к сахару-рафинаду следующие требования:

Сорт рафинада	Давление разрушения, Па	Время полной растворимости, мин	Влажность, %
Колотый литой	40	8	0,4
Прессованный со свойствами литого	35	7	0,25
Прессованный колотый	30	6	0,2
Прессованный быстрорастворимый	15	1	0,2
Дорожный (ресторанный)	30	6	0,2

Кусочки рафинада должны иметь форму параллелепипеда толщиной 11 и 22 мм, массой 7,5; 5,5 или 15 г каждый. Литой колотый рафинад представляет собой кусочки неправильной формы массой 5—60 г каждый. Рафинированный сахар-песок должен состоять из отдельных кристаллов сахарозы следующих размеров (в мм):

Мелкий	0,2—0,8
Средний	0,5—1,2
Крупный	1,0—2,5
Крупный (особый заказ)	2,0—4,0

Влажность рафинированного сахара-песка не более 0,1%. Из отходов рафинада готовят рафинадную пудру с размером кристалла не более 0,1 мм. Для производства шампанского, ликеров

и вин вырабатывают рафинированную сахарозу повышенной доброкачественности. Для этого сахар-песок после фуговки пробеливают чистой горячей водой и паром без применения ультрамарина и гидросульфита. Кристаллы должны быть размером 2,0—2,5 мм, прозрачными, с чистой блестящей поверхностью.

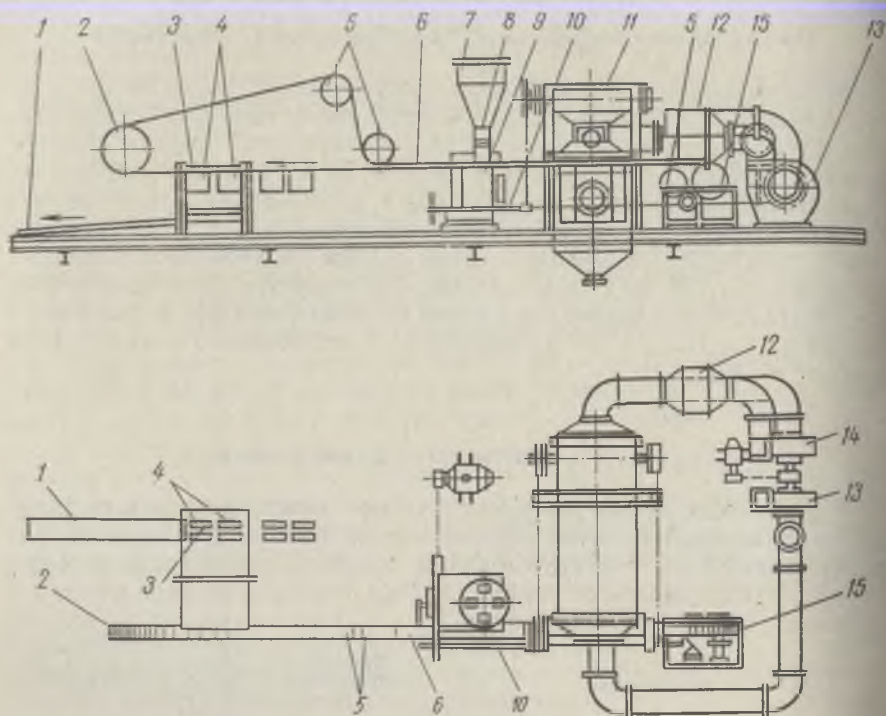


Рис. 49. Схема агрегата ПСА:

1 — транспортер готового рафинада; 2 — натяжной барабан основного транспортера; 3 — колочный станок; 4 — ящики для упаковки; 5 — направляющие ролики; 6 — стальная лента транспортера; 7 — бункер; 8 — набивная коробка; 9 — пресс; 10 — вал; 11 — сушилка; 12 — калорифер; 13, 14 — вентиляторы; 15 — приводной барабан транспортера.

В СССР кусковой рафинад вырабатывают в основном на автоматизированных линиях, в которых совмещены операции прессования, сушки, охлаждения, фасовки и упаковки. На линии ПСА (с прессово-сушильным агрегатом) или же СРА (с сушильно-рафинадным агрегатом) (рис. 49) прессуют рафинадные бруски. В этом случае между операциями охлаждения и фасовки вклинивается операция колки брусков. В обоих вариантах линий рафинад перемещают в процессе сушки как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях для оптимального решения задач по механизации и автоматизации процессов, а также компактности установки в целом.

Длительность высушивания рафинада на линии ПСА около 8 ч. Работу ПСА регулируют приборы автоматики.

Быстрорастворимый рафинад вырабатывают на специальной автоматической линии (рис. 50). В этой линии фасовка рафинада полностью автоматизирована. Кассеты с высушенным рафинадом направляют транспортером к укладочному приспособлению. Кусочки рафинада специальным механизмом плотно сдвигаются и образуют по ширине кассеты три сплошных прямоугольника, содержащих по 60 кусочков каждый. Эти прямоугольные рафинадные блоки захватываются сверху вакуум-присосками, которые поднимают их и переносят в коробочки. Правильность массы пачек контролируется автоматически.

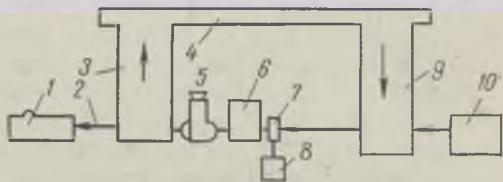


Рис. 50. Схема автоматической линии получения быстрорастворимого рафинада:

1 — машина для контроля массы пачек и приклеивания крышки коробки; 2 — транспортер с толкателем; 3 — сушильная восходящая шахта; 4 — верхний горизонтальный транспортер; 5 — ротационный пресс; 6 — щит; 7 — укладочный механизм; 8 — установка для получения вакуума; 9 — сушильная нисходящая шахта; 10 — машина для изготовления нижней половины бумажных коробок.

При хранении кускового и быстрорастворимого сахара-рафинада в складах поддерживают тот же температурно-влажностный режим, что и при хранении сахара-песка.

При транспортировке рафинада принимают меры к защите его от механического разрушения, а также от повышения его влажности.

Глава XVIII. ТЕПЛОВОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РАФИНАДНОГО ЗАВОДА

На технологические нужды рафинадного завода в основном применяют отработавший пар с различным давлением. Технологический пар расходуется на уваривание utfелей. Если принять количество рафинадных utfелей к массе перерабатываемого сахара-песка равным 185%, а продуктовых — 30% при содержании СВ в сиропах 72%, то выпариваемое количество воды в вакуум-аппаратах составит соответственно 55 и 15%. Это примерно равно расходу пара на вакуум-аппараты. Расход пара определяется концентрацией сиропов, которая зависит от применяемого для их очистки адсорбента. Например, при работе с ионитами количество выпариваемой воды увеличивается как минимум до 95%. Ориентировочный расход пара теплосодержанием 2679,6 кДж/кг составляет по заводу 125—150% к массе выпускаемого рафинада, из них 70—95% — на уваривание utfелей, 12—15% — на сушку рафинада, 12—15% — на нагревание клеровок, 6—12% — на нагревание воды. Расход условного топлива с теплосодержанием 29307,6 кДж/кг составит 20% к массе рафинада.

Потребность в паре рафинадного отделения при свеклосахарном заводе может быть обеспечена за счет вторичного пара I или II корпусов выпарки, что может снизить общий расход пара, а следовательно, и топлива по заводу.

В рафинадном производстве применяются горячая и холодная вода. Вся вода, идущая на промывку адсорбентов и фильтрующих порошков, гравия, на клеровку оттеков и сахаров, должна быть чистая, горячая. Для ее получения может быть использована вода из реки, водопровода или артезианских скважин.

Расход холодной промышленной воды на рафинадном заводе достигает 2000%. При этом на конденсаторы вакуум-аппаратов расходуют до 1700%, на конденсаторы вакуум-сушилок — до 100%, 40% горячей воды расходуют на клерование песков.

Для уменьшения расхода пара на нагрев воду сначала пропускают через предконденсатор, получая барометрическую воду температурой 45—50°C, а затем ее нагревают паром до 90°C. Весь остальной пар с вакуум-аппаратов после предконденсатора конденсируется на основном конденсаторе оборотной охлаждаемой промышленной водой. Эта вода используется также на охлаждение и уплотнение сальников насосов, вакуум-насосов, охлаждение масло-системы пульсирующих центрифуг, конденсатор вакуум-сушки рафинада, т. е. там, где нет контакта этой воды с продуктами, используемыми далее в технологическом процессе получения сахара-рафинада. Эта вода собирается, охлаждается на градирне и подается опять в завод.

При такой схеме использования воды с устройством оборотной системы водоснабжения расход свежей воды на нужды технологического процесса может быть снижен до 150% к массе рафинада (против 2000% к массе рафинада при прямоточной системе водоснабжения).

ХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УЧЕТ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава XIX. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНТРОЛЕ И УЧЕТЕ

Контроль производства — система химических и физико-химических методов и приемов исследования, выполняемых с использованием лабораторных приборов и оборудования, которые позволяют устанавливать оптимальные технологические параметры и определять их фактические значения на всех стадиях производственного процесса.

Учет производства — метод составления баланса и расчета количества сырья, полупродуктов и продуктов на отдельных участках технологического процесса и по заводу в целом.

Для осуществления технологического контроля и учета производства требуется умение определять содержание в свекле и полупродуктах сахара, сухих веществ, несахаров, влаги; цветность и другие показатели сахарного производства.

Практический контроль и учет производства осуществляет лаборатория сахарного завода в определенном порядке в соответствии с Инструкцией по химико-технологическому контролю и учету сахарного производства.

Систематический и объективный контроль производства позволяет установить нарушения заданного технологического режима и своевременно их устранить.

Лица, осуществляющие химико-технологический контроль производства сахара, должны владеть современными химическими и физико-химическими методами анализа и уметь пользоваться приборами, применяющимися в лаборатории сахарного завода.

На свеклосахарных заводах кроме заводской химической лаборатории имеются сырьевая лаборатория и лаборатория химического контроля в ТЭЦ. Задачей сырьевой лаборатории является учет количества свеклы, принятой от поставщиков, и определение ее качества, укладка в кагаты, контроль за состоянием свеклы при хранении, учет количества свеклы принятой, заложенной на хранение и сданной в переработку.

Химическая лаборатория в ТЭЦ контролирует качество питательной воды и конденсатов с выпарки, применяемых для получения пара.

Массовый метод

Метод основан на высушивании навески исследуемого вещества до постоянной массы. Разница, полученная при взвешивании образца до и после высушивания, дает величину истинного содержания сухих веществ и влаги в образце.

Существует несколько вариантов данного метода.

Высушивание с песком. Предварительно взвешивают сухой стаканчик с крупнозернистым, хорошо промытым и прокаленным песком и стеклянной палочкой, затем берут навеску 2—3 г исследуемого жидкого продукта (например, мелассы), добавляют немного горячей воды, перемешивают палочкой и сушат 2—3 ч в вакуум-сушилке при 100°C до постоянной массы. Если нет вакуум-сушилки, то пользуются сушильным шкафом с автоматическим регулированием температуры. В этом случае высушивание проводят при температуре 105°C.

Высушивание с бумажными роликами. При высушивании жидких продуктов с бумажными роликами значительно увеличивается поверхность испарения и ускоряется процесс высушивания. Нарезают полоски фильтровальной бумаги длиной 500—600 и шириной 12—15 мм. Полоски свертывают в ролики. В ранее взвешенный стаканчик помещают три ролика и сушат 2—3 ч в условиях, принятых для анализа, затем взвешивают. Удалив ролики, берут навеску продукта 2—3 г, прибавляют немного горячей воды для разбавления продукта и помещают ролики в стаканчик. Высушивание до постоянной массы ведут около 3 ч.

Содержание сухих веществ вычисляют по формуле $СВ = (M_2 - M_1) \cdot 100 : M_1$, где M — масса (навеска) исследуемого продукта, г; M_1 — масса стаканчика с высушенными роликами (или песком), г; M_2 — масса стаканчика с роликами (или песком) и продуктом после высушивания, г.

Для определения содержания влаги в образце (например, в белом сахаре) около 10 г сахара помещают в сухой тарированный стаканчик с крышкой и взвешивают на аналитических весах. Стаканчик с сахаром помещают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы. Высушивание начинают при 50°C и постепенно повышают температуру до 105°C. Перед взвешиванием стаканчик с сахаром закрывают крышкой и охлаждают в эксикаторе. Проба считается высушенной до постоянной массы, если разница между двумя последними взвешиваниями не превышает 1 мг.

В лабораторной практике применяют также более быстрый способ определения содержания влаги в белом сахаре. По этому способу пробу сахара около 10 г помещают в тарированный стаканчик диаметром 50, высотой 30 мм и взвешивают на аналитических весах. Во время взвешивания стаканчик закрывают шлифованной крышкой. Для высушивания крышку снимают и стаканчик с саха-

ром помещают в сушильный шкаф, нагретый до 135°C , на 15—17 мин. Остальные операции проводят в том же порядке.

Влажность сахара W вычисляют по формуле $W = (A - a) \cdot 100 : M_1$, где A — масса стаканчика с сахаром до высушивания, г; a — масса стаканчика с сахаром после высушивания, г; M_1 — масса (навеска) анализируемого сахара, г.

Рефрактометрический метод

Рефрактометрический метод определения содержания сухих веществ основан на зависимости между показателем преломления и

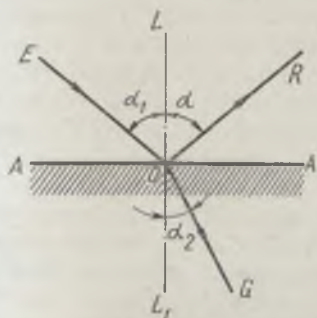


Рис. 51. Преломление и отражение света.

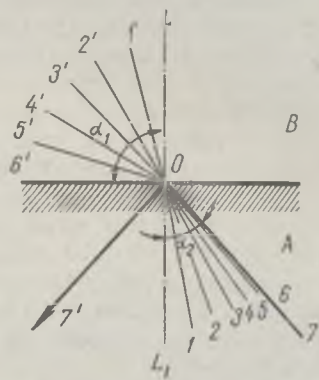


Рис. 52. Переход лучей из более плотной среды А в менее плотную среду В.

плотностью исследуемого вещества. Эта зависимость выражается следующим уравнением: $n = pd + 1$, где n — коэффициент, или показатель, преломления; p — светопреломляющая способность; d — плотность вещества.

Величина коэффициента преломления зависит от температуры и длины волны светового луча. Зависимость от температуры выражается уравнением $n_t = n_0 - 0,412573t - 0,051929t^2$.

В технике показатель преломления определяют для желтого света D-луча натрия. Показателем, или коэффициентом, преломления называют отношение синуса угла падения луча на поверхность среды, преломляющей свет, к синусу угла преломления этого луча в данной среде ($n = \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1$) или же отношение скоростей распространения световых колебаний при переходе луча из одной среды в другую.

Показатель преломления не зависит от величины угла, под которым мы направляем луч света, и является одной из характерных констант вещества. По показателю преломления растворов можно определить концентрацию растворенного вещества, так как с уве-

личением плотности раствора увеличивается показатель преломления.

Если луч света падает из менее плотной среды в более плотную, то угол преломления луча всегда будет меньше угла его падения на поверхность раздела. Когда луч света E (рис. 51) падает из пустоты на поверхность какого-нибудь тела AA , то он частично отражается от этой поверхности $R(\alpha)$ и частично преломляется при входе внутрь среды $G(\alpha_2)$.

В тех случаях, когда луч света поступает из более плотной среды с показателем преломления n в менее плотную среду (не пустоту) с показателем преломления n_1 , угол преломления луча в этой среде α_2 будет больше угла падения луча α_1 .

Предположим, что мы постепенно увеличиваем угол падения луча, т. е. увеличиваем угол между лучом, падающим из более плотной среды, и перпендикуляром LL_1 (рис. 52). Положению 1 падающего луча соответствует преломленный луч $1'$; положению 2 — преломленный луч $2'$ и т. д. При положении луча 6 преломленный луч уже образует с перпендикуляром угол, равный 90° , т. е. этот луч скользит по поверхности раздела двух сред. Угол падения луча α_2 , при котором преломленный луч образует угол 90° , называется предельным углом полного внутреннего отражения. Для этого положения луча мы имеем $\sin \alpha_2 / \sin 90^\circ = n_1 / n_2$ или $n_1 / n_2 = \sin \alpha_2$, где α_2 в данном случае является предельным углом полного внутреннего отражения. Дальнейшее увеличение угла падения луча приведет к полному отражению его от поверхности раздела двух сред (положения 7 и 7').

Следовательно, лучи света, падающие на поверхность раздела двух сред под углом меньше предельного угла полного внутреннего отражения, пройдут через вторую (менее плотную) среду, а лучи, падающие под углом больше предельного, будут отражены от поверхности раздела и через вторую среду не пройдут.

Эти законы преломления и отражения луча положены в основу конструкции рефрактометров — приборов для определения содержания сухих веществ в растворах. Получающаяся в приборе картина отражает концентрацию СВ. Предельный угол падения, при котором преломленный луч образует угол 90° , будет соответствовать положению границы между освещенным и затемненным полем рефрактометра. Если свет падает, например, из призмы рефрактометра с известным показателем преломления n_2 , то по величине предельного угла полного внутреннего отражения α_2 можно вычислить показатель преломления исследуемой среды $n_1 = n_2 \sin \alpha_2$. По величине n_1 находят плотность d или соответствующую ей концентрацию СВ в растворе.

Шкала рефрактометра пищевого лабораторного РПЛ-3 (рис. 53), предназначенного для определения содержания сухих веществ в продуктах сахарного производства, градуирована по раствору чистой сахарозы, поэтому при анализе продуктов производства, содержащих кроме сахара другие растворимые вещества, мы получаем не истинные, а видимые сухие вещества. Чем

чище продукт, т. е. чем выше его доброкачественность, тем ближе значения видимых и истинных сухих веществ.

Для определения содержания сухих веществ в растворе 2—3 капли его наносят на нижнюю призму 2 рефрактометра и опускают верхнюю откидную призму 3. Для нанесения раствора на призму пользуются стеклянной палочкой с оплавленным концом. Если исследуемый раствор не сильно окрашен, то свет при помощи осветителя направляют через верхнее отверстие на верхнюю призму при закрытом нижнем отверстии. При исследовании сильно окрашенных растворов свет следует направлять через нижнее отверстие, а измерение проводить при закрытом верхнем отверстии.

Передвигая окуляр 6 из крайнего нижнего положения вверх, наблюдают появление в поле зрения границы света и тени. Если эта граница пестро окрашена, то передвижением компенсатора достигают четкой границы света и тени. Затем совмещают границу света и тени с указателем, находящимся в поле зрения и имеющим вид круга с крестиком или пунктирной линии. Линия раздела света и тени, соответствующая предельному углу падения луча на поверхность исследуемой жидкости, должна точно совпадать с указателем.

На левой стороне шкалы 8 нанесены значения коэффициента преломления n_d в пределах от 1,300 до 1,540, а на первой стороне — процентное содержание сухих веществ от 0 до 95%, причем до 50% СВ деления нанесены через каждые 0,2%.

Так как величина коэффициента преломления зависит не только от концентрации раствора, но и от температуры, то определение содержания сухих веществ следует проводить при температуре 20°C (температура градуировки прибора).

Для поддержания постоянной температуры исследуемой жидкости через полые оправы призм пропускают в течение нескольких минут воду из термостата.

Если по какой-нибудь причине трудно поддержать точно температуру 20°C, то в показания рефрактометра вносят поправку (см. табл. II Приложений).

Призмы рефрактометра должны содержаться в чистоте. После каждого определения поверхность призм тщательно обмывают водой и насухо вытирают мягкой салфеткой. Нельзя вытирать призм

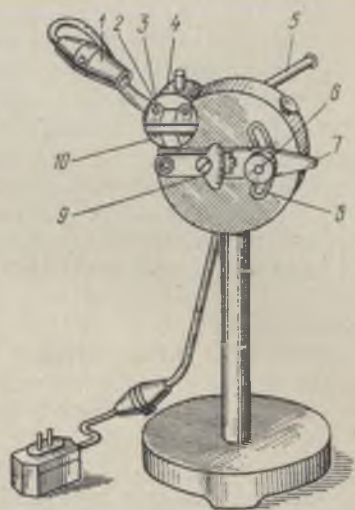


Рис. 53. Лабораторный рефрактометр РПЛ-3:

1 — осветитель; 2 — нижняя и 3 — верхняя призмы; 4 — верхнее осветительное отверстие; 5 — термометр; 6 — окуляр; 7 — рычажок окуляра; 8 — шкала отсчета; 9 — рычажок компенсатора; 10 — нижнее осветительное отверстие.

мы фильтровальной бумагой, полотенцем и т. п., так как при этом можно поцарапать поверхность призм.

Необходимо систематически проверять показания рефрактометра. Проверку производят при помощи дистиллированной воды: 2—3 капли воды помещают между призмами рефрактометра и проверяют нулевую точку при 20°C.

Если граница между светом и тенью, совмещенная с пунктирной линией, не совпадает с нулем шкалы, то с помощью ключа ее устанавливают в нулевое положение.

Рефрактометр дисперсионный универсальный РДУ позволяет определять коэффициенты преломления в очень широких пределах (от 1,3 до 1,7). Между призмами помещается слой исследуемой жидкости толщиной 0,15 мм. Призмы окружены рубашкой, через которую при измерении пропускают воду из термостата (20°C). Вращая призмы вокруг оси, при помощи системы (алидады), к которой прикреплена лупа, смотрят в трубу и устанавливают границу между светом и тенью через точку пересечения двух нитей.

Четкую границу между светом и тенью устанавливают при помощи винта, который служит для передвижения призмы, компенсирующей хроматическое светорассеяние.

Затем при помощи лупы находят на шкале коэффициент преломления исследуемого раствора.

Свет в призмы направляют зеркалом. Рефрактометр снабжен термометром, по показаниям которого контролируют температуру во время опыта.

Призмы изготовлены из мягкого стекла (показатель преломления 1,75), поэтому их нужно промывать и обтирать осторожно, пользуясь мягкими тканями.

Рефрактометр прецизионный РПП может работать в проходящем и отраженном свете и дает точность показаний до 0,03% сухих веществ при постоянной температуре. Концентрация исследуемых растворов не должна быть выше 30%.

Рефрактометр имеет условную шкалу на 100 делений. Пользуясь таблицей, по показанию шкалы находят содержание сухих веществ (в %). Температуру 20°C при измерениях поддерживают, пропуская через кожух призм воду из термостата. При небольших отклонениях от этой температуры нужно, пользуясь таблицей, внести соответствующие поправки.

Для определения содержания сухих веществ между призмами помещают 1—2 капли исследуемого раствора и наблюдают через окуляр поля зрения. Вращением кольца компенсатора добиваются четкой линии раздела между светом и тенью и определяют ее положение на шкале. Если линия раздела находится между двумя какими-либо делениями шкалы, например 37 и 38, то при помощи отсчетного барабана доводят линию раздела точно до ближайшего нижнего деления шкалы, т. е. в данном примере до деления 37. Затем снимают показания на барабане и по таблице находят содержание сухих веществ.

Качественное определение сахарозы

Существует несколько методов качественного определения сахарозы.

В сахарной промышленности широко используется метод, основанный на применении 5%-ного спиртового раствора α -нафтола и концентрированной сульфатной кислоты плотностью 1,84. При добавлении кислоты к водному раствору сахара образуется оксиметилфурфурол, который с α -нафтолом дает соединение, окрашенное в фиолетово-красный цвет.

Эта реакция проходит также в присутствии других сахаров (глюкозы, фруктозы, мальтозы и др.).

Для определения к 1 мл исследуемого раствора прибавляют несколько капель спиртового раствора α -нафтола и 1 мл концентрированной сульфатной кислоты. Кислоту наливают осторожно по наклонной стенке пробирки. При этом образуются два слоя: кислота как более тяжелая — на дне пробирки, а исследуемый раствор — сверху.

В присутствии сахарозы на границе этих двух слоев получается фиолетово-красное кольцо.

При содержании очень малого количества сахара в растворе кольцо окрашено в розовый цвет.

Реакция эта очень чувствительна (можно обнаружить сахар при концентрации его в растворе до 0,00001%), поэтому рекомендуется предварительно выполнить глухой опыт с дистиллированной водой.

В последнее время предложен еще один способ качественного определения сахарозы в растворе при помощи камфары, представляющий интерес для работников сахарной промышленности. К 1 мл предварительно охлажденного исследуемого раствора, содержащего сахарозу, добавляют 1,0—1,5 мл 1%-ного раствора камфары в сульфатной кислоте. Сам по себе раствор камфары имеет бледно-желтую окраску. В присутствии сахарозы образуется окрашенное кольцо.

При встряхивании содержимого пробирки весь раствор окрашивается, причем интенсивность окраски зависит от концентрации сахара: при концентрациях от 0,01 до 0,1% она меняется от розово-красного до бордово-красного, при концентрации 0,001% цвет раствора желто-оранжевый.

Качественное определение сахарозы применяется для контроля конденсатов, поступающих на питание паровых котлов, аммиачных и барометрических вод. Особенно тщательно необходимо контролировать воду, поступающую на питание паровых котлов. Пробы воды отбирают из сборников конденсатов и из центрального сборника питательной воды.

Если в воде какого-либо сборника обнаружен сахар, то нужно установить, с какой поверхности нагрева поступает такой конденсат, и устранить причину попадания сахара.

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

В практике сахарной промышленности для количественного определения сахарозы в сырье, полупродуктах и отходах производства применяют главным образом поляриметрический метод. Этот метод основан на свойстве ее растворов проявлять оптическую активность.

Сахароза, как и многие другие вещества, способна вращать плоскость поляризации поляризованного света. Некоторые вещества в растворе, в том числе сахароза, глюкоза, рафиноза и др., вращают плоскость поляризации вправо и называются правовращающими веществами. Имеются оптически активные вещества, вращающие плоскость поляризации влево (например, фруктоза и инвертный сахар); они называются левовращающими веществами.

Свойством вращать плоскость поляризации поляризованного света обладают многие неорганические и органические вещества, и оно присуще всем трем агрегатным состояниям вещества: твердому (например, кварц), жидкому (водный раствор сахарозы) и газообразному (пары терпентинного масла).

Исследования Пастера, Вант-Гоффа, Лебеля показали, что оптическая активность органических соединений зависит от пространственного расположения атомов или групп атомов в их молекулах. Все оптически активные соединения имеют асимметричные молекулы. Причиной асимметрии является присутствие в соединениях одного или нескольких асимметричных атомов углерода, т. е. таких, у которых все 4 единицы сродства насыщены различными одновалентными атомами или группами.

Оптическая активность веществ характеризуется величиной так называемого удельного вращения. Удельным вращением называют угол поворота плоскости поляризации слоем раствора сахарозы толщиной 100 мм (1 дм) при концентрации ее 100 г в 100 мл.

Удельное вращение оптически активного вещества в растворе выражается формулой $[\alpha]_D^{20} = (100\alpha)/(Cl)$, где $[\alpha]_D^{20}$ — вращение, измеренное при 20°C и при D -лучах желтого света; α — наблюдаемый угол поворота плоскости поляризации; C — концентрация оптически активного вещества в растворе, г на 100 мл; l — длина трубки (толщина слоя раствора), м.

Для количественного определения сахара в растворе пользуются оптическим прибором, который называется поляриметром. В сахарной промышленности пользуются поляриметрами, у которых установлена не круговая, а линейная эмпирическая шкала, градуированная по сахарозе. 100 делений такой шкалы соответствуют 34,58° круговой шкалы. Поляриметры с линейной шкалой называют сахариметрами. Для того чтобы вычислить удельное вращение оптически активного вещества по показаниям линейной шкалы, пользуются формулой $[\alpha]_D^{20} = 34,58n/(Cl)$, где n — показание линейной шкалы сахариметра.

Зная удельное вращение вещества и длину поляриметрической трубки, можно определить концентрацию оптически активного вещества в растворе: $C = 34,58 n/[\alpha]_D^{20} l$.

Например, концентрация сахарозы в растворе при условии, что показание линейной шкалы поляриметра равно 38,5 при длине трубки 200 мм, составит $C = (34,58 \cdot 38,5) / (66,5 \cdot 2) = 10,01$ г на 100 мл.

С помощью поляриметра можно найти также значение удельного вращения неизвестного оптически активного вещества в растворе.

Например, удельное вращение оптически активного вещества, если показание линейной шкалы сахариметра $n = 30,4$ при концентрации раствора $C = 10$ г на 100 мл и длине трубки $l = 200$ мм, равно $[\alpha]^{20}_D = (34,58 \cdot 30,4) / (10 \cdot 2) = 52,5^\circ$, следовательно, оптически активным веществом является глюкоза.

Устройство поляриметра основано на способности определенных веществ (в частности, исландского шпата) превращать естествен-

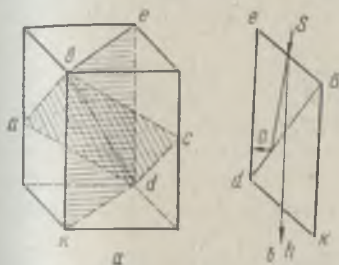


Рис. 54. Призма Николя (а) и поляризация в ней луча (б).

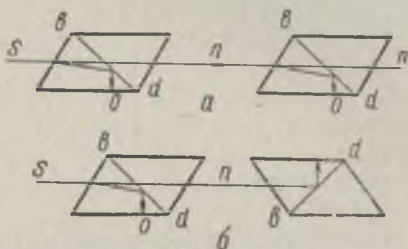


Рис. 55. Схема хода лучей при взаимнопараллельном (а) и взаимноперпендикулярном (б) расположении призм Николя.

ный луч (т. е. луч, электромагнитные колебания которого происходят во всевозможных плоскостях, перпендикулярных к направлению луча) в поляризованный, в котором колебания происходят только в одной плоскости. Это достигается в результате двойного лучепреломления. Луч света, проходя через кристалл исландского шпата, полностью поляризуется и разделяется: один из лучей имеет коэффициент преломления 1,658 и называется обыкновенным, а другой имеет коэффициент преломления 1,486 и называется необыкновенным. Световые колебания этих лучей при выходе из кристалла находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Чтобы создать условия, при которых из кристалла выходил бы только один из поляризованных лучей, используют призмы Николя. Для их изготовления из естественного кристалла исландского шпата вырезают призму, затем эту призму разрезают на две части по плоскости $abcd$ (рис. 54) и вновь склеивают канадским бальзамом или полимеризованным льняным маслом. Склеивающий материал должен быть прозрачным, а его коэффициент преломления меньше, чем у исландского шпата. Обыкновенный луч, коэффициент преломления которого в кристалле больше, чем у необыкновен-

венного луча, при поступлении из кристалла в канадский бальзам полностью отражается и поглощается зачерненной боковой поверхностью кристалла (луч SO). Выходит из призмы Николя только необыкновенный луч, световые колебания которого совпадают с плоскостью главного сечения призмы $bedk$ (луч Sh).

Простейший поляриметр состоит из двух последовательно расположенных призм Николя. Первая призма, куда поступает естественный свет от источника, называется поляризатором, а вторая — анализатором. Если расположить эти призмы так, чтобы плоскости их главных сечений совпадали, то световые колебания лучей, выходящих из первой призмы, совпадут с колебаниями света во второй призме, и свет пройдет через вторую призму. Если же плоскости главных сечений поляризатора и анализатора будут взаимно перпендикулярны, то и световые колебания лучей в этих призмах будут также взаимно перпендикулярны, и свет через вторую призму (анализатор) вовсе не пойдет.

На рис. 55 показан схематический ход лучей при взаимно параллельном и взаимно перпендикулярном расположении плоскостей главных сечений двух призм Николя. Линия bd соответствует плоскости склеивания призм. При любом ином расположении плоскостей главных сечений поляризатора и анализатора интенсивность света, выходящего из анализатора, будет тем меньше, чем ближе угол к 90° .

Теперь между поляризатором и анализатором при взаимно перпендикулярном расположении плоскостей главных сечений ($\alpha = 90^\circ$) поместим трубку, заполненную сахарным раствором. Так как раствор, в который поступил свет из поляризатора, повернет его плоскость поляризации, то эта плоскость уже образует с плоскостью главного сечения анализатора иной угол, свет пройдет через анализатор и будет виден наблюдателю. Интенсивность освещенности поля будет зависеть от концентрации сахара в растворе и толщины слоя, т. е. от величины угла поворота плоскости поляризации луча.

Для того чтобы определить величину угла поворота плоскости поляризации, произведенного сахарным раствором, нужно повернуть анализатор влево на такой же угол, т. е. установить его на полную темноту поля.

В простейших поляриметрах анализатор связан с указателем, скользящим по круговой шкале. По этой шкале и отсчитывают величину угла поворота анализатора, необходимую для компенсации вращения, произведенного раствором сахара.

Зная величину угла поворота (например, α') и длину трубки l , находят концентрацию сахара в растворе (в г на 100 мл): $C = (100\alpha')/[\alpha]_D l = (100\alpha')/(66,5l)$.

Описанный выше поляриметр имеет существенные недостатки и не дает достаточно точных результатов, так как глаз человека не может четко отличить полную темноту от очень слабого света. Значительно легче различить разницу в интенсивности освещения двух рядом расположенных слабо освещенных плоскостей.

В настоящее время применяют полутеневые приборы, в которых анализатор установлен по отношению к полутени. Когда между поляризатором и анализатором ставят трубку с раствором оптически активного вещества, одна половина поля получается более освещенной, чем другая. Для измерения концентрации вещества в растворе освещенность обеих половин поля зрения выравнивают.

Широко распространены сахариметры, в которых для создания полутени, т. е. слабой освещенности поля при нулевом положении шкалы, применяют поляризатор, состоящий из двух призм Николя — большой (P) и малой (p). Эти призмы (рис. 56) расположены так, что малая призма закрывает собой половину большой призмы, что и делит поле на две половины. Кроме того, малую призму устанавливают с таким расчетом, чтобы плоскость главного сече-

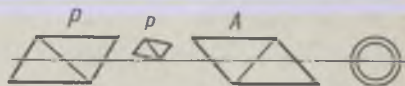


Рис. 56. Принципиальная схема полутеневого поляриметра.

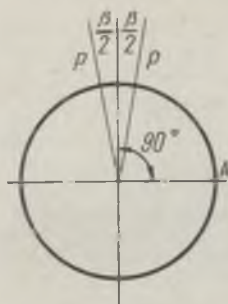


Рис. 57. Схема взаимного расположения плоскостей главных сечений поляризатора P и анализатора A при нулевом положении шкалы поляриметра.

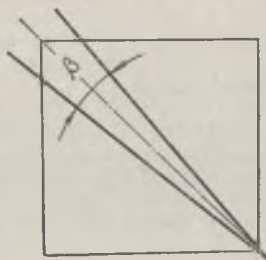


Рис. 58. Призма Корню.

ния ее составляла с плоскостью главного сечения большой призмы поляризатора небольшой угол ($\beta = 5 \div 10^\circ$). Для создания слабой одинаковой освещенности обеих половин поля анализатор A устанавливают так, чтобы плоскость его главного сечения образовала угол 90° с биссектрисой угла между плоскостями главных сечений большой и малой призм поляризатора. На рис. 57 показано взаимное расположение в поляриметре плоскостей главных сечений большой P и малой p призм поляризатора и анализатора A при нулевом положении шкалы поляриметра.

Имеются также полутеневые поляриметры с тройным полем зрения. В таких поляриметрах поляризатор состоит из трех призм

... одной большой и двух малых, закрывающих два боковых сегмента поля зрения.

Для создания полутеневого поляриметра можно также иметь поляризатор, состоящий из одной призмы. В этом случае можно, например, применить призму Корню. Для этой цели призму Николя разрезают вдоль по малой диагонали на две части. Из каждой половины вырезают клин с углом $2,5^\circ$ и вновь склеивают (рис. 58). Полученная призма представляет собой как бы две призмы Николя, плоскости главных сечений которых расположены под углом $\beta = 5^\circ$.

Если установить анализатор так, чтобы плоскость его главного сечения образовала угол 90° с линией, делящей пополам угол β поляризатора, то обе половины поля, так же как и в поляриметре, описанном выше, будут освещены слабо, но с одинаковой интенсивностью. Чтобы компенсировать вращение плоскости поляризации, произведенное раствором оптически активного вещества, сахариметры снабжают кварцевыми компенсаторами (право- и левовращающими) определенной толщины.

Представим себе, что между поляризатором и анализатором помещены два кварцевых клина: один правовращающий, а другой левовращающий. Если эти клинья установлены так, что толщина слоя левовращающего кварца равна толщине слоя правовращающего кварца, то вращательная способность их будет равна нулю. Такое положение клиньев и соответствует нулевому положению линейной шкалы. При перемещении большого клина, изготовленного из левовращающего кварца, в сторону увеличения толщины слоя компенсируется действие левовращающего оптически активного вещества (например, раствора сахарозы). Если же уменьшить слой этого кварца, перемещая большой клин в обратную сторону, то можно компенсировать вращение, произведенное раствором левовращающего оптически активного вещества, например инвертного сахара.

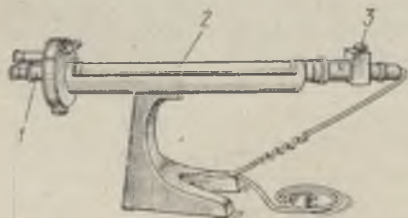


Рис. 59. Сахариметр универсальный СУ-3:

1 — анализатор; 2 — трубка; 3 — поляризатор.

На сахарных заводах СССР широко применяется сахариметр универсальный СУ-3 (рис. 59) с одинарным компенсатором, состоящим из одной пары кварцевых клиньев и одного стеклянного контрклина.

Пределы измерений в градусах Международной сахарной шкалы от -40 до $+110^\circ$.

Чувствительность прибора $0,05^\circ\text{S}$.

Погрешность измерения $\pm 0,1^\circ\text{S}$.

100° Международной сахарной шкалы соответствуют $34,62$ круговым градусам поляриметра. Сахариметр показывает 100° , когда поляризует при 20°C в поляриметрической трубке длиной 200 мм раствор, содержащий 26 г химически чистой сахарозы в 100 мл. Следовательно, если взвесить 26 г продукта, содержащего сахарозу, и растворить в таком количестве воды, чтобы объем раствора был равен 100 мл, то число на шкале показывает процент сахарозы в исследуемом продукте.

Работе на сахариметре СУ-3 в какой-то степени субъективность наблюдения, обусловленная состоянием следователя. В настоящее время выпускается фотоэлектрический сахариметр системы Кудрявцева, который автоматически компенсирует вращение плоскости поляризации раствором и дает объективное показание содержания сахара в растворе.

В этом сахариметре роль поляризатора и анализатора играют поляроиды, установленные в положение «накрест». Прибор настраивается не на полутень, а на минимум прохождения света через анализатор. Основная же схема сахариметра Кудрявцева принципиально не отличается от схемы полутеневого сахариметра.

Продукты сахарного производства перед поляриметрическими определениями необходимо осветлять, так как сильное окрашивание и мутность продуктов затрудняют их анализ.

В качестве осветлителей применяют раствор основной уксусно-свинцовой соли (свинцовый уксус) — $2\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, получаемый растворением PbO в растворе уксусно-свинцовой соли — $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Под действием свинцового уксуса осаждаются белки, сапонины, красящие вещества, ряд органических кислот и др.

Для поляризации темноокрашенных продуктов применяют основной азотнокислый свинец, состоящий из двух эквимолекулярных растворов: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и NaOH . Сначала прибавляют свинцовый раствор, а затем, после перемешивания, добавляют одинаковый объем едкого натра. Основная свинцовая соль образуется в осветляемом растворе, что усиливает ее осветляющий эффект. Преимуществом этого реактива является то, что в осадок переводится практически весь свинец из раствора.

Для определения инвертного сахара применяют свинцовый сахар, представляющий собой раствор нейтральной уксусно-свинцовой соли. Этот осветлитель не осаждает инвертный сахар, хотя действует значительно слабее, чем раствор основной уксусно-свинцовой соли.

ОБЪЕМНО-ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Для упрощения анализа диффузионного, сатурационного и других соков исключают отвешивание навески и применяют объемный способ. Для этого в колбу с двумя метками 100/110 или 50/55 мл доливают до первой метки анализируемый сок, затем добавляют осветлитель и доводят водой до второй метки. После фильтрации фильтрат поляризуют.

Содержание сахара в соке C определяют по формуле $C = (P \cdot 26,0 \cdot 1,1) / (100d^{20})$, где P — показание поляриметра; d^{20} — плотность сока, зависящая от содержания в нем сухих веществ.

Для облегчения вычислений составлены специальные таблицы, которые позволяют определять содержание сахара в растворе по величине поляризации P .

Наличие в продуктах свеклосахарного производства оптически активных несахаров (инвертного сахара, аминокислот, оксикислот, рафинозы) дает некоторую ошибку при поляриметрическом определении сахарозы. Эти ошибки ощутимы при анализе продуктов с низкой доброкачественностью, например мелассы. Чтобы исключить влияние несахаров, применяют метод инверсионной поляризации. Он основан на способности сахарозы под действием кислот превращаться в эквимолекулярную смесь глюкозы и фруктозы, имеющую левое вращение (инвертный сахар).

Инверсионную поляризацию определяют следующим образом. Нормальную навеску сахарозы (26,0 г) переводят в колбу на 100 мл, растворяют в воде, осветляют свинцовым уксусом, доводят водой до метки, фильтруют и поляризуют в трубке 200 мм (прямая поляризация P); 50 мл фильтрата (соответствующие полунормальной навеске 13,0 г) помещают в колбу на 100 мл, приливая 25 мл дистиллята, 5 мл концентрированной HCl плотностью 1,19, перемешивают и помещают в колбу с термометром внутри в водяную баню. Поддерживая температуру в бане приблизительно 70°C , доводят температуру жидкости в колбе в течение 2,5 мин до 67°C ; выдерживают температуру $67\text{—}70^\circ\text{C}$ точно в течение 5 мин и быстро (2,5 мин) охлаждают колбу до 20°C (все операции необходимо закончить за 10 мин); доливают колбу дистиллятом до 100 мл, споласкивая термометр, и раствор поляризуют в трубке 200 мм (левое вращение) при 20°C . Удвоенное показание поляриметра дает инверсионную поляризацию (абсолютная величина левой поляризации J). Удвоение необходимо, так как взята половина нормальной навески в 100 мл.

Результаты определения подставляют в формулу $C = 100(P + J)/(143,0 - 0,5 t)$, где $(143,0 - 0,5 t)$ — величина изменения вращения раствора сахарозы в зависимости от температуры (при 20°C вращение плоскости поляризации 100%-ным раствором сахарозы составляет $133,3^\circ$).

При вычислении содержания сахарозы возможны три случая: $C = P$, $C > P$, $C < P$. При $C = P$ исследуемый раствор содержит одну сахарозу; при $C > P$ (т. е. $C - P = J$) раствор содержит, кроме сахарозы, левовращающие вещества, которые принимают за инвертный сахар.

Когда $C > P$, т. е. нет оптически активных примесей, кроме инвертного сахара, можно вычислить его количество. Величина $C - P$ выражает левое вращение инвертного сахара, а 26,0 г сахарозы после инверсии при 20°C дают левое вращение $-32,66^\circ$. Но после инверсии 26,0 г сахарозы (молекулярная масса 342) дают глюкозу и фруктозу с суммой молекулярных масс 360. Поэтому количество инвертного сахара равно $26,0 \cdot 360 : 342 = 27,4$ г, т. е. больше, чем нормальная навеска. Нормальная же навеска инвертного сахара должна дать по сахарной шкале показание $-32,66 - 26,0 : 27,4 = -31,03$. Следовательно, если бы в растворе имелось только 26,0 г инвертного сахара, поляризация его была бы $-31,03$. В данном случае поляризация составляет лишь $C - P$. Поэтому количество инвертного сахара (в %) определяется из формулы $J = (C - P) \cdot 100 : 31,03$.

В случае, когда $C < P$, раствор содержит, кроме другие праворащающие вещества, которые принимают нозу. Тогда содержание сахарозы следует определить второй специальной формуле Дамюллера: $C = (0,5124P + 4) : 0,8390$. Разница между прямой поляризацией и количеством сахарозы, вычисленной по формуле Дамюллера, не больше 0,5, то считается, что рафиноза в анализируемом продукте отсутствует.

Для определения содержания сахарозы в мелассе две нормальные навески мелассы (52,0 г) переводят в колбы на 200 мл, прибавляют по 20 мл реактивов Герлеса I и II и доливают до метки дистиллятом; содержимое взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке 200 мм при 20°C — получают поляризацию до инверсии P . В колбу на 100 мл отмеривают пипеткой 50 мл фильтрата, соответствующих полунормальной навеске сахарозы (13,0 г), приливают 30 мл концентрированной HCl (или 170 мл HCl плотностью 1,188) и после перемешивания погружают колбу с термометром в водяную баню, нагретую до 75—80°C. Температуру внутри колбы доводят за 2,5 мин до 67°C, затем точно в течение 5 мин поддерживают температуру содержимого колбы в пределах 67—69°C. По истечении указанного времени колбу быстро охлаждают до 20°C. Весь процесс должен занять не более 10 мин.

Раствор в колбе доводят водой до метки, прибавляют для осветления 0,5 г активного угля или цинковой пыли, взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке 200 мм точно при 20°C. Показание поляриметра удваивают и получают, таким образом, поляризацию после инверсии J . Количество сахарозы определяют расчетом.

Глава XXII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ САХАРОЗЫ В СВЕКЛЕ, ПОЛУПРОДУКТАХ И ПРОДУКТАХ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Отбор средней пробы

Свеклу как сырье анализируют многократно и с различной целью: во время ее роста для контроля накопления сахара; при приемке свеклы от сдатчика с направлением свеклы в кагаты на хранение или в переработку; при перевозке с приемных пунктов на завод и перед переработкой.

Контроль качества свеклы и учет потерь сахара при хранении в кагатах производят путем сравнения результатов исследований ее до и после хранения. Применяют метод закладки контрольных проб свеклы в сетки, изготовленные из просмоленного шпагата или капроновых ниток. Для этого отобранную общую пробу свеклы делят на две отдельные пробы. Одну пробу немедленно анализируют, другую очищают от примесей, взвешивают, в сетке закладывают в кагат (по несколько сеток в кагат). Перед переработкой свеклы сетки вынимают из кагата, взвешивают, определяют качество корней и содержание сахара. Сравнивая результаты анализов свеклы при укладке в кагаты и свеклы из контрольных сеток, определяют потери массы и сахара.

Отбор средней пробы является одной из важнейших операций, так как самое точное исследование пробы не являющейся средней, будет ошибочным. Проба свеклы должна представлять всю массу анализируемого сырья и состоять не менее чем из сорока корней, чтобы сгладилось влияние колебаний в их составе. При этом следят, чтобы процентный состав корней различной величины в пробе соответствовал примерно соотношению их во всей массе свеклы, из которой отбирается проба, так как содержание сахара в свекле зависит от величины, и, следовательно, массы корня. Близкие по форме и размерам корни могут различаться по содержанию сахара на 0,5—1,0%.

Отобранную среднюю пробу свеклы измельчают различными способами. Иногда для этой цели используют обычную терку (400×200 мм). Для анализа истирают только половинки корней пробы. Учитывая неравномерность распределения сахара в свекле, измельчают половинку корня вдоль, чтобы захватить половинку головки, средней части и хвостика свеклы. Для механизации процесса измельчения используют также механическую терку, представляющую собой вращающуюся стальную фрезу, которая вырезает из свеклы вдоль всего корня бороздку. Из корня берут небольшую пробу для определения сахаристости, главную же массу корня сохраняют для высадки на семена. Для этой цели вырезают из корня наискось небольшой цилиндр («свечу») диаметром 18 мм, который по составу соответствует целому корню. «Свечу» превращают в «шлифованную» кашку путем продавливания через тонкое стальное сито, служащее дном цилиндра, поршнем. В «шлифованной» кашке все клетки свеклы разорваны и сахар из нее легко извлекается без нагрева, холодной водой.

Важным является также отбор пробы свекловичной стружки. Эта операция влияет на учет количества введенного в производство сахара и на определение его потерь в процессе производства.

Пробу стружки отбирают 6 раз в смену и исследуют на содержание сахара (6 раз) и на качество стружки (2 раза). По усмотрению главного технолога завода количество определений сахара в стружке может быть увеличено до восьми. При использовании непрерывнодействующих диффузионных аппаратов пробу отбирают с ленточного транспортера перед поступлением стружки в диффузионный аппарат. В момент отбора пробы поступление пара в свеклорезку или воды на транспортер стружки должно быть прекращено.

При наличии нескольких диффузионных аппаратов отбирают среднюю от всех аппаратов пробу свекловичной стружки.

Свекловичную стружку для анализа измельчают в мезгу машиной типа мясорубки, которая не сдавливает стружку, а только разрезает ее, не отжимая сока. Машина представляет собой горизонтальный чугунный цилиндр с крышкой, закрепленной на шарнирах. Внутри вращается барабан, на котором насажены по винтовой линии кулачки квадратного сечения. Кулачки вращаются между стальными плоскими ножами, установленными на планках, вкла-

дывающих в корпус машины. Загруженная в воронку стружка выходит в виде мезги из отверстия, расположенного в нижней неподвижной части корпуса.

При получении мезги теркой или машиной содержание сахара определяют после нагревания мезги. Если применяется холодный метод извлечения сахара при анализе, то грубую мезгу необходимо предварительно превратить в «шлифованную» на прессе или же приготовить мезгу в размельчителе тканей РТС-2.

Определение содержания сахара в свекле

Как известно, достоинство производственного метода исследования определяется двумя факторами — быстротой определения и технической точностью получаемых результатов.

Способы определения сахара в свекле поляриметрическим путем делятся на две группы: косвенные, основанные на получении сока и определении содержания в нем сахара, и прямые, основанные на непосредственном определении сахара в сырье.

Косвенные методы основаны на исследовании сока свеклы с последующим пересчетом содержания сахара в соке на свеклу. Для пересчета необходимо знать процент сока в свекле. Но состав сока и соковый коэффициент свеклы, являясь переменными факторами, не смогли гарантировать технически необходимую точность результатов анализа и более не применяются.

В настоящее время для определения количества сахара в свекле применяются исключительно прямые способы исследования, которые основаны на растворении сахара, заключенного в навеске свеклы, в воде или водном растворе спирта.

В зависимости от растворителя прямые способы разделяются на спиртовые и водные, а от способа растворения — на экстракцию и дигестию.

Спиртовая экстракция была предложена впервые Шайблером в 1878 г. Этот метод в настоящее время является контрольным — с ним сверяют результаты, полученные другими способами. Этот метод связан с большими затратами времени (3—4 ч).

Замена спирта водой при определении сахаристости свеклы явилась дальнейшим этапом в развитии поляриметрических способов определения сахара. Метод водной дигестии предложил Герлес и почти одновременно с ним Пелле, Крюгер и Сакс-Ледокт.

В современных методах водной дигестии учитывается поправка на объем мякоти нормальной навески свеклы и осадка осветлителя (Герлес, Пелле) или же поправка на объем сока, заключенного в нормальной навеске свеклы (Сакс-Ледокт).

В настоящее время наилучшим производственным методом определения сахара в свекле считают метод горячей водной дигестии Сакс-Ледокта и наилучшим контрольным — метод спиртовой экстракции Шайблера — Сокслета.

Растворы, полученные методом водной дигестии, при поляриметрии дают алгебранческую сумму вращения всех содержащихся в

них оптически активных веществ, а поэтому определяемое количество сахара в свекле не может быть безусловно точным.

При спиртовой экстракции количество правовращающих веществ почти всегда уменьшено из-за возможного осаждения части сахара в форме свинцового сахарата (при избытке осветлителя).

Метод спиртовой экстракции. Из нормальной навески свеклы сахароза экстрагируется 90%-ным спиртом в лабораторном экстракторе, который состоит из трех частей: внизу — мерная колба на 100 мл, в которой кипит спирт, колба помещена в кипящую водяную баню; сверху — обратный холодильник, в котором конденсируются пары спирта и спирт стекает обратно; средняя часть — экстрактор, в который помещают навеску. Экстрактор снизу закрыт. Пары спирта из колбы проходят по обводной трубке в холодильник. Спирт из холодильника собирается в экстракторе, заполняя сифон, соединенный с нижней частью экстрактора. Через сифон из экстрактора весь спирт перегоняется в мерную колбу. Темп испарения спирта регулируют таким образом, чтобы опорожнение экстрактора через сифон осуществлялось каждые 5 мин. При этом вся сахароза из навески свеклы постепенно экстрагируется и перемещается в мерную колбу.

Для анализа в нейзильберовую чашку отвешивают 26,0 г свежеловичной мезги, обливают ее 3 мл свинцового уксуса и перемешивают стеклянной палочкой, добавляя около 10 мл спирта. Затем все содержимое чашки переводят в экстрактор, обмывая чашку и палочку спиртом. Предварительно вход в сифонную трубочку из экстрактора закрывают стеклянной ватой или ситом, чтобы сифон не забило мезгой. Уровень мезги в экстракторе должен быть несколько ниже верхнего перегиба сифонной трубки. В нижнюю мерную колбу наливают такое количество спирта, чтобы всего получилось 75 мл вместе со спиртом, израсходованным на размешивание и перевод мезги в экстрактор. При действии сифона каждые 5 мин экстракция заканчивается через 2,5 ч.

Полноту извлечения сахара проверяют пробой на α -нафтол. Для этого разъединяют колбу и экстрактор и берут на палочку каплю стекающего из сифона спирта; смывают его в пробирку, смешивают с 2—3 каплями раствора α -нафтола и прибавляют концентрированную химически чистую сульфатную кислоту.

Если экстракция закончена, колбу охлаждают, доливают до метки 90%-ным спиртом, взбалтывают и фильтруют, закрывая воронку стеклом, чтобы избежать потерь спирта от испарения. С этой же целью воронку плотно вставляют в коническую колбу, куда и собирают фильтрат.

Фильтрат поляризуют в трубке 200 мм. Отсчет дает содержание сахара в свекле в процентах. Более точный результат получают при поляризации в трубке 400 мм при делении результата на 2.

Если была использована немерная колба, то по окончании экстракции ее содержимое переливают в обычную мерную колбу, обмывая экстракционную колбу спиртом, и затем доливают до метки.

Метод спиртовой экстракции имеет два преимущества. Сахар

навески свеклы растворяется в совершенно точном объеме, равном 100 мл, а все нерастворимые вещества остаются в экстракторе; в спиртовый раствор меньше переходит сахара, чем в водный раствор (например, арабан).

К недостаткам метода следует отнести его длительность, расход и летучесть спирта; при длительном нагревании под влиянием свинцового уксуса в спиртовом растворе имеют место изменения вращательной способности сахарозы.

Упрощенный метод горячей водной дигестии. Этот видоизмененный Герцфельдом метод холодной водной дигестии Сакс-Ледокта носит название метода горячей водной дигестии Сакс-Ледокта — Герцфельда, или метода Берлинского института сахарной промышленности. Этот метод более прост в выполнении. Сущность метода заключается в следующем.

К навеске 26,0 г свекловичной каши прибавляют столько воды, смешанной со свинцовым уксусом, чтобы общий объем воды и сока, содержащегося в навеске, составил 200 мл. Тогда к навеске в 26,0 г необходимо добавить не 200 мл воды, а 200 мл минус объем сока, содержащийся в 26,0 г каши.

Если принять соковый коэффициент каши 91%, то масса сока в навеске составит $26,0 \cdot 0,91 = 23,66$ г. При содержании сахара 17,0% и соковом коэффициенте 91% сахара в соке будет $17 : 0,91 = 18,68\%$. Если принять, что доброкачественность этого сока, несколько очищенного свинцовым уксусом, равна 89%, то СВ сока составят $18,68 : 0,89 = 21\%$ и соответственно масса 1 мл — 1,085 (по специальным таблицам). Объем, занимаемый 23,66 г сока, равен $23,66 : 1,085 = 21,8$ мл. Следовательно, к навеске 26,0 г нужно прибавить $200 - 21,8 = 178,2$ мл воды, чтобы объем составил 200 мл.

26,0 г каши отвешивают на технических весах в лодочке из нержавеющей стали, которую помещают в дигестионный сосуд диаметром 66 мм и высотой 130 мм. В сосуд добавляют из автоматической пипетки Сакс-Ледокта 178,2 мл разбавленного свинцового уксуса (25 мл свинцового уксуса или 3,5 г сухого осветлителя доводят дистиллятом до 1 л), закрывают сосуд крышкой с резиновой прокладкой, перемешивают содержимое горизонтальными круговыми движениями и помещают на 30 мин в термостат при 80°C или в водяную баню, нагретую до 85°C. Уровень воды должен покрывать цилиндрическую часть дигестионного сосуда. За период термостатирования сосуд дважды горизонтально взбалтывают. Опрокидывание и вертикальные встряхивания сосуда не разрешаются.

Через 30 мин сосуд помещают на 20 мин в термостат-холодильник с температурой 20°C или же охлаждают водопроводной водой; взбалтывают, фильтруют содержимое. Воронка и стаканчик для фильтрации должны быть сухими. Наполненная воронка должна закрываться часовым стеклом. Первые порции фильтрата выливают.

Поляриметрическая трубка 400 мм должна быть чистой и сухой. Перед заполнением трубку дважды ополаскивают испытуемым раствором. Показание поляриметра дает сахаристость свекловичной стружки в процентах к ее массе. Исследование проводят одно-

временно в двух параллельных навесках и двух сосудах для исключения ошибки при анализе.

Недостатком метода является то, что объем сока в нормальной навеске колеблется сильнее, чем поправочный объем нерастворимых веществ в обычном методе горячей водной дигестии (Пелле). Поэтому периодически этот метод сверяют путем параллельных определений с результатами обычного метода дигестии.

Горячая водная дигестия по методу Пелле. 26,0 г каши отвешивают на технических весах в нейзильберовой чашке и переводят в широкогорлую колбу Штифта для дигестии на 201,5 мл. Приливают 7 мл свинцового уксуса или 2,4 г сухого осветлителя и холодного дистиллята до $\frac{3}{4}$ ее объема. Колбу помещают в кипящую водяную баню и выдерживают при 80—85°C в течение 30 мин. Через 30 мин колбу доливают дистиллятом несколько выше метки, т. е. так, чтобы при охлаждении до 20°C можно было прибавить минимум дистиллята, и колбу вновь помещают в баню на 15 мин. После этого колбу охлаждают, погасив пену несколькими каплями эфира, взбалтывают содержимое, фильтруют и поляризуют в трубке 400 мм. Отсчет показывает непосредственный процент сахара в свекле. Так как, уменьшив общий объем 201,5 мл, занимаемый нормальной навеской свеклы, на 1,5 мл, получают раствор сахарозы в объеме не 100, а 200 мл, т. е. разбавленный в два раза, удвоенная высота раствора (т. е. 400 мм) и дает процент сахара.

Недостатком метода является нестабильность объема мякоти, зависящего от качества свеклы.

Холодная водная дигестия по методу Сакс-Ледокта. Этот метод аналогичен упрощенному методу горячей водной дигестии Сакс-Ледокта — Герцфельда. Он применяется главным образом при селекционной работе, где требуются массовые анализы «свечей» из отдельных корней, и выполняется в этом случае как микрометод с $\frac{1}{4}$ нормальной навеской (6,5 г), к которой приливается $178,2:4 = 44,5$ мл разбавленного свинцового уксуса. Метод быстрый и простой, но требует, чтобы все клетки каши были вскрыты, т. е. чтобы кашка была «шлифованной». В этом случае к нормальной навеске «шлифованной» каши прибавляют в сосуд для дигестии 178,2 мл разбавленного раствора свинцового уксуса (5 мл свинцового уксуса и 173,2 мл дистиллята), герметически закрывают сосуд крышкой и перемешивают его содержимое. Через 3 мин сосуд открывают, жидкость фильтруют и поляризуют в трубке 400 мм, получая процент сахара к массе свеклы.

В случае применения размельчителя тканей типа РТС-2 для анализа используют кашку. При этом 52,0 г каши взвешивают на листке кальки на технических весах и переносят ее в сухой сосуд размельчителя, прибавляют дважды по 178,2 мл разбавленного свинцового уксуса. Устанавливают сосуд в гнездо и открывают воду на охлаждение. Интенсивность охлаждения устанавливают с таким расчетом, чтобы температура содержимого сосуда находилась в пределах 19—21°C. По истечении 3 мин сосуд вынимают из гнезда, содержимое фильтруют и заливают в поляриметрическую

трубку 400 мм. Отсчет в поляриметре дает сахаристость свежелевочной стружки в процентах.

При переработке порченной свеклы иногда получают мутные растворы. В этих случаях применяют один из следующих методов.

1. Весь раствор сливают обратно в дигестивный сосуд и добавляют 0,5 г сухого танина, встряхивают и оставляют на 20—25 мин, периодически встряхивая сосуд. Затем фильтруют и определяют сахаристость. Применение танина не дает эффекта, если свекла поражена слизистым бактериозом.

2. Раствор фильтруют через бумажный фильтр или слой ваты. 50 мл фильтрата переводят в колбу на 100 мл, освещают реактивом Герлеса по 10 мл в несколько приемов, доводят до метки, перемешивают и фильтруют. Фильтрат заливают в трубку 400 мм. Показание поляриметра удваивают и получают сахаристость в процентах к массе свеклы.

Определение содержания сахара в соках

Пробы диффузионного сока отбирают каждый час. В этих пробах определяют содержание сухих веществ, а два раза в смену — содержание сахара. Пробы фильтрованного сульфитированного сока отбирают каждый час. Отбор производят из краника на трубе, подающей сок на выпарку. По 50 мл отобранного сока сливают в банку для анализа средних проб за смену. В средней пробе определяют сухие вещества, сахар, цветность и содержание кальциевых солей и вычисляют чистоту.

Диффузионный сок. Две нормальные навески сока (52 г) отвешивают на технических весах в нейзильберовой чашке и переводят без потерь в колбу на 100 мл. Затем прибавляют 4—5 мл раствора свинцового уксуса для осветления, доливают до метки дистиллированной водой, перемешивают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 400 мм. Первые порции фильтрата сливают, трубку дважды ополаскивают фильтратом.

Так как для анализа взяты две нормальные навески сока в объеме колбы 100 мл, а раствор поляризуют в трубке длиной 400 мм, то показания шкалы сахариметра, деленные на 4, равны процентному содержанию сахара в соке.

Очищенный сок. Две нормальные навески сока, предварительно охлажденного до 20°C, отвешивают в нейзильберовую чашку и переводят без потерь в колбу на 100 мл. Затем добавляют 1—2 капли раствора фенолфталеина и несколько капель разбавленной уксусной кислоты для нейтрализации щелочи до исчезновения розовой окраски. При нейтрализации колбочку вращают между ладонями. После нейтрализации раствора добавляют 2—4 мл свинцового уксуса для осветления и доливают дистиллированной водой до метки. Содержимое колбы энергично взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 400 мм.

Показания шкалы сахариметра, деленные на 4, равны процентному содержанию сахара в соке.

Нейтрализация щелочных продуктов при определении сахара необходима для разложения сахаратов, удельное вращение которых отличается от удельного вращения сахарозы.

При нейтрализации уксусной кислотой, например, сахарата калия получаем: $C_{12}H_{21}O_{11}K + CH_3COOH = C_{12}H_{22}O_{11} + CH_3COOK$.

По данным Смоленского, моносахарат калия имеет удельное вращение $60,2^\circ$, вместо $66,5^\circ$ для сахарозы. Двухзамещенный сахарат, например $C_{12}H_{20}O_{11}K_2$, уже имеет удельное вращение $53,8^\circ$. Из приведенного видно, насколько важно тщательно нейтрализовать щелочные продукты при определении содержания сахара в них.

Определение содержания сахара в густых продуктах

Пробы сиропа отбирают каждый час и составляют среднюю пробу за смену. Пробы утфеля отбирают от каждой вари. Часть пробы используют для отделения межкристальной патоки, а часть поступает на составление средней пробы за смену. Пробы оттеков отбирают в начале фуговки каждой вари. Средние пробы за смену составляются из почасовых проб паток, отбираемых из сборников у вакуум-аппаратов.

Сироп. Отвешивают нормальную навеску (26 г) сиропа и переводят ее без потерь в колбу на 100 мл. Затем прибавляют 1—2 капли раствора фенолфталеина и нейтрализуют уксусной кислотой, разбавленной 1 : 1. Уксусную кислоту доливают по каплям до исчезновения розовой окраски, после чего добавляют 1—2 мл раствора свинцового уксуса для осветления, доводят раствор дистиллированной водой до метки, взбалтывают и фильтруют. Следует помнить, что при доведении объема жидкости в колбе до метки, соответствующей 100 мл, необходимо, чтобы температура раствора была равна $20^\circ C$.

Полученный фильтрат поляризуют в трубке длиной 200 мм. При этом условии показания шкалы сахариметра будут равны процентному содержанию сахара в сиропе.

Утфель I продукта. Для определения содержания сахара в утфеле берут одну нормальную навеску утфеля или две навески (52 г) раствора утфеля, приготовленного для определения содержания сухих веществ в нем путем растворения его в воде в отношении 1 : 1. Методика определения отличается от описанной выше для сиропа только тем, что здесь не требуется нейтрализовать утфель, так как он имеет слабощелочную реакцию. Свиного уксуса для осветления раствора утфеля нужно прибавить несколько больше (2—4 мл).

Межкристальная патока утфеля I продукта. Учитывая, что межкристальная патока утфеля более окрашена, чем сироп или утфель, для анализа рекомендуется брать только $\frac{1}{2}$ нормальной навески (13 г) патоки или нормальную навеску патоки, разбавленную водой в отношении 1 : 1. Навеску патоки или ее раствор переводят без потерь в колбу на 100 мл и прибавляют 2—3 мл раство-

ра свинцового уксуса. В остальном поступают так же, как и при анализе утфеля.

При поляризации фильтрата в трубке длиной 200 мм, учитывая, что для анализа взято только $\frac{1}{2}$ навески патоки, показания шкалы сахариметра следует удвоить. Удвоенное показание сахариметра и равно процентному содержанию сахара в исследуемой межкристалльной патоке.

Оттеки. Определение содержания сахара в оттеках из-под центрифуг производится точно так же, как и в межкристалльной патоке.

По такой же методике определяют сахара в утфеле II продукта и в его межкристалльной патоке. Для осветления в этом случае требуется больше свинцового уксуса (6—7 мл).

Определение содержания сахара в отходах производства

Для контроля и учета потерь сахара на диффузии и при фильтрации соков необходимо довольно часто определять содержание сахара в жоме, диффузионной воде и сатурационном осадке. Определяют также содержание сахара в мелассе..

Жом отбирают из каждого выгружаемого диффузора железным черпаком с длинной деревянной ручкой. Пробы жома в количестве около 0,5 кг переводят в специальное ведро, имеющее второе ситчатое дно. Пробу диффузионной воды отбирают отдельно из крана в нижней части диффузора (около 0,5 л). Средние пробы жома и воды анализируют один раз в час.

При работе диффузионных аппаратов непрерывного действия пробы жома отбирают каждые 30 мин на выходе из аппарата, анализируют среднюю пробу за час.

Для контроля и учета потерь сахара на станции фильтрации каждые 30 мин отбирают пробу осадка из крана на трубе, отводящей осадок из мешалки, или непосредственно из самой мешалки. Среднюю пробу за 2 ч исследуют на содержание сахара. На вакуум-фильтрах пробы осадка отбирают через 30 мин в месте схода его с ножа.

Пробы промоя отбирают из сборника каждый час. Содержание сахара определяют в средней пробе за 2 ч.

Пробы мелассы отбирают при каждом взвешивании из ящика на весах и составляют среднюю пробу за 4 ч и за смену. Из среднеточных проб мелассы составляют средние пробы за декаду, которые хранятся в закупоренных банках.

Содержание сахара в мелассе и ее чистоту определяют два раза в смену.

Неотжатый жом. Среднюю пробу жома тщательно перемешивают и измельчают на жомодробилке. Полученную мезгу заворачивают в чистую сухую салфетку и отжимают под прессом. Отжатый сок собирают в чистый сосуд, перемешивают и наливают в колбочку с двумя метками на 50 и 55 мл до первой метки. Если в горлышке колбы образовалась пена, прибавляют 2—3 капли эфира.

Затем добавляют 1—2 мл раствора свинцового уксуса, доливают дистиллированной водой до метки 55 мл при 20°C, взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 200 или 400 мм. По показанию шкалы сахариметра, пользуясь таблицей, находят процент сахара в жоме.

По такой же методике определяют содержание сахара в диффузионной воде (см. Приложение, табл. IV).

При составлении таблиц принято содержание сока в жоме считать равным 90%, а плотность сока, отжатого из жома, и диффузионной воды равным 1.

Таблицы для жома и диффузионной воды составлены исходя из следующего расчета.

Пусть показание шкалы сахариметра при поляризации жомового сока в трубке длиной 200 мм равно n делениям. Это значит, что в 100 мл сока или в 100 г сока содержится сахара $n \cdot 0,26$ г. Так как сок был разбавлен в колбе в $55 : 50 = 1,1$ раза, то найденное содержание сахара нужно умножить на 1,1. Фактически в 100 г сока сахара будет $n \cdot 0,26 \cdot 1,1$ г. Так как плотность жомового сока принята равной 1, то процентное содержание сахара в жоме будет равно: $C = n \cdot 0,26 \cdot 1,1 = 0,286n$.

Если пользуются трубкой длиной 400 мм, то нужно показание шкалы сахариметра n разделить на 2.

Прессованный жом. В средней пробе жома, отобранной после прессов, сахар определяют методом горячей водной дигестии.

При пользовании металлическим сосудом берут навеску жома в 60 г, измельченного на жомодробилке. В сосуд добавляют при помощи пипетки 178,2 мл разбавленного раствора свинцового уксуса (так же, как и при определении сахара в свекле) и в течение 30 мин нагревают в термостате или на водяной бане при 75—80°C. По истечении 30 мин сосуд охлаждают, взбалтывают и содержимое фильтруют.

При поляризации в трубке длиной 200 мм показание шкалы равно процентному содержанию сахара в жоме. При трубке длиной 400 мм показания шкалы делят на 2.

Навеска в 60 г взята из следующих соображений. При определении сахара в свекле мы к нормальной навеске ее (26 г), содержащей 21,8 мл сока, добавляем 178,2 мл раствора свинцового уксуса, т. е. доводим объем жидкости до 200 мл. В данном случае нужно, чтобы к навеске жома (26 г), содержащей 21,8 мл сока, было добавлено $100 - 21,8 = 78,2$ мл воды, но пипетка, которой мы пользуемся, имеет объем 178,2 мл.

Если к 26 г жома нужно добавить 78,2 мл воды, а пипеткой мы добавляем 178,2 мл воды, то для получения той же концентрации требуется взять навеску жома $178,2 \cdot 26 : 78,2 \approx 60$ г.

По другому способу две нормальные навески измельченного жома (52 г) переводят в колбу с меткой на 203 мл, наливают $\frac{3}{4}$ объема горячей воды, добавляют 7 мл свинцового уксуса и помещают на водяную баню при 75—80°C на 30 мин. По истечении этого времени колбу вынимают из бани, охлаждают и доливают водой до метки при 20°C. Затем содержимое колбы взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 400 мм. Процентное содержание сахара в жоме равно показанию сахариметра, деленному на 2.

В объеме колбы 203 мл учтен объем, занимаемый мякотью 52 г жома.

Сатурационный осадок. В фарфоровой ступке отвешивают 53 г грязи и добавляют из автоматической пипетки 178,2 мл 10%-ного раствора нитрата аммония для разложения сахаратов. Затем тщательно перемешивают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 200 мм. Показания сахариметра равны процентному содержанию сахара в осадке.

Навеску 53 г вместо 52 г в этом случае берут, исходя из следующих соображений: в 52 г осадка при 50%-ной влажности его содержится 26 г сухого вещества и 26 г воды. Следовательно, чтобы получить объем воды 200 мл, потребовалось бы добавить $200 - 26 = 174$ мл. При пипетке на 178,2 мл для получения тех же условий реакции требуется взять навеску $52 \cdot 178,2 : 174 = 53,2$ г.

Содержание сахара в густом осадке можно определить и иной методикой: 50 г осадка переносят в ступку, добавляют 100 мл 16%-ного раствора нитрата аммония; растирают смесь в кашицу и переводят без потерь в колбу на 200 мл. Затем доливают колбу до метки водой при 20°C, содержимое взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 200 мм. Показания сахариметра равны процентному содержанию сахара в осадке.

Навеску 50 г берут из тех соображений, что 26 г сухого вещества осадка при плотности его $2,9 \text{ г/см}^3$ занимают объем $26 : 2,9 = 8,97$ мл. Следовательно, для двух нормальных навесок осадка нужно было бы иметь колбу объемом 208,97 мл. Для колбы на 200 мл навеска должна быть равна $52 \cdot 200 : 208,97 = 49,8$ г.

При работе с нитратом аммония не рекомендуется осветлять раствор свинцовым уксусом, так как в щелочной среде может образоваться нерастворимый свинцовый сахарат. Раствор нитрата аммония добавляют для разложения сахарата.

При отсутствии нитрата аммония или в случае получения темных фильтратов для разложения сахарата прибавляют уксусную кислоту (1:1) в присутствии фенолфталейна до исчезновения розовой окраски.

Фильтрационный осадок. Анализируя фильтрационный осадок, определяют содержание сахара в процентах к массе густого осадка. После тщательного перемешивания средней пробы жидкий осадок наливают в предварительно взвешенную сухую колбу на 200—220 мл до первой метки. Затем колбу с осадком вторично взвешивают и находят массу жидкого осадка в объеме 200 мл (M).

Добавляют 10—12 мл нитрата аммония (50%-ного раствора) и доводят до метки 220 мл раствора свинцового уксуса. Содержимое колбы взбалтывают, фильтруют и поляризуют в трубке длиной 200 мм.

По массе осадка в колбе, пользуясь таблицей (см. Приложение, табл. VI), находят значение коэффициента K .

Показание шкалы сахариметра, умноженное на коэффициент K , равно процентному содержанию сахара в густом осадке, из которого получен жидкий осадок: $C = nK$.

Если для разбавления густого осадка применяется сладкая вода, в которой содержание сахара уже учтено лабораторией, то из показания сахариметра n при анализе вычитают данные поляризации сладкой воды n_1 .

В этом случае содержание сахара в осадке вычисляют по формуле $C = K (n - n_1)$.

Меласса. Для определения сахара берут $1/2$ нормальной навески мелассы (13 г) или нормальную навеску раствора мелассы (1:1) и переводят без потерь в колбу на 100 мл. Раствор охлаждают и освещают 7—10 мл реактива Герлеса или 6—9 мл раствора свинцового уксуса.

Рекомендуется производить освещение в 2—3 приема: в раствор мелассы прибавляют 2—3 мл раствора нитрата свинца и через 15—20 с 2—3 мл раствора едкого натра; смесь перемешивают легким вращением колбы в течение 1,5—2 мин, затем в указанном порядке опять задают осветлители.

Если раствор мелассы освещают свинцовым уксусом, то при сильнощелочных мелассах необходимо предварительно нейтрализовать раствор уксусной кислотой, разбавленной в соотношении 1:3, в присутствии фенолфталеина.

После осветления колбу доливают дистиллированной водой почти до метки, удаляют пену каплей эфира и затем доводят водой точно до метки при температуре раствора 20°C . Содержимое колбы взбалтывают и после 2—5-минутного отстаивания фильтруют и поляризуют в трубке длиной 200 мм.

Так как в объеме 100 мл растворено $1/2$ нормальной навески мелассы, то процент сахара будет равен показанию шкалы сахариметра, умноженному на 2.

При очень темных растворах иногда приходится поляризовать в трубке длиной 100 мм. В этом случае показание шкалы нужно умножить на 4, что весьма нежелательно, так как погрешность измерения увеличивается в 4 раза.

Если фильтрат сильно окрашен, следует применять дополнительное освещение активным углем или однозамещенным фосфатом аммония (NH_4HPO_4) и гидросульфитом ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) или бисульфитом.

Обесцвечивающее действие гидросульфита основано на том, что он легко разлагается с выделением водорода и диоксида серы ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\uparrow$).

При обесцвечивании активным углем к фильтрату, полученному при анализе мелассы, добавляют 0,5 г угля, перемешивают и фильтруют. К найденному содержанию сахара в мелассе в этом случае прибавляют 0,15%.

Активный уголь следует предварительно высушить; хранить в закрытой банке.

При осветлении фильтрата однозамещенным фосфатом аммония и гидросульфитом прибавляют сухой измельченный порошок реактива (0,9 г на 100 мл фильтрата), растворяют его при взбалтывании, затем прибавляют 0,2 г гидросульфита, раствор перемешивают и оставляют стоять 20 мин. После этого фильтруют через двойной фильтр и поляризуют.

Определение солей кальция в продуктах свеклосахарного производства

Половину всех безазотистых соединений, находящихся в диффузионном соке в свободном или связанном состоянии, составляют органические кислоты, которые в процессах дефекации, сатурации, выпаривания и уваривания переходят в соответствующие соли кальция пектиновой кислоты, аминокислот и гуминовых веществ.

Кальциевые соли аминокислот растворимы. Растворимы и кальциевые соли продуктов распада инвертного сахара в щелочной среде, каковыми являются соли таких кислот, как молочная, глициновая, сахарумовая, мелассиновая и др.

Особенно много солей кальция образуется при переработке недоброкачественного сырья, например незрелой, подмороженной или порченной свеклы.

Примерное количество СаО в соке второй сатурации 0,01—0,02%, сиропе 0,0222—0,025%, утфеле I продукта 0,026—0,028% и в кормовой патоке 0,029%.

Накопление кальциевых солей в продуктах свеклосахарного производства является причиной целого ряда затруднений в технологическом процессе, особенно в процессе уваривания утфелей, хотя на уваривание влияет больше их качественный, чем количественный состав.

Повышенное содержание солей кальция в соке второй сатурации приводит к их отложению на поверхности нагрева выпарной станции, что понижает коэффициент теплопередачи. Нарушение нормальной работы выпарки приводит к снижению производительности завода, карамелизации сахара, удлинению уваривания, снижению выхода сахара.

Поэтому определение количества кальциевых солей в соке второй сатурации и в сиропе имеет важное значение для контроля производства.

Для определения солей кальция широкое распространение получил комплексометрический метод. Предпосылкой для разработки этого метода послужило то, что аминокарбоновые кислоты образуют с ионами щелочноземельных металлов устойчивые внутрикомплексные анионы, хорошо растворимые в воде. К ним относится группа α -аминокислот, в которых при атоме азота имеется минимум одна карбоксиметильная группа. Наиболее простая из

этих кислот — аминодиуксусная $\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—COOH} \\ | \\ \text{H—N} \\ | \\ \text{CH}_2\text{—COOH} \end{array} \right)^-$, которая

может служить исходным компонентом для других комплексов, например аминотриуксусной или этилендиаминтетрауксусной кислот.

Характерным свойством указанных кислот является способность образовывать комплексы с различными катионами. Прочность этих комплексов настолько велика, что присутствие соответствующего катиона в растворе невозможно определить путем обычных аналитических реакций.

Аминотриуксусная кислота $\left(\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{N} \begin{array}{l} \text{CH}_2-\text{COOH} \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array} \right)$ названа

трилоном А, а этилендиаминотетрауксусная кислота

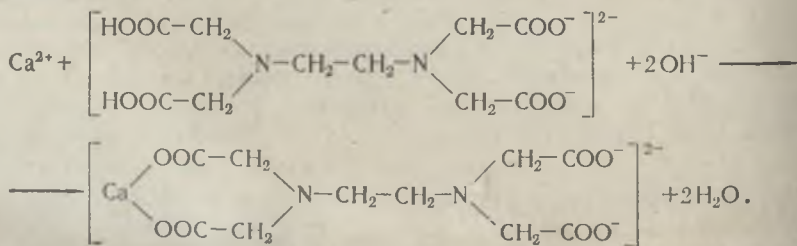
$\left(\begin{array}{l} \text{HOOC}-\text{H}_2\text{C} \\ \text{HOOC}-\text{H}_2\text{C} \end{array} \right) \text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N} \begin{array}{l} \text{CH}_2-\text{COOH} \\ \text{CH}_2-\text{COOH} \end{array} \right)$ — трилоном Б («версен»).

Аминотриуксусную кислоту обозначают как комплексон-I, этилендиаминотетрауксусную — как комплексон-II, а натрийдвузамещенную соль этой кислоты — как комплексон-III.

Имеются комплексометрические индикаторы, например мурексидаммонийная соль пурпурной кислоты $\text{C}_8\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_5$, которая образует с кальцием и некоторыми другими катионами красные, интенсивно окрашенные комплексы. Анион пурпурной кислоты реагирует в щелочной среде с катионами металлов, но эти комплексы менее устойчивы, чем комплексы этих катионов с комплексонами. Поэтому при титровании комплексонами в эквивалентной точке наступает момент исчезновения катионов из растворов и наблюдается резкий переход красного цвета в фиолетово-голубой. На этих свойствах комплексонов и индикаторов основан комплексометрический метод определения солей кальция и магния в растворах.

Например, если к воде добавить индикатор эриохром черный Т (хромоген черный специальный ЕТ-00), то он образует с ионами Hg^{2+} слабо диссоциированное комплексное соединение, при этом цвет раствора переходит из синего в винно-красный.

В ходе титрования такого раствора этилендиаминотетраацетатом последний вступает в реакцию сначала с ионом Ca^{2+} , потом со свободными ионами Mg^{2+} и, наконец, извлекает Mg^{2+} из его соединения с индикатором при одновременном переходе цвета раствора из винно-красного в синий:



Аналогичную схему реакции можно написать и для иона Mg^{2+} . Титрование производят в щелочной среде, так как комплексные соединения Ca^{2+} и Mg^{2+}

с этилендиаминотетраацетатом неустойчивы в кислой среде. Недостатком этого метода является влияние примесей на результаты определения. Например, присутствие ионов меди делает точку эквивалентности неотчетливой.

При комплексометрическом титровании трилоном Б в случае определения только ионов Ca^{2+} индикатором служит «мурексид». Раствор трилона Б устойчив, конечная точка при титровании очень отчетлива, что позволяет исследовать также и разбавленные растворы.

Методика применения комплексометрического титрования для определения жесткости соков и продуктов свеклосахарного производства заключается в следующем (по Когоутеку).

Предварительно готовят титрованные эмпирические растворы. Основной раствор кальциевой соли получают, растворяя 2,3230 г химически чистого муравьинокислого кальция или 1,7847 г CaCO_3 в минимальном количестве разбавленной HCl , а затем доводят объем дистиллятом до 1 л. Для приготовления комплексона-III 6,635 г его растворяют дистиллятом в колбе на 1 л или же 5,2085 г комплексона-II растворяют в 357 мл 0,1 н. NaOH с последующим доведением до метки дистиллятом в колбе той же вместимости.

Раствор MgCl_2 : 3,7 г соли $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ растворяют в дистилляте в колбе на 1 л.

Буферный раствор: смешивают 8,9 мг NH_4Cl с 60 мл концентрированного раствора аммиака, прибавляют 80 мл раствора сульфида аммония и в колбе на 1 л все содержимое доводят до метки дистиллятом.

Индикатор эриохром черный Т растворяют в склянке с притертой пробкой на 100 мл.

Определение поправочного коэффициента титрованного раствора комплексона производят следующим образом.

В колбу для титрования отмеряют 70 мл дистиллята, прибавляют 5 мл буферного раствора, 2—3 мл титрованного раствора комплексона, 5 капель индикатора, затем из обычной бюретки титруют смесь раствором MgCl_2 до перехода синей окраски в фиолетовую. После этого в сосуд добавляют 25 мл раствора комплексона (раствор синеет) и титруют основным раствором кальциевой соли до появления фиолетовой окраски.

Поправочный коэффициент комплексона: $K_K = a : 25$, где a — количество основного раствора кальциевой соли, мл; 25 — количество комплексона, мл.

Поправочный коэффициент для титрованного раствора MgCl_2 определяют следующим образом.

В коническую колбу на 250—300 мл наливают 70 мл дистиллята, 5 мл буферного раствора, 25 мл титрованного раствора комплексона, 5 капель индикатора и титруют раствором MgCl_2 до перехода окраски из синей в фиолетовую.

Поправочный коэффициент $K = b : 25 \cdot K_K$, где b — количество раствора MgCl_2 , израсходованное на титрование, мл.

Для определения жесткости продуктов свеклосахарного производства в колбу для титрования отмеряют столько исследуемого раствора, чтобы в нем содержалось 10—20 мг CaO (т. е. 20—50—100 мл сока второй сатурации или 10—20—40 мл сиропа). Пользу-

ются пипеткой с широким носиком. Пипетку промывают дистиллятом из промывалки, вливая промыв в колбу для титрования. При необходимости раствор в колбе разбавляют до 100 мл дистиллятом, прибавляют 5 мл буферного раствора, 25 мл комплексона и 5—10 капель индикатора. Затем смесь титруют раствором MgCl_2 до перехода сине-зеленой окраски в фиолетовую. Определение жесткости J производят по формуле $J = 25,0 - A$, где A — количество раствора MgCl_2 , израсходованное на титрование, мл.

При определении жесткости темных растворов рекомендуется нагревать их перед титрованием до 50°C для более заметного перехода окраски.

При титровании эриохромом черным Т определяется общая жесткость сока (кальциевые и магниевые соли), при титровании с мурексидом — только соли кальция.

Определение содержания солей кальция в соке второй сатурации. 100 мл или 100 г сока второй сатурации разбавляют 200—250 мл дистиллята в колбе на 400 мл, прибавляют 4 мл триэтанол-амина для исключения влияния примесей тяжелых металлов, подщелачивают раствором 10—12 мл 1 н. раствора NaOH , вносят 0,25—0,35 г индикатора и титруют 0,05 М раствором комплексона до фиолетово-синей окраски. 1 мл 0,05 М раствора комплексона соответствует 2,004 мг Са или 2,804 мг СаО. Если поправочный коэффициент комплексона K_K и на титрование израсходовано x мл 0,05 М раствора комплексона, то при объеме V мл или навеске q г сока, содержащего сухих веществ r , полностью d , количество солей кальция на 100 г сухих веществ (выраженное в % СаО и обозначенное через y) вычисляют из уравнения $y = (2,804 \cdot 10^4 K_K) / (Vdr \times 10^3) = (2,804 \cdot 10^4 K_K) / (qr \cdot 10^3)$.

Если сок темный, т. е. имеет цветность выше 20°Шт. на 100 % СВ, то его разбавляют в отношении 1 : 3 (50 мл сока в 150 мл воды). Титрование производят 0,1 М раствором комплексона, 1 мл которого соответствует 4,006 мг Са или 5,608 мг СаО, в присутствии 0,25—0,30 г индикатора (в смеси с NaCl в отношении 1 : 100).

Определение содержания солей кальция в сиропе. Для анализа берут 25 г или 25 мл сиропа и разбавляют дистиллятом до 200—250 мл; в дальнейшем поступают, как и при анализе сока второй сатурации.

Если взвешено q г или отмерено V мл сиропа, содержащего сухих веществ r , и на титрование израсходовано x мл 0,05 М раствора комплексона с поправочным коэффициентом K_K , тогда содержание кальциевых солей (в % СаО к массе СВ) рассчитывается по формуле $y = (2,804 \cdot 10^4 K_K) / (qr \cdot 10^3) = (2,804 \cdot 10^4 K_K) / (Vdr \cdot 10^3)$.

При работе с алкалиметром Каппуса (одно деление бюретки Каппуса соответствует 1 мг СаО) при использованных на титрование x делениях бюретки и поправочном коэффициенте K_K $y = (10^4 x K_K) / (qr \cdot 10^3) = (10^4 x K_K) / (Vdr \cdot 10^3)$.

Для сахарных растворов, имеющих желтую окраску, разработан метод определения кальциевых солей путем обратного титрования. К навеске добавляют избыток трилона Б определенной нормальнос-

ти. Затем избыток трилона Б оттитровывают смесью растворов $\text{CaCl}_2 + \text{MgSO}_4$ (3 части CaCl_2 на 1 часть MgSO_4) той же нормальности. Методика определения заключается в следующем. В коническую колбу на 250—300 мл помещают навеску продукта, приливают 100 мл дистиллята, 5 мл аммиачного или 1 мл боратного буферного раствора, 7—8 капель индикатора и определенное количество (из бюретки) $\frac{1}{28}$ н. раствора трилона Б (содержимое колбы окрашивается в зеленовато-синий цвет). После этого избыток трилона Б оттитровывают $\frac{1}{28}$ н. раствором магниезиальной смеси до приобретения жидкостью винно-красного цвета. Затем в отдельную колбу на 250—300 мл приливают 100 мл дистиллята и определяют содержание кальциевых солей аналогичным способом. Количество трилона Б, израсходованного на титрование 100 мл воды, вычитают из общего его расхода. Содержание солей кальция и магния в продукте вычисляют по формуле $x = \frac{[aK_m - B] - (a_1K_m - B_1)}{M \times 1000} \cdot 100$, где a — общее количество трилона Б, мл; a_1 — количество трилона Б, израсходованное на титрование воды, мл; K_m — поправочный коэффициент трилона Б; B и B_1 — количество магниезиальной смеси, использованное на обратное титрование соответственно в растворе и дистилляте, мл; M — навеска исследуемого продукта, г.

Для определения содержания кальциевых солей в продуктах свеклосахарного производства необходимо брать следующие навески: сатурационный сок — 10 г, сироп — 5 г, патока — 1—2 г.

Например, взята навеска мелассы 1 г. Прибавлено 10 мл $\frac{1}{28}$ н. раствора трилона Б с поправочным коэффициентом $K_m = 0,99$. На обратное титрование израсходовано 8,5 мл $\frac{1}{28}$ н. раствора магниезиальной смеси при поправочном коэффициенте смеси $K_{см} = 1,0$. Таким образом, на связывание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} израсходовано трилона Б $9,9 - 8,5 = 1,4$ мл. При определении кальциевых солей в воде израсходовано 2,0 мл $\frac{1}{28}$ н. раствора трилона Б и 1,8 мл магниезиальной смеси. Связано трилона Б в воде $2,0 - 1,8 = 0,2$ мл. Содержание кальциевых солей составит $\frac{[(10 \cdot 0,99 - 8,5) - (2 \cdot 0,99 - 1,8)] \cdot 100}{1 \cdot 1000} = 0,124\%$ по массе мелассы.

Присутствие катионов Fe^{2+} , Mg^{2+} и Cu^{2+} в сахарных растворах отрицательно влияет на результаты определения кальциевых солей, так как наличие этих ионов завышает результаты титрования вследствие нечеткого перехода окраски индикатора. Обратное титрование незначительно улучшает четкость перехода окраски индикатора. При определении содержания кальциевых солей в продуктах сахарного производства комплексометрическим методом переход окраски индикатора зависит от цветности анализируемого продукта. Для устранения этого необходимо применять более совершенные индикаторы или же определять конечную точку титрования вместо визуального наблюдения объективным методом.

Для этой цели Карташов и Жижина предложили прибор для фотометрического определения конечной точки титрования. Прибор состоит из селенового фотоэлемента, гальванометра, лампочки, объектива, светофильтра и магнитной мешалки. Характеристика светофильтра почти совпадает со спектральной характеристикой красящих веществ продуктов сахарного производства. Поэтому цветность продуктов не отражается на результатах

титрования. Для этих целей используют титраторы типа ТВ-6Л (высокочастотный) или лабораторный полуавтоматический фотоэлектрический титратор ТФЛ-46-2 Киевского завода аналитических приборов.

Методика работы на приборе с фотоэлементом заключается в следующем. 25—50 мл сока отмеривают в стакан на 200 мл, добавляют дистиллятом до 100 мл и вливают 2 мл 10%-ного раствора Na_2SO_3 и 10 мл 1 н. раствора NaOH . Мерочкой прибавляют 0,25 г индикатора и, изменяя отверстие диафрагмы в осветителе, устанавливают стрелку гальванометра на определенное деление в конце шкалы, например на 600 мВ, включают магнитную мешалку. После этого из бюретки прибавляют раствор трилона Б. Конец титрования характеризуется минимальным показанием гальванометра, которое не меняется при добавлении раствора трилона Б. Фотометрическое титрование дает результаты, совпадающие с данными оксалатного метода определения кальциевых солей, и находит широкое применение в заводских лабораториях.

Определение содержания золы

Основными составляющими минеральных веществ свеклосахарных продуктов являются калий и натрий, которые в процессе производства проявляют сильную мелассообразующую способность. Поэтому определение содержания золы дает ориентировочные данные о возможных потерях сахара в мелассе. Содержание золы имеет также значение при оценке качества белого сахара.

Понятие количества «золы» в продуктах свеклосахарного производства совершенно условно, так как большая часть катионов K , Na , Ca , Fe , Al , Mg связана не с минеральными анионами, а с органическими кислотами, которые, сгорая, превращаются в диоксид углерода. Кроме того, в золу попадают и случайные примеси нерастворимых веществ (песок, глина). А некоторое количество хлора и фосфора при сжигании теряется. При чрезмерном прокаливании может быть потеряна и часть калия.

При обычном сжигании получают так называемую карбонатную золу. Если из количества карбонатной золы исключить нерастворимые примеси и CO_2 , получим «чистую золу». Количество чистой золы составляет около 0,61 от количества карбонатной золы.

Сжигание продуктов ведут с сульфатной кислотой. Количество полученной сульфатной золы оказывается больше, чем карбонатной. Сульфатная кислота вытесняет угольную и соляную кислоты, так как ее молекулярная масса выше. Условно считают, что количество карбонатной золы можно определить, умножив количество сульфатной золы на коэффициент 0,9.

Сульфатный метод. Для определения этим методом золы в свекле, утфелях и мелассе на аналитических весах отвешивают 2 г продукта в платиновой чашечке или фарфоровом тигле (предварительно доведенных до постоянной массы). Прибавляют 1 мл концентрированной H_2SO_4 ($d=1,84$), перемешивают платиновой проволокой,

проволочку вытирают кусочком беззольного фильтра, который тоже помещают в чашечку. Нагревают сначала осторожно на горелке, чтобы массу не выбросило при вспучивании. Затем сжигание продолжают в муфельной печи при температуре 800°C. При полном сжигании зола должна быть розовой или белой. Обычно сжигание длится 1—2 ч. Таким образом находим содержание сульфатной золы.

Для определения золы в белом сахаре 20—35 г взвешенного на аналитических весах сахара помещают по частям в платиновую чашку (или фарфоровый тигель), смачивая каждую порцию 0,5—1 мл концентрированной H_2SO_4 . Медленно подогревают и обугливают на горелке. Далее сжигание ведут в муфельной печи при температуре сначала 550, затем 800°C до постоянной массы. Подсчет ведут по формуле $x = (0,9 \cdot q \cdot 100 \cdot 100) / [n(100 - W)]$, где x — количество карбонатной золы, % на сухое вещество; q — масса сульфатной золы, получаемой при сжигании, г; n — навеска сахара, г; W — содержание влаги в сахаре, %.

Кондуктометрический метод. Для определения золы продуктов свеклосахарного производства в последнее время все чаще пользуются кондуктометрическим методом.

Как известно, сахароза не проводит электрического тока, так как она не диссоциирована электролитически. Электропроводность сахарных растворов зависит от наличия хорошо диссоциирующих солей минеральных катионов. Следовательно, эту зависимость можно использовать для определения золы продуктов свеклосахарного производства. Для определения этим методом золы в белом сахаре отвешивают на аналитических весах 5 или 26 г сахара (в зависимости от конструкции прибора и калибровки шкалы). Сахар растворяют горячей водой и количественно переводят в мерную колбу на 100 мл. После охлаждения и доведения до метки тщательно перемешивают. Затем по прибору измеряют зольность и температуру (поправку на температуру находят в таблице приложений к прибору) и рассчитывают $x = (0,9 \cdot 100 \cdot x_0) / (100 - W)$, где x — количество карбонатной золы, % на сухое вещество; x_0 — зольность раствора по кондуктометру; W — содержание влаги в сахаре, %.

Глава XXIV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ И КИСЛОТНОСТИ

Определение титруемой щелочности и кислотности

Продукты свеклосахарного производства при нормальной работе завода, за исключением диффузионного сока, имеют щелочную реакцию, которую необходимо поддерживать на определенном уровне для нормального ведения процессов.

Щелочность или кислотность продукта устанавливают титрованием пробы продукта соответственно кислотой или щелочью в присутствии индикатора. Количество израсходованной на титрование кислоты или щелочи характеризует реакцию исследуемого продукта.

В свеклосахарном производстве щелочность и кислотность продуктов условно выражают в процентах CaO .

Грамм-эквивалент $\text{CaO} = (40 + 16) : 2 = 28$ г. При титровании продукта из обыкновенной бюретки 0,1 н. раствором сульфатной кислоты каждый миллилитр ее будет соответствовать 0,0028 г CaO .

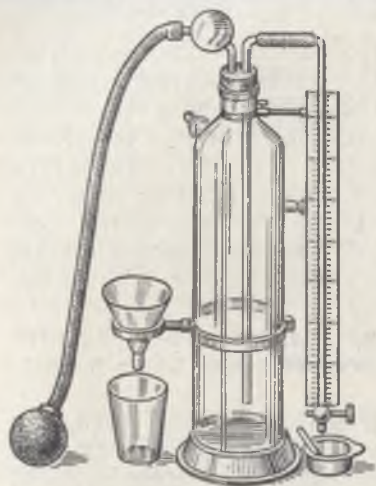


Рис. 60. Прибор Каппуса для определения щелочности.

На практике применяют специальную бюретку (алкалиметр) Каппуса (рис. 60), каждое деление которой по объему в 2,8 раза меньше деления обыкновенной бюретки, т. е. равно $\frac{1}{2,8}$ мл. Если для титрования берут 0,1 н. кислоту и пользуются бюреткой Каппуса, то объем каждого ее деления будет соответствовать 0,001 г CaO (при титровании 10 мл — 0,01% CaO на 100 мл).

При титровании используют в качестве индикатора 1%-ный спиртовой раствор фенолфталеина, который дает четкую розовую окраску в слабощелочной области $\text{pH}_{20} 8,5$.

Щелочность сока первой сатурации определяют в объеме, равном 10 мл, сока второй сатурации — в 50 мл для увеличения точности определения.

Высокую щелочность нефильтрованного дефекованного сока определяют в объеме 10 мл 1 н. раствором кислоты. В этом случае при пользовании бюреткой Каппуса объем каждого ее деления будет соответствовать уже 0,01 г CaO (при титровании 10 мл — 0,1% CaO на 100 мл).

Для определения щелочности 10 или 50 мл сока первой или второй сатурации помещают в фарфоровую чашку, прибавляют из капельницы несколько капель 1%-ного раствора фенолфталеина и титруют из бюретки Каппуса 0,1 н. раствором сульфатной или соляной кислоты.

Расчеты проводят для сока первой и второй сатурации соответственно по формулам $0,001 a \cdot 100 : 10 = \% \text{CaO}$; $0,001 a \cdot 100 : 50 = \% \text{CaO}$, где a — количество делений бюретки Каппуса, соответствующее расходу кислоты на титрование.

Лаборатория завода контролирует общее содержание извести в дефекованном соке. Для этой цели каждый час отбирают пробы дефекованного сока перед поступлением его в сатуратор. Из почасовых проб составляют среднюю пробу за смену, в которой определяют общее содержание извести. При проведении анализа среднюю пробу тщательно перемешивают, быстро отмеривают 10 мл сока и переводят в фарфоровую чашку. В качестве индикатора берут несколько капель раствора метилоранжа и титруют из бюретки Каппуса 1 н. раствором кислоты.

По такой же методике определяют общее содержание извести в соке после предварительной дефекации и в соке первой сатурации, возвращаемом на предварительную дефекацию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ

Натуральной щелочностью считают ту часть общей щелочности сока первой сатурации, которая обусловлена присутствием КОН и NaOH.

Различают теоретическую и практическую натуральную щелочность. Теоретической натуральной щелочностью называется избыток K_2CO_3 , выраженный в % CaO (эквивалентно), который остается в соке после полного осаждения всех солей кальция, чего практически не бывает.

Практической натуральной щелочностью называют тот избыток K_2CO_3 (в пересчете на CaO), который остается в соке второй сатурации после практически достижимого осаждения солей кальция. Таким образом, практическая натуральная щелочность всегда выше теоретической.

50 мл сока титруют в присутствии фенолфталеина 0,1 н. раствором кислоты. Затем в этом же соке определяют содержание солей кальция комплексометрическим способом. Разность между щелочностью и содержанием солей кальция и является натуральной щелочностью в процентах CaO.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ

25 мл диффузионного или нормального сока помещают в фарфоровую чашку, прибавляют 75 мл нейтрального на фенолфталеин дистиллята, перемешивают и титруют из обыкновенной бюретки $1/28$ н. раствором щелочи. Конец титрования определяют фенолфталеиновой бумажкой, которая при незначительном избытке щелочи приобретает розовую окраску.

Каждый миллилитр $1/28$ н. раствора щелочи соответствует 0,001 г CaO. Кислотность сока выражают в граммах CaO на 100 мл сока. Кислотность определяют по формуле $a \cdot 0,001 \cdot 100 : 25 = \% \text{ CaO}$, где a — количество $1/28$ н. щелочи, израсходованной на титрование, мл.

Определение содержания сернистой кислоты

В коническую колбу на 200 мл переводят 50 г фильтрованного сока или 25 г сиропа, добавляют 20—25 мл дистиллята и 25 мл 1 н. раствора едкого кали или едкого натра. Колбу закрывают пробкой, взбалтывают и выдерживают 15 мин. Затем приливают 10 мл сульфатной кислоты (1 : 3), 1 мл раствора крахмала и титруют $1/50$ н. раствором йода до появления исчезающего синего окрашивания.

Содержание диоксида серы определяют по формуле $0,00064 B \times X : 100 : q = \% SO_2$, где B — количество йодного раствора, израсходованного на титрование, мл; q — навеска продукта, г.

Определение рН продуктов сахарного производства

В свеклосахарном производстве важное значение имеют величины активной щелочности или кислотности, которые обуславливаются концентрацией ионов водорода в растворе и выражаются величиной рН.

Величина рН представляет собой отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов: $\text{pH} = -\lg C_{\text{H}}$, где C_{H} — концентрация ионов водорода в растворе.

Нейтральные растворы имеют рН 7; кислые — $\text{pH} < 7$, а щелочные — $\text{pH} > 7$.

Для определения рН среды применяют главным образом электрометрический метод. Приборы для определения рН называют рН-метрами.

Определение рН основано на измерении электродвижущей силы тока, возникающей между двумя электродами. Один из электродов погружают в исследуемый

раствор, его потенциал зависит от концентрации ионов водорода в нем. В качестве такого практически применяют электрод водородно-платиновый, стеклянный, сурьмяный, хингидронный.

Второй электрод (для сравнения) имеет известный, постоянный потенциал. В качестве такого применяют электрод каломельный или хлорсеребряный.

Определение рН заключается в измерении электродвижущей силы между электродами (ЭДС). Электродвижущую силу измеряют компенсационным методом при помощи мостика сопротивлений.

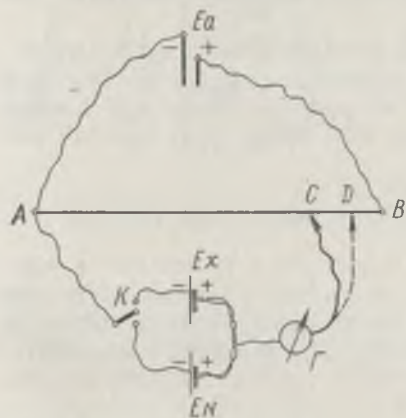


Рис. 61. Схема компенсационного метода определения электродвижущей силы.

На рис. 61 приведена принципиальная схема компенсационного метода. К большой цепи мостика сопротивления АВ подключают двухвольтовый аккумулятор E_a . К малой цепи через переключатель K подключают исследуемую пару электродов E_x или нормальный элемент Вестона E_N , имеющий постоянное известное напряжение. Затем к цепи подключают чувствительный гальванометр Γ и подвижный контакт. Перемещением подвижного контакта вдоль мостика сопротивления АВ определяют такое положение контакта, при котором гальванометр Γ показывает отсутствие тока в цепи.

В начале измерения в малую цепь включают нормальный элемент Вестона и передвигают контакт до тех пор, пока гальванометр не покажет отсутствие тока в цепи. Если это случилось при

положении подвижного контакта в точке C , то для этого положения можно написать равенство $E_a/AB = E_N/AC$.

Напряжение аккумулятора E_a можно выразить через известное и постоянное напряжение нормального элемента Вестона ($E_N = 1,0183 \text{ В}$): $E_a = AB \cdot E_N : AC = AB \cdot 1,0183 : AC$.

С помощью ключа K отключим нормальный элемент и подключим элемент E_x , состоящий из электрода, опущенного в исследуемый раствор, и каломельного электрода.

Перемещением подвижного контакта по мостику AB определяем положение контакта, при котором ток в цепи отсутствует, например в точке D , тогда $E_a/AB = E_x/AD$, или $E_x = E_a AD/AB$.

Подстановкой E_a получим электродвижущую силу: $E_x = 1,0183 \times AB \cdot AD / (AC \cdot AB) = 1,0183 AD/AC$, где AC и AD — длина сопротивления, мм.

По значению E_x вычисляют рН исследуемого раствора по формуле (электроды: водородно-платиновый — каломельный) $\text{pH} = (E_x - 0,2504) / 0,000198 T$, где T — абсолютная температура раствора ($T = 273 + t$).

Если элемент состоит из хингидронного и каломельного электродов, то пользуются таблицей или следующей формулой: $\text{pH} = [0,7175 - (0,00074t - 0,2504 + E_x)] / 0,000198T$.

Промышленность выпускает рН-метры, принцип действия которых основан на компенсационном методе измерения E_x в милливольтах или единицах рН.

При определении рН кислых продуктов применяют элемент, состоящий из хингидронного и каломельного электродов. Для определения рН щелочных продуктов применяют стеклянный и каломельный электроды.

Температура увеличивает электропроводность исследуемых растворов. Нормальной температурой для определения электропроводности считают 20°C (pH_{20}). Если температура отличается от 20°C , то вводят поправку, пересчитывая электропроводность на λ_{20} по формуле $\lambda_t = \lambda_{20} \times [1 + 0,02135(t - 20)]$.

В рН-метрах предусмотрена автоматическая или ручная компенсация влияния температуры на измерение электропроводности.

Обычно рН-метры снабжают ламповым усилителем тока, что позволяет проводить измерения электродвижущей силы от 0 до 1300 мВ и рН — от 0 до 13. В настоящее время выпускаются лабораторные рН-метры типа ЛПУ-01 и рН-метр-милливольтметр рН-340, выпускаемый Гомельским заводом измерительных приборов.

Настройку прибора выполняют с помощью контрольного буферного раствора, который, например, состоит из смеси двух растворов: первый — 9,073 г однозамещенного фосфата калия в 1 л раствора; второй — 11,867 г двузамещенного фосфата калия в 1 л раствора; рН этой буферной смеси равно 6,8.

Правила эксплуатации и использования прибора подробно изложены в прилагаемой к прибору заводской инструкции.

Для определения активности водородных ионов в водных растворах при pH от 1 до 12, а также для установления конечной точки титрования при определении кислотности или щелочности водных растворов предназначен иономер ИМ-2М. Точность определения на буферных растворах не превышает $\pm 0,1$ pH.

Определять pH иономером ИМ-2М целесообразно в диффузионном соке, при контроле станции сульфитации и в сиропе с выпарки, где титрование по фенолфталеину и даже по индикатору крезоловому красному не всегда дает четкие результаты. Иономер ИМ-2М как прибор для определения конца титрования, точки нейтрализации, а также для снятия кривых буферности более удобен и прост в обслуживании, чем потенциометр.

Основными элементами иономера ИМ-2М являются сурьмяный электрод, насыщенный хлорсурьмяный полуэлемент и измеритель.

Принцип работы иономера ИМ-2М основан на изменении ЭДС гальванического элемента, который составлен из насыщенного хлорсеребряного полуэлемента и сурьмяного электрода, в зависимости от pH измеряемого раствора.

Процесс определения pH по гальванометрической схеме сводится к измерению ЭДС цепи, образованной сурьмяным электродом (—) и хлорсеребряным полуэлементом (+) и исследуемым раствором, через добавочное сопротивление R при помощи измерителя-милливольтметра. Цепь прибора состоит из двух полуэлементов: один с постоянным потенциалом (электрод сравнения), другой — рабочий электрод. Добавочное сопротивление электрода служит также автоматическим компенсатором температуры. Действие компенсации заключается в том, что величина сопротивления нагрузки изменяется под действием температуры в том же направлении и по тому же закону, что и ЭДС гальванического элемента рассматриваемого типа.

Хлорсеребряный полуэлемент — электрод сравнения — по устройству и воспроизводимости ЭДС не уступает каломельному.

Для измерения pH в сурьмяную чашку наливают 30—50 мл раствора, погружают в него хлорсеребряный полуэлемент и подключают оба электрода к гальванометру. Перемешивая раствор полуэлементом, отсчитывают на шкале гальванометра значения pH. После измерения электроды промывают дистиллятом. Перед началом работ контролируют исправность прибора по буферному раствору (pH 6,8).

Для определения pH широко применяют, например для оперативного контроля, индикаторы. Это обычная фильтровальная бумага, пропитанная спиртовым раствором того или иного индикатора, изменяющая свою окраску при разных pH. Так, метиловый оранжевый изменяет окраску в пределах pH 3,1—4,4, фенолфталеин — в пределах pH 8,2—10. Например, для анализа сока на преддефекации и первой сатурации фильтровальную бумагу пропитывают 0,5%-ным спиртовым раствором тимолфталена, чтобы получить pH 11,0; для сока второй сатурации, чтобы получить pH 9,5—10,0, пропитывают бумажки спиртовым раствором индикатора

тимолового синего с концентрацией около 0,1%; для контроля сульфитации сока применяют спиртовой раствор (0,1%) индикатора крезолового красного. Широкое применение находит универсальная индикаторная бумага с диапазоном измеряемого pH от 1 до 10.

Глава XXV. ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ И МУТНОСТИ ПРОДУКТОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Колориметрический метод

В контроле сахарного производства применяют колориметрическое определение цветности (окрашенности) методом сравнения.

Цветность исследуемого раствора сравнивают с окрашенностью специально приготовленного стандартного цветного стекла.

Колориметрический метод основан на законе Ламберта — Бэра. Сущность метода состоит в том, что если два раствора содержат концентрации красящих веществ C_1 и C_2 , то для получения одинакового светопоглощения высоты слоев этих растворов h_1 и h_2 должны быть обратно пропорциональны концентрациям красящих веществ в них: $C_1/C_2 = h_2/h_1$.

Для определения цветности исследуемого раствора применяют приборы, называемые колориметрами.

Универсальный колориметр (Дюбоска) применяют для сравнения цветности двух жидкостей — исследуемой и стандартной.

В сахарной промышленности применяют колориметр Штаммера (КСМ), в котором для сравнения используют стандартные «нормальные» стекла, окрашенные в желто-бурый цвет.

Цветные стандартные стекла изготавливаются для сахарной промышленности Изюмским стекловодом. Стекла изготавливают с различной степенью окраски: 1-«нормальные», $1/2$ -«нормальные», $1/4$ -«нормальные» и $1/8$ -«нормальные».

За единицу цветности (градус Штаммера — °Шт.) принимают окраску такого раствора, который при толщине слоя 100 мм равен окрашенности 1-«нормального» стекла.

Формула для определения цветности имеет следующий общий вид: $C = n \cdot 100 : h$, где n — «нормальность» стекла; h — высота слоя раствора, мм.

«Нормальные» стекла часто отличаются друг от друга, поэтому их следовало бы сравнивать с одним стандартным стеклом и давать поправочные коэффициенты. Желательна замена стекол каким-нибудь стандартным раствором, который всегда можно приготовить. Например, К. Шандер предложил раствор следующего состава (в 100 мл): 1 г $\text{NiSO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 1,2 г $\text{CaSO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 0,019 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Раствор Шандера по окраске соответствует цветности 5° Шт. С ним можно сравнивать как сахарные растворы в универсальном колориметре, так и проверять «нормальность» стандартных окрашенных стекол.

Для контроля цветности продуктов необходимо получать сравнимые результаты, исключая влияние степени разбавления исследуемого продукта. Например, при контроле повышения цветности

ти сока в процессе выпаривания концентрация сухих веществ в нем изменяется. Цветность сока и сиропа по корпусам будет также увеличиваться вследствие увеличения содержания сухих веществ и образования новых красящих веществ. Поэтому для получения сравнимых результатов необходимо пересчитать результаты определения цветности на 100 частей сухих веществ исследуемого раствора по формуле $C = (kn \cdot 100 \cdot 100) / (h \cdot CB \cdot d)$, где k — поправочный коэф-

фициент отклонения от нормы окрашенности стекла; n — нормальность стекла; h — высота слоя раствора в колориметре в момент выравнивания окраски, мм; CB — содержание сухих веществ в растворе, %; d — плотность раствора, г/см³.

Растворы перед определением цветности должны быть прозрачными (фильтрованными через кизельгур: 0,25 г на 100 мл).

Колориметр для сахарной промышленности КСМ (рис. 62) состоит из кюветы цилиндрической формы с дном, закрытым стеклянной пластинкой. Внутри кюветы помещается трубка 3 с дном, закрытым прозрачным стеклом. Трубка 3 соединена с трубкой 6, которая внизу открыта, а наверху закрыта стандартным стеклом для сравнения. Стандартные окрашенные стекла помещены в специальные гнезда. Поворотом револьверного диска 5 в оптическую систему вводят стекло той или иной окрашенности (нормальности).

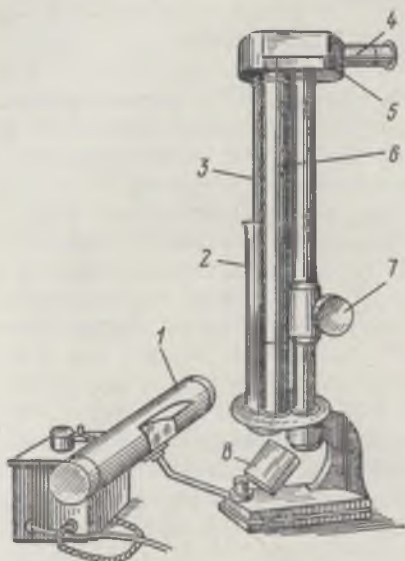


Рис. 62. Колориметр для сахарной промышленности КСМ:

1 — лампа; 2 — кювета; 3 — погружительная трубка; 4 — окуляр; 5 — диск с оптическими стеклами; 6 — трубка с нормальным стеклом; 7 — кремальберный винт; 8 — отражатель света.

Всю систему при помощи винта 7 можно перемещать в вертикальной плоскости. Перемещением трубки вверх или вниз соответственно увеличивают или уменьшают слой раствора между стеклами трубки и кюветы. Находят такое положение, при котором цветность слоя раствора равна окрашенности стандартного стекла. Высоту слоя раствора h измеряют по шкале на трубке.

Установку и отсчеты выполняют несколько раз (нечетное число — 5 или 7). Получаемые отсчеты располагают в ряд по возрастанию или уменьшению величин и выбирают среднюю из них, считая ее средней для всех отсчетов (среднее топографическое).

Например, полученные отсчеты расположены следующим образом: 16,0; 15,4; 15,2; 15,1; 14,9. Средней топографической величиной считают величину 15,2. Преимуществом такого отсчета является исключение влияния ошибочного отсчета

16,0, который повлиял бы на вычисление средней арифметической величины отсчета.

Перед началом работы проверяют установку прибора на нуль. Для этого в кювету наливают 15—25 мл слабого раствора перманганата (3—5 кристаллов KMnO_4 на 250 мл воды) и опускают погружительную трубку до контакта с защитным стеклом кюветы. В этом положении при отсутствии в оптической системе цветных стекол сравнения поле зрения должно быть бесцветным. При контакте защитных стекол погружительной трубки и кюветы нулевое деление шкалы должно совпадать со штрихом указателя шкалы. Если этого нет, то указатель совмещают с нулевым делением шкалы и фиксируют его винтом. В случае необходимости фотометрического равенства полуполей добиваются поворотом лампы в горизонтальной плоскости, а интенсивность освещения регулируют поворотом отражателя.

Сульфитированный сок предварительно фильтруют и наливают в кювету колориметра. Для определения цветности применяют 1-«нормальное» стандартное стекло.

При определении цветности сиропа берут 50 мл сиропа, переводят в колбу на 200 мл, доводят дистиллятом до метки, фильтруют и наливают фильтрат в кювету колориметра. Винтом устанавливают высоту слоя раствора h , соответствующую равной окрашенности обеих половин поля зрения. Цветность белого сахара определяют в пробе из каждого аппарата I продукта и в средней пробе, отобранной за смену в упаковочном отделении. Для анализа 100 г сахара растворяют в 200 мл теплого дистиллята. Раствор фильтруют и охлаждают. В фильтрате определяют содержание сухих веществ рефрактометром. Цветность определяют $1/4$ -«нормальным» стеклом и выражают на 100 частей сухих веществ.

При определении цветности желтого сахара навеску в 50 г растворяют в колбе на 200 мл, раствор фильтруют, определяют в нем СВ рефрактометром и цветность 2-«нормальным» стеклом. Предельная погрешность измерения цветности сахара-песка колориметром КСМ составляет $\pm 10\%$.

В каждой заводской лаборатории должно быть два колориметра КСМ. Один предназначается только для определения цветности белого сахара, второй — для определения цветности других полупродуктов.

Метод определения цветности колориметром КСМ имеет недостатки. Основной недостаток — несовпадение тона окраски исследуемого раствора с тоном окраски стандартного стекла. Поэтому для измерения цветности сахарных растворов современными методами предусмотрено применение света с длиной волны 560 нм.

Фотоэлектрический метод

Более объективные измерения цветности растворов выполняют фотоэлектрическими колориметрами отечественного производства типа ФЭК-56. Принцип работы фотоэлектрических приборов осно-

ти сока в процессе выпаривания концентрация сухих веществ в нем изменяется. Цветность сока и сиропа по корпусам будет также увеличиваться вследствие увеличения содержания сухих веществ и образования новых красящих веществ. Поэтому для получения сравнимых результатов необходимо пересчитать результаты определения цветности на 100 частей сухих веществ исследуемого раствора по формуле $C = (kn \cdot 100 \cdot 100) / (h \cdot CB \cdot d)$, где k — поправочный коэф-

фициент отклонения от нормы окрашенности стекла; n — нормальность стекла; h — высота слоя раствора в колориметре в момент выравнивания окраски, мм; CB — содержание сухих веществ в растворе, %; d — плотность раствора, г/см³.

Растворы перед определением цветности должны быть прозрачными (фильтрованными через кизельгур: 0,25 г на 100 мл).

Колориметр для сахарной промышленности КСМ (рис. 62) состоит из кюветы цилиндрической формы с дном, закрытым стеклянной пластинкой. Внутри кюветы помещается трубка 3 с дном, закрытым прозрачным стеклом. Трубка 3 соединена с трубкой 6, которая внизу открыта, а наверху закрыта стандартным стеклом для сравнения. Стандартные окрашенные стекла помещены в специальные гнезда. Поворотом револьверного диска 5 в оптическую систему вводят стекло той или иной окрашенности (нормальности).

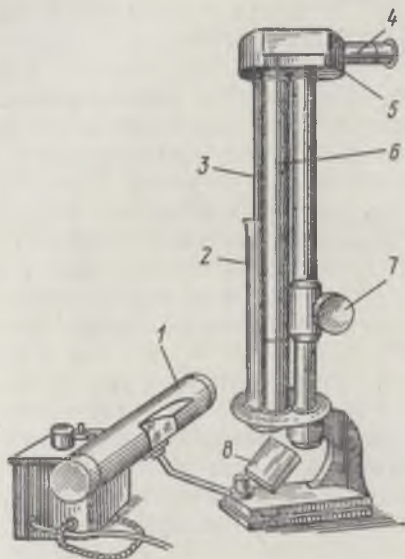


Рис. 62. Колориметр для сахарной промышленности КСМ;

1 — лампа; 2 — кювета; 3 — погружительная трубка; 4 — окуляр; 5 — диск с оптическими стеклами; 6 — трубка с нормальным стеклом; 7 — кремальерный винт; 8 — отражатель света.

Всю систему при помощи винта 7 можно перемещать в вертикальной плоскости. Перемещением трубки вверх или вниз соответственно увеличивают или уменьшают слой раствора между стеклами трубки и кюветы. Находят такое положение, при котором цветность слоя раствора равна окрашенности стандартного стекла. Высоту слоя раствора h измеряют по шкале на трубке.

Установку и отсчеты выполняют несколько раз (нечетное число — 5 или 7). Получаемые отсчеты располагают в ряд по возрастанию или уменьшению величин и выбирают среднюю из них, считая ее средней для всех отсчетов (среднее топографическое).

Например, полученные отсчеты расположены следующим образом: 16,0; 15,4; 15,2; 15,1; 14,9. Средней топографической величиной считают величину 15,2. Преимуществом такого отсчета является исключение влияния ошибочного отсчета

16,0, который повлиял бы на вычисление средней арифметической величины отсчета.

Перед началом работы проверяют установку прибора на нуль. Для этого в кювету наливают 15—25 мл слабого раствора перманганата (3—5 кристаллов KMnO_4 на 250 мл воды) и опускают погружительную трубку до контакта с защитным стеклом кюветы. В этом положении при отсутствии в оптической системе цветных стекол сравнения поле зрения должно быть бесцветным. При контакте защитных стекол погружительной трубки и кюветы нулевое деление шкалы должно совпадать со штрихом указателя шкалы. Если этого нет, то указатель совмещают с нулевым делением шкалы и фиксируют его винтом. В случае необходимости фотометрического равенства полуполей добиваются поворотом лампы в горизонтальной плоскости, а интенсивность освещения регулируют поворотом отражателя.

Сульфитированный сок предварительно фильтруют и наливают в кювету колориметра. Для определения цветности применяют 1-«нормальное» стандартное стекло.

При определении цветности сиропа берут 50 мл сиропа, переводят в колбу на 200 мл, доводят дистиллятом до метки, фильтруют и наливают фильтрат в кювету колориметра. Винтом устанавливают высоту слоя раствора h , соответствующую равной окрашенности обеих половин поля зрения. Цветность белого сахара определяют в пробе из каждого аппарата I продукта и в средней пробе, отобранной за смену в упаковочном отделении. Для анализа 100 г сахара растворяют в 200 мл теплого дистиллята. Раствор фильтруют и охлаждают. В фильтрате определяют содержание сухих веществ рефрактометром. Цветность определяют $1/4$ -«нормальным» стеклом и выражают на 100 частей сухих веществ.

При определении цветности желтого сахара навеску в 50 г растворяют в колбе на 200 мл, раствор фильтруют, определяют в нем СВ рефрактометром и цветность 2-«нормальным» стеклом. Предельная погрешность измерения цветности сахара-песка колориметром КСМ составляет $\pm 10\%$.

В каждой заводской лаборатории должно быть два колориметра КСМ. Один предназначается только для определения цветности белого сахара, второй — для определения цветности других полупродуктов.

Метод определения цветности колориметром КСМ имеет недостатки. Основной недостаток — несовпадение тона окраски исследуемого раствора с тоном окраски стандартного стекла. Поэтому для измерения цветности сахарных растворов современными методами предусмотрено применение света с длиной волны 560 нм.

Фотоэлектрический метод

Более объективные измерения цветности растворов выполняют фотоэлектрическими колориметрами отечественного производства типа ФЭК-56. Принцип работы фотоэлектрических приборов осно-

ван на применении двух фотоэлементов и уравнивании интенсивности двух потоков света переменной ширины щели диафрагмы. При одинаковой интенсивности световых пучков, направленных на оба фотоэлемента, разность фототоков будет равна нулю. Нулевое положение отмечают гальванометром или индикаторной лампой.

Если один пучок света пропустить через слой растворителя определенной толщины (воду), а другой — через такой же слой окрашенного раствора, то интенсивность света, выходящего из окрашенного раствора, будет меньше интенсивности пучка света, выходящего из слоя растворителя. Эти пучки света, падая на фотоэлементы, покажут разность фототоков на гальванометре (или на индикаторной лампе). Для измерения этой разности, которая характеризует светопоглощение слоем исследуемого раствора, фототоки компенсируют изменением интенсивности светового потока диафрагмой. Изменение ширины щели диафрагмы связано с делениями шкалы на отсчетном барабане.

На отсчетном барабане фотоэлектрического колориметра ФЭК-56 нанесены две шкалы: шкала коэффициентов светопропускания T и шкала оптической плотности D . Связь между делениями обеих шкал определяется уравнением $D = \lg T$.

По оптической плотности D можно найти коэффициент экстинкции K : $K = D/Ch$, где h — толщина слоя исследуемого раствора в кювете (размер кюветы), мм; C — концентрация красящих веществ в растворе, г/мл.

Отсчет производят на одной из шкал барабана и находят величину оптической плотности раствора D или коэффициент светопропускания T .

Фотоэлектрический колориметр снабжен набором кювет различных размеров (1, 3, 5, 10, 20, 50 мм) и девятью светофильтрами с различной длиной волны. Цветность заводских соков определяют светом с длиной волны 560 нм.

В настоящее время в сахарной промышленности цветность растворов выражают в градусах Штаммера ($^{\circ}\text{Шт.}$). Стандарт на белый сахар также предусматривает цветность в $^{\circ}\text{Шт.}$ Цветность, выраженную величиной оптической плотности (D) и определенную фотоэлектрическим колориметром, можно выразить в $^{\circ}\text{Шт.}$, зная оптическую плотность «нормального» стекла Штаммера.

По данным С. З. Иванова, при длине волны света $\lambda = 560$ нм оптическая плотность 1-«нормального» стекла равна 0,140. П. М. Силин предложил принять величину 0,160, исходя из $1/4$ -«нормального» стекла, применяемого для определения цветности белого сахара. Таким образом, если раствор сахара при толщине слоя 100 мм имеет оптическую плотность 0,160, то его цветность в градусах Штаммера равна 1. Например, если исследуемый раствор при толщине слоя b (размер кюветы) имеет оптическую плотность D , то оптическая плотность 1 см слоя этого раствора будет равна D/b , а 100 мм слоя раствора — $D \cdot 100 : b$. Так как оптическая плотность 1-«нормального» стекла Штаммера принята равной 0,160, то цветность исследуемого раствора (в $^{\circ}\text{Шт.}$) будет равна $D \cdot 100 / (b \cdot 0,160)$.

Инструкцией по химико-технологическому контролю и учету сахарного производства предусматривается определение цветности

сахара и продуктов сахарного производства фотоэлектрическим колориметром-цветомером А1-ЕЦ2-С по оптической плотности в монохроматическом свете. Измерения оптической плотности производятся в пределах от 0 до 2 ед. с помощью интерференционных све-

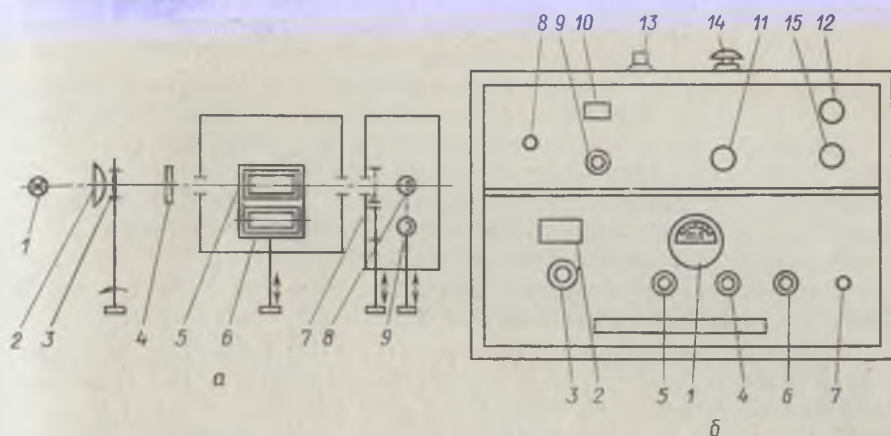


Рис. 63. Прибор А1-ЕЦ2-С для определения цветности:

а — оптическая схема прибора (1 — источник света; 2 — линза; 3 — диафрагма; 4 — светофильтр; 5 и 6 — кюветы; 7 — диафрагма; 8 и 9 — фотоэлементы); б — внешний вид прибора (1 — микроамперметр; 2 — шкала коэффициента пропускания и оптической плотности; 3 — рукоятка отсчетного реохорда; 4 и 5 — рукоятки грубой и плавной настройки; 6 — рукоятка регулирования тока; 7 — заслонка; 8 — «глазок», сигнализирующий включение прибора; 9 — рукоятка регулирования диафрагмы; 10 — шкала диафрагмы; 11 — рукоятка для перемещения кювет; 12 — рукоятка заслонки фотоэлементов; 13 — люк для установки светофильтров; 14 — крышка люка для установки кювет; 15 — рукоятка переключения фотоэлементов).

тофильтров в диапазоне от 400 мμ, в том числе при следующих длинах волн: $\lambda_1 = 420$ мμ; $\lambda_2 = 560$ мμ; $\lambda_3 = 720$ мμ.

Прибор укомплектован кюветами длиной от 1 до 50 мм. Приемником световой энергии служат 2 сменных фотоэлемента Ф-4 и Ф-5. Фотоэлемент с сурьмяно-цезиевым катодом включают в цепь при измерениях на длине волны 420 и 560 мμ. Фотоэлемент Ф-5 с кислородно-серебряно-цезиевым катодом применяют при измерениях на длине волны 720 мμ. Прибор обеспечивает измерение коэффициента светопропускания с абсолютной погрешностью $\pm 1\%$.

На цветомере А1-ЕЦ2-С измеряют оптическую плотность (или светопропускание) исследуемого раствора относительно эталонного, оптическая плотность которого принимается за нуль (светопропускание 100%). На рис. 63 представлена принципиальная оптическая схема прибора.

Световой поток от источника света 1 направляется конденсатором 2 через диафрагму, светофильтр, кюветы 5 и 6 на фотоэлементы 8 и 9. На пути монохроматического светового потока поочередно устанавливают кювету с эталонным раствором и кювету с исследуемым раствором. По изменению фототока на шкале пропуска-

ния отсчетного реохорда определяют отношение светового потока, прошедшего через исследуемый раствор, к световому потоку, прошедшему через эталон. Шторка 7 предназначена для перекрывания световых лучей, поступающих в камеру фотоэлементов.

Источником излучения служит лампа накаливания СГ2. Питание прибора — от сети переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Температура окружающей среды 10—35°C.

Для определения цветности сахара-песка и сахара-рафинада навеску 100 г растворяют в 110 мл дистиллята при 90—100°C. Концентрация раствора приблизительно 50% по рефрактометру. Раствор фильтруют через двойной батистовый фильтр, поверх которого укладывают двойной бумажный фильтр. Первую порцию фильтрата отбрасывают, а две последующие возвращают в воронку.

Фильтрат заливают в кювету 50 мм и определяют его оптическую плотность при длине волны 420 и 720 нм в цветомере А1-ЕЦ2-С. В качестве эталона используют свежий дистиллят.

Расчет производят по формуле $C_0 = (100 \cdot 1000 \cdot D_{420}) / (CB \cdot db)$, где C_0 — цветность сахара в физических единицах; D_{420} — оптическая плотность раствора сахара при длине волны 420 нм; CB — содержание сухих веществ в растворе по рефрактометру, %; d — плотность раствора, г/см³; b — длина кюветы, см.

Значение оптической плотности фильтрованного раствора при длине волны 420 нм с учетом величины D_{720} определяют по формуле $D_{420} = (D'_{420} D''_{720} - D''_{420} D_{720}) / (D''_{720} - D'_{720})$, где D'_{420} и D'_{720} — оптическая плотность фильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 720 нм, D''_{420} и D''_{720} — оптическая плотность нефильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 720 нм.

Цветность сахара, выраженную в условных единицах (ед. Штаммера), определяют по формуле $C = C_0 / 115$, где C — цветность сахара в условных единицах; 115 — коэффициент перевода цветности из физических единиц в условные.

Цветность сока второй сатурации определяют при исходном содержании сухих веществ. Сироп, клеровку, желтый сахар, утфель и оттеки разбавляют горячим дистиллятом до содержания СВ 15% по рефрактометру. Мелассу разбавляют до содержания СВ 1% путем смешивания одной части раствора с концентрацией СВ 15% с 14 частями дистиллята. Раствор смешивают с 2% кизельгура по массе сухих веществ и фильтруют через бумажно-батистовый фильтр. Фильтрат доводят до pH 7,0 0,1 н. раствором соляной кислоты или едкого натра. Длину кюветы выбирают с таким расчетом, чтобы показания прибора находились в пределах 10—90% по шкале коэффициента светопропускания.

Измерения на цветомере А1-ЕЦ2-С проводят при длине волны 560 нм с эталоном из дистиллята.

Расчет ведется по формуле $C_0^T = (100 \cdot 100 \cdot D_{560}) / (CB \cdot db)$, где C_0^T — цветность темного продукта в физических единицах; D_{560} — оптическая плотность раствора продукта при длине волны 560 нм.

Нефелометрический метод

Определение мутности соков и сиропов имеет важное значение для контроля их очистки и фильтрации. Например, содержание в фильтрованном сиропе взвешенных частиц замедляет кристаллизацию сахара, ухудшает его качество; растворы сахара с включением нерастворимых частичек всегда непрозрачные. Для установления степени мутности (или прозрачности) раствора применяют метод нефелометрии.

В основу этого метода положено измерение возрастающей абсорбции или же рассеивание света, причем наблюдают свет, отраженный от частиц мути. Интенсивность отраженного света и абсорбция его лишь в определенных границах пропорциональны концентрации взвесей, обуславливающих мутность раствора. Например, при одинаковой концентрации и величине частиц свет, отраженный частицами кизельгура, по интенсивности значительно выше для кизельгура, чем для норита.

Тонкую муть можно исследовать при помощи специальных нефелометров. Нефелометры позволяют сравнивать мутность двух растворов путем наблюдения эффекта Тиндаля: свечение раствора при сильном боковом освещении через узкую щель.

В контроле свежесахарного производства мутность определяют визуально: устанавливают искристость сока, рассматривая пробирку или плоскую стеклянную колбу против света.

Для количественного определения мутности соков и сиропов, кроме нефелометров, можно применять как универсальный, так и фотоэлектрический колориметр (например, А1-ЕЦ2-С, ФЭК-56). Содержание мути при одной и той же цветности раствора увеличивает коэффициент экстинкции. Для определения в одну из двух кювет фотоэлектрического колориметра наливают исследуемый сок или сироп, а в другую — соответствующий раствор, но тщательно профильтрованный через качественный кизельгур. Полученная таким методом относительная экстинкция зависит в определенной степени от мутности окрашенного раствора и будет характеризоваться некоторой относительной величиной.

Методика нефелометрических наблюдений в сахарном производстве следующая. Мутность растворов продуктов сахарного производства в физических единицах определяют по разности коэффициентов погашения нефилтрованных и фильтрованных растворов.

Расчеты производят по формулам:

для белого сахара $M_c = 100000 (D''_{420} - D'_{420}) / (CB \cdot db)$,

для темных растворов $M_{т.р} = 100000 (D''_{560} - D'_{560}) / (CB \cdot db)$,

где M_c и $M_{т.р.}$ — показатель мутности соответственно сахара-песка и темного раствора;

D'_{420} и D'_{560} — оптическая плотность фильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 560 нм;

D''_{420} и D''_{560} — оптическая плотность нефилтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 560 нм;

d — плотность раствора, г/см³;

b — длина кюветы, см.

ния отсчетного реохорда определяют отношение светового потока, прошедшего через исследуемый раствор, к световому потоку, прошедшему через эталон. Шторка 7 предназначена для перекрывания световых лучей, поступающих в камеру фотоэлементов.

Источником излучения служит лампа накаливания СГ2. Питание прибора — от сети переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Температура окружающей среды 10—35°C.

Для определения цветности сахара-песка и сахара-рафинада навеску 100 г растворяют в 110 мл дистиллята при 90—100°C. Концентрация раствора приблизительно 50% по рефрактометру. Раствор фильтруют через двойной батистовый фильтр, поверх которого укладывают двойной бумажный фильтр. Первую порцию фильтрата отбрасывают, а две последующие возвращают в воронку.

Фильтрат заливают в кювету 50 мм и определяют его оптическую плотность при длине волны 420 и 720 нм в цветомере А1-ЕЦ2-С. В качестве эталона используют свежий дистиллят.

Расчет производят по формуле $C_0 = (100 \cdot 1000 \cdot D_{420}) / (CB \cdot db)$, где C_0 — цветность сахара в физических единицах; D_{420} — оптическая плотность раствора сахара при длине волны 420 нм; СВ — содержание сухих веществ в растворе по рефрактометру, %; d — плотность раствора, г/см³; b — длина кюветы, см.

Значение оптической плотности фильтрованного раствора при длине волны 420 нм с учетом величины D_{720} определяют по формуле $D_{420} = (D'_{420}D''_{720} - D''_{420}D_{720}) / (D''_{720} - D'_{720})$, где D'_{420} и D'_{720} — оптическая плотность фильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 720 нм, D''_{420} и D''_{720} — оптическая плотность нефильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 720 нм.

Цветность сахара, выраженную в условных единицах (ед. Штампера), определяют по формуле $C = C_0 / 115$, где C — цветность сахара в условных единицах; 115 — коэффициент перевода цветности из физических единиц в условные.

Цветность сока второй сатурации определяют при исходном содержании сухих веществ. Сироп, клеровку, желтый сахар, утфель и оттеки разбавляют горячим дистиллятом до содержания СВ 15% по рефрактометру. Мелассу разбавляют до содержания СВ 1% путем смешивания одной части раствора с концентрацией СВ 15% с 14 частями дистиллята. Раствор смешивают с 2% кизельгура по массе сухих веществ и фильтруют через бумажно-батистовый фильтр. Фильтрат доводят до pH 7,0 0,1 н. раствором соляной кислоты или едкого натра. Длину кюветы выбирают с таким расчетом, чтобы показания прибора находились в пределах 10—90% по шкале коэффициента светопропускания.

Измерения на цветомере А1-ЕЦ2-С проводят при длине волны 560 нм с эталоном из дистиллята.

Расчет ведется по формуле $C_0^T = (100 \cdot 100 \cdot D_{560}) / (CB \cdot db)$, где C_0^T — цветность темного продукта в физических единицах; D_{560} — оптическая плотность раствора продукта при длине волны 560 нм.

Нефелометрический метод

Определение мутности соков и сиропов имеет важное значение для контроля их очистки и фильтрации. Например, содержание в фильтрованном сиропе взвешенных частиц замедляет кристаллизацию сахара, ухудшает его качество; растворы сахара с включением нерастворимых частичек всегда непрозрачные. Для установления степени мутности (или прозрачности) раствора применяют метод нефелометрии.

В основу этого метода положено измерение возрастающей абсорбции или же рассеивание света, причем наблюдают свет, отраженный от частиц мути. Интенсивность отраженного света и абсорбция его лишь в определенных границах пропорциональны концентрации взвесей, обуславливающих мутность раствора. Например, при одинаковой концентрации и величине частиц свет, отраженный частицами кизельгура, по интенсивности значительно выше для кизельгура, чем для норита.

Тонкую муть можно исследовать при помощи специальных нефелометров. Нефелометры позволяют сравнивать мутность двух растворов путем наблюдения эффекта Тиндаля: свечение раствора при сильном боковом освещении через узкую щель.

В контроле свеклосахарного производства мутность определяют визуально: устанавливают искристость сока, рассматривая пробирку или плоскую стеклянную колбу против света.

Для количественного определения мутности соков и сиропов, кроме нефелометров, можно применять как универсальный, так и фотоэлектрический колориметр (например, А1-ЕЦ2-С, ФЭК-56). Содержание мути при одной и той же цветности раствора увеличивает коэффициент экстинкции. Для определения в одну из двух кювет фотоэлектрического колориметра наливают исследуемый сок или сироп, а в другую — соответствующий раствор, но тщательно профильтрованный через качественный кизельгур. Полученная таким методом относительная экстинкция зависит в определенной степени от мутности окрашенного раствора и будет характеризоваться некоторой относительной величиной.

Методика нефелометрических наблюдений в сахарном производстве следующая. Мутность растворов продуктов сахарного производства в физических единицах определяют по разности коэффициентов погашения нефилтрованных и фильтрованных растворов.

Расчеты производят по формулам:

для белого сахара $M_c = 100000 (D''_{420} - D'_{420}) / (CB \cdot db)$,

для темных растворов $M_{т.р} = 100000 (D''_{560} - D'_{560}) / (CB \cdot db)$,

где M_c и $M_{т.р.}$ — показатель мутности соответственно сахара-песка и темного раствора;

D'_{420} и D'_{560} — оптическая плотность фильтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 560 нм;

D''_{420} и D''_{560} — оптическая плотность нефилтрованного раствора при длине волны соответственно 420 и 560 нм;

d — плотность раствора, г/см³;

b — длина кюветы, см.

Плотность известкового молока

Пробу известкового молока помещают в цилиндр и тщательно перемешивают.

Плотность определяют ареометром. Известковое молоко должно иметь плотность 1,19—1,20 г/см³.

Определение свободной извести

Из тщательно перемешанной пробы отвешивают на технических весах 10—15 г известкового молока. Навеску без потерь переводят в колбу на 250 мл дистиллятом, доливают воды до метки, тщательно перемешивают и сразу же отбирают из колбы пипеткой 50 мл разбавленного известкового молока. Эти 50 мл помещают в коническую колбу на 200—250 мл, прибавляют несколько капель фенолфталеина и титруют нормальным раствором соляной кислоты до исчезновения окраски.

Содержание извести в известковом молоке определяют по формуле $\text{CaO}_{\text{своб}} = 14 x : y$, где x — количество нормального раствора соляной кислоты, израсходованное на титрование, мл; y — навеска известкового молока, г.

Количество CaO (в % к массе известкового молока) составит $0,028 x \cdot 5 \cdot 100 : y = 14 x : y$.

Определение общей извести

Для определения общей извести в молоке [сумма $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_3$] отбирают пипеткой 50 мл того же разбавленного известкового молока и переводят в коническую колбу на 200—250 мл. Прибавляют 50 мл 1 н. раствора соляной кислоты, нагревают до кипения и охлаждают. При этом свободная известь и CaCO_3 переходят в CaCl_2 . Полученный раствор титруют 1 н. раствором едкого натра в присутствии индикатора метилоранжа до перехода красной окраски в оранжево-желтую. При титровании определяют количество свободной кислоты, оставшейся после реакции с известью.

Если на титрование израсходовано x мл 1 н. раствора щелочи, то на реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 затрачено $(50 - x)$ мл 1 н. раствора соляной кислоты.

Содержание общей извести будет равно: $\text{CaO}_{\text{общ}} = 14 \cdot (50 - x) : y$.

Определение доброкачественности эчищенного нормального сока

Доброкачественность очищенного нормального сока близка к величине доброкачественности очищенного сока второй сатурации и дает представление об эффекте очистки, который может быть достигнут при переработке свеклы данного качества.

По инструкции рекомендуется определять доброкачественность очищенного нормального (клеточного) сока за 2—3 дня до начала переработки свеклы и во всех случаях резкого изменения качества свеклы, поступающей на переработку.

Среднюю пробу свеклы измельчают на терке и с помощью прессы отделяют клеточный сок от мезги. 200 мл сока нагревают до 90°C и прибавляют к нему дважды пипеткой по 20 мл известкового молока, содержащего 5 г СаО в 100 мл. Первый раз 20 мл молока прибавляют к соку в течение 3—4 мин при энергичном перемешивании (предварительная дефекация). Затем быстро прибавляют вторые 20 мл молока при непрерывном перемешивании. После этого сок вновь нагревают до 90°C и фильтруют через складчатый бумажный фильтр. Фильтрат сатирируют до нейтральной реакции на фенолфталеин (окраска отсутствует).

После сатурации сок с осадком кипятят 5 мин для разложения бикарбонатов и вторично фильтруют. В охлажденном соке определяют сухие вещества (прецизионным рефрактометром), сахар и чистоту.

Для определения сахара берут двунормальную навеску сока, переводят ее в колбу на 100 мл, освещают свинцовым уксусом, доводят до метки дистиллятом, перемешивают и фильтруют. При поляризации в трубке длиной 200 мм показание шкалы поляриметра, деленное на два, равно сахаристости сока (в %).

Определение оптимальной щелочности сока первой сатурации

Оптимальную щелочность сока первой сатурации рекомендуют устанавливать один раз в декаду. Щелочность устанавливают по величине pH_{20} , оптимальное значение которой принято равным 10,8—11,2.

Пробу дефекованного сока постепенным сатирированием (в лаборатории) доводят до pH 10,8—11,2 при 20°C и фильтруют. Затем определяют щелочность фильтрата титрованием в присутствии фенолфталеина. Величина щелочности, соответствующая этому значению pH при 20°C, является оптимальной.

Определение скорости осаждения осадка сока первой сатурации

Для оценки седиментационных свойств осадка сока определяют среднюю скорость (S) осаждения за первые 5 или 10 мин (в см/мин) — при нормальной работе $S=2,0 \div 2,5$ см/мин; объем осадка через 25 мин от начала отстаивания: при нормальной работе объем осадка составляет 15—20% к общему объему сока в цилиндре V .

Пробу сока после тщательного перемешивания наливают в стеклянный цилиндр со стеклянным кожухом. Внутренний цилиндр имеет диаметр 30 и высоту 350 мм. Снаружи кожуха наклеивают полоску миллиметровой бумаги с делениями 350—0 мм. Температуру сока в цилиндре в период определения скорости осаждения

поддерживают на уровне 80°C с помощью воды в кожухе и термостата.

На практике часто определение ведут в обычном стеклянном цилиндре высотой 350—400 мм.

Через 5 и 10 мин отмечают высоту неосветленного слоя сока и определяют среднюю скорость осаждения за 5 или 10 мин. Через 25 мин определяют объем, занимаемый осадком в цилиндре, в % к первоначальному объему сока в цилиндре V .

Определение коэффициента фильтрации сока первой сатурации

Фильтрационную способность сока первой сатурации оценивают коэффициентом F_k , т. е. величиной, обратной фильтрационной способности сока. F_k определяют на специальной установке с применением микрофилтра с поверхностью 2 см². Диаметр филтра 15,96 мм.

350—500 мл сатурационного сока температурой около 75°C наливают в стеклянный стакан, устанавливаемый на магнитной мешалке с электроподогревом. Фильтрацию проводят через плотную фильтровальную бумагу при 65°C и остаточном давлении 0,53 МПа.

F_k определяют следующим образом. Отмечают продолжительность прохождения филтратата в бюретке между метками 2—4 и 6—8 мл, обозначая ее соответственно через τ_1 и τ_2 . Тогда величина фильтрационного коэффициента составит: $F_k = (\tau_2 - \tau_1) / 2$, где 2 — поверхность филтра, см².

При $F_k < 3$ обеспечивается хорошая фильтрация на вакуум-филтрах, от 3 до 6 — удовлетворительная, более 6 — неудовлетворительная.

Определение оптимальной щелочности сока второй сатурации

Оптимальную щелочность устанавливают не реже одного раза в 5 дней. Применяют несколько методов установления оптимальной щелочности. Более точным, но длительным является метод постепенного сатурирования. Менее точен так называемый экспресс-метод.

Метод постепенного сатурирования. 1 л фильтрованного сока первой сатурации нагревают до 85°C и разливают в стаканчики вместимостью 100 мл. В каждый стаканчик добавляют по 20 капель 1%-ного раствора фенолфталеина и сатируют до разной степени окраски фенолфталеина. Например, сок в первом стаканчике сатируют до темно-розовой окраски, во втором — до менее интенсивной и т. д. Таким путем получают плавную гамму оттенков в 6—7 стаканчиках.

Затем все пробы фильтруют и определяют в филтратах щелочность и содержание солей кальция. Та величина щелочности, при которой в соке присутствует меньше всего солей кальция, и будет оптимальной.

Экспресс-метод. Из средней пробы фильтрованного сока первой сатурации отбирают 200 мл и сатируют до нейтральной реакции на фенолфталеин. Затем к соку прибавляют 1 г порошкообразного мела (CaCO_3) и кипятят пересатурированный сок в течение 10 мин для разложения бикарбонатов. После этого объем сока доводят дистиллятом до 200 мл, фильтруют в горячем состоянии и определяют щелочность фильтрата. К полученным результатам прибавляют 0,002% CaO (поправка на неразложившиеся при кипячении бикарбонаты).

Данные экспресс-метода рекомендуется периодически проверять методом постепенного сатурирования.

Определение оптимального pH сока второй сатурации

При переработке долго хранившейся или подпорченной свеклы трудно установить оптимальную щелочность сока по фенолфталеину методом постепенного сатурирования. Это объясняется сдвигом оптимальной точки в зону pH, где фенолфталеин не окрашивается. В этом случае более объективным показателем является оптимальное значение pH сока второй сатурации.

Пробу фильтрованного сока первой сатурации (1 л) делят на две части. Одну часть сатируют 15 мин до pH 7,0—7,2 при 20°C и фильтруют. Затем в охлажденных пробах определяют содержание солей кальция. После этого смешивают пересатурированный и несатурированный соки в количествах, соответствующих одинаковому содержанию солей кальция, перемешивают и определяют pH. Найденное значение pH и будет оптимальным для второй сатурации.

Теоретической основой этого способа является следующее. В фильтрованном соке первой сатурации содержатся $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH и некоторое количество NaOH . В нормально сатурированном соке второй сатурации должны быть лишь K_2CO_3 , Na_2CO_3 и растворимые соли кальция. В пересатурированном соке содержатся бикарбонаты калия, натрия и кальция. При смешивании соков произойдет максимальный переход бикарбонатов в карбонаты. А карбонаты щелочей и определяют pH сока.

Определение количества кристаллического сахара в утфеле

Количество кристаллического сахара определяют по данным анализа утфеля и межкристального отека. Оттек получают в лаборатории с помощью трубки с мелким ситом на одном конце. За 2—3 мин в трубку отфильтровывают необходимое количество отека для анализа. Для исключения попадания мелких кристаллов сахара в оттек рекомендуется закрыть сито снаружи тонким батистом.

Утфель состоит из кристаллического сахара (K) и межкристального отека ($100 - K$). Если по анализу содержание сахара в утфеле C_1 , а сахара в отеке — C_2 , то сахар утфеля составляют кристаллический сахар и сахар в отеке: $C = K + (100 - K) \cdot C_1 : 100$; $K = (C - C_1) \cdot 100 : (100 - C_1)$.

Лаборатория контролирует качество белого сахара, выпускаемого заводом, в соответствии с ГОСТом.

Пробы белого сахара отбирают в сушке при фуговке утфеля I продукта из каждого вакуум-аппарата. Гранулометрический состав определяют рассевом 100 г сахара через набор сит Кноппа.

Исследуют систематически средние пробы сахара, упакованного за смену, средние пробы за сутки и средние пробы за декаду.

Часть среднесменной пробы сахара исследуют, а другую часть направляют в банку для составления среднесуточной пробы. Из среднесуточных проб составляют среднюю пробу сахара за декаду.

В средних пробах сахара за смену определяют цветность, а в среднесуточных пробах ускоренным методом определяют также содержание влаги.

В средней пробе сахара за декаду определяют поляризацию, содержание влаги (высушиванием), редуцирующие вещества, золу, ферропримеси, внешний вид (органолептически) и реакцию. Методы этих анализов изложены выше.

Определение ферропримесей производят по следующей методике: навеску сахара в 500 г рассыпают тонким слоем на лист бумаги; на слой сахара накладывают ребристую решетку для получения квадратов; металлические примеси выделяют с помощью магнита с подъемной силой не менее 3 кг.

Выделенные примеси переносят на взвешенное часовое стекло. Выделение примесей из сахара на листе выполняют несколько раз до полного их выделения. Все выделенные примеси взвешивают и определяют их количество (в мг на 1 кг сахара).

Для определения реакции 10 г сахара растворяют в 100 мл дистиллята и титруют раствор кислотой или щелочью ($1/28$ н.) в присутствии индикатора бромтимолового синего. Сахар, дающий с бромтимоловым синим желтое окрашивание, — кислый, синее — щелочной.

Определение вязкости мелассы

Вязкость межкристальной патоки влияет на процесс кристаллизации, и особенно при кристаллизации утфеля последнего продукта.

Вязкость мелассы рекомендуется определять при содержании СВ 78—80% и температуре 30°C. Перед определением вязкости мелассу нагревают 30 мин на водяной бане при 80°C в герметической банке при периодическом перемешивании содержимого переворачиванием банки; таким образом растворяют содержащиеся в мелассе мелкие кристаллы.

Из мелассы обязательно удаляют пузырьки воздуха (пену), которые резко искажают результаты определения вязкости. Для этого мелассу выдерживают при температуре 30°C (близкой к температуре фуговки) и при пониженной концентрации сухих веществ (78—80% СВ).

Так как нормальной считают мелассу с 82% СВ (рефрактометрически, без разбавления), имеющей при 40°C вязкость около 4,4 Па·с, то для получения сравнимых результатов, зная вязкость мелассы при известных концентрации СВ и температуре, определяют ее вязкость при других условиях по номограмме.

Для определения вязкости обычно применяют вискозиметр Гепплера со скользящим шариком (рис. 64).

Вискозиметр представляет собой стеклянную трубку длиной 250 и диаметром 15,985 мм с двумя метками на расстоянии 100 мм одна от другой. Трубка заключена в стеклянный кожух, в котором циркулирует вода из термостата.

Прибор снабжен девятью шариками различных диаметров — от 11,005 до 15,968 мм. Шариком с наибольшим диаметром измеряют вязкость газов. Другими шариками измеряют вязкость жидкостей в пределах от 5 Па·с до 10 МПа·с.

Измерение вязкости заключается в установлении времени падения шарика в исследуемой жидкости от одной метки до другой. Для этого трубку заполняют испытуемой жидкостью и устанавливают ее под углом 9,8° к вертикали.

В зависимости от диаметра шарика и времени его падения в трубке между метками по прилагаемой таблице определяют вязкость исследуемой жидкости.

Измерение повторяют после нового поворота вискозиметра.

Величину вязкости η определяют по формуле $\eta = z(d_k - d)K$, где z — время падения шарика, с; d_k — плотность шарика, г/см³; d — плотность исследуемого раствора г/см³; K — константа прибора для данного шарика и трубки.

Для автоматического измерения времени падения шарика в трубке разработана специальная приставка, которая позволяет более точно и менее трудоемко проводить измерения вязкости, особенно темноокрашенных продуктов.

Для оперативного контроля режима кристаллизации утфеля последнего продукта вязкость мелассы можно определять более простым по конструкции вискозиметром Штейнера. Прибор состоит из стеклянной трубки длиной 175 мм с внутренним диаметром 7—8 мм. Трубку с обоих концов закрывают резиновыми пробками, в одну из которых вставлена стеклянная трубка диаметром 1 мм,

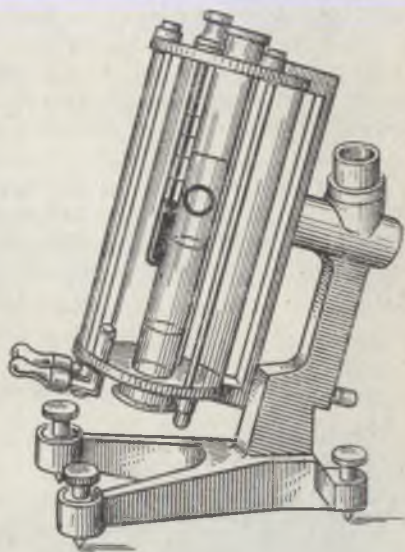


Рис. 64. Вискозиметр Гепплера со скользящим шариком.

выступающая над пробкой на 10 мм. Через эту трубку удаляется из мелассы при ее нагревании воздух и избыток расширяющейся мелассы. Это обеспечивает постоянный объем пузырька воздуха под пробкой с трубочкой, опущенной нижним концом в зеркало мелассы. Измерение вязкости осуществляют переверотом трубки в вертикальной плоскости на 180° и замером времени подъема пузырька воздуха от конца закрытой стеклянной расширительной трубочки до верхней пробки. Для повторения замера прибор поворачивают на 180° . Постоянство температуры исследуемого раствора обеспечивают помещением прибора в стеклянный термостат.

Вязкость определяют по формуле $\eta = Kdz$.

Постоянную прибора K определяют для каждой трубки, производя измерение времени всплывания пузырька в стандартном растворе с известной вязкостью, определенной в вискозиметре Гепплера. Вискозиметр Штейнера обеспечивает погрешность в измерении $\pm 5\%$.

Анализ мелассы

Отбор проб. Место отбора пробы мелассы определяется целью исследования. Для контроля процесса кристаллизации утфеля последнего продукта (например, степени раскочки) мелассу отбирают под центрифугами. Одновременно измеряют температуру фугуемого утфеля. При 40°C утфеля последнего продукта эта меласса по исследованию непосредственно рефрактометром без разбавления должна содержать 82% и при 50°C — 84% сухих веществ.

При определении СВ методом разбавления 1 : 1 содержание СВ на 1,5% выше и при 40°C составит 83,5%. При анализе методом нормальной навески (26,00 г в 100 мл воды) содержание СВ должно быть примерно 85%.

Таким образом, в пробе определяют видимые сухие вещества, сахар и доброкачественность для установления правильности раскочки утфеля водой. Отбирают пробу из ящика для взвешивания так называемой технической патоки, концентрация которой несколько ниже (вследствие промывки сит и пропарки центрифуг), чем патоки из-под центрифуг.

Из резервуаров отбирают пробу товарной патоки, которую анализируют на содержание видимых СВ, сахара, доброкачественность и реакцию.

Определение СВ. Истинные сухие вещества определяют высушиванием 1—2 г мелассы на бумажных роликах. Высушивание считают законченным, если разность при двух взвешиваниях не превышает 1 мг.

Видимые СВ мелассы определяют методом разбавления 1 : 1 рефрактометром. В производственных условиях СВ определяют без разбавления рефрактометром, иногда с применением призмы Германчука. Для этой цели 100 г мелассы нагревают в герметически закрытой банке на водяной бане при $70\text{—}80^\circ\text{C}$ в течение 30 мин для

полного растворения мелких кристаллов, периодически переворачивая банку.

Определение сахара. Для определения сахара по прямой поляризации отвешивают нормальную навеску раствора, приготовленного для рефрактометрирования, или $1/2$ нормальной навески мелассы, переводят ее в колбу на 100 мл, охлаждают и освещают растворами реактива Герлеса (7—10 мл каждого) по частям в 3—4 приема. При освещении раствором свинцового уксуса добавляют его 6—9 мл. Щелочную мелассу предварительно нейтрализуют разбавленной 1 : 3 уксусной кислотой в присутствии фенолфталеина. Колбу доливают дистиллятом почти до метки при 20°C, удаляют пену каплей эфира и окончательно доливают дистиллят до метки. Колбу взбалтывают и после 2—5-минутного отстаивания фильтруют. Фильтрат поляризуют в трубках длиной 100 и 200 мм. Показания поляриметра соответственно увеличивают в 4 или 2 раза, получая содержание сахара в процентах к массе мелассы.

При темных фильтратах применяют дополнительное освещение однозамещенным фосфатом аммония и обесцвечивание гидросульфитом натрия или бисульфитом натрия по методике. Для удаления из раствора свинца к осветленному фильтрату прибавляют сухой измельченный порошок $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ из расчета 0,9 г на 100 мл фильтрата. Раствор взбалтывают до полного растворения порошка. Затем добавляют на каждые 10 мл фильтрата 0,2 г гидросульфита натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) или бисульфита натрия (NaHSO_3). Раствор перемешивают и выдерживают 20 мин, затем взбалтывают и фильтруют через двойной фильтр. Для анализа отбирают прозрачный фильтрат.

Полунормальную навеску (13,00 г) мелассы в 100 мл берут для уменьшения ошибки при поляризации из-за обильного осадка от свинцового уксуса. Разность между количеством сахара по прямой и инверсионной поляризации незначительна. Обычно чистота при прямой поляризации выше на 0,3—0,4 ед., чем при инверсионной, за счет присутствия правовращающих веществ.

Определение солей кальция. Содержание солей кальция в мелассе выражают в процентах CaO к массе мелассы и определяют одним из приведенных выше способов. Для анализа обычно берут 1 г мелассы. Высокое содержание кальциевых солей свидетельствует о переработке низкокачественного сырья.

Определение золы. Содержание ее определяют сжиганием 1—2 г мелассы сульфатной кислотой. При пересчете на карбонатную золу полученный процент сульфатной золы умножают на коэффициент 0,9.

Определение азота и редуцирующих веществ. Содержание этих веществ определяют соответственно по методу Кьельдаля и методу Оффера.

Реакция мелассы. Ее определяют рН-метром или индикатором бромтимоловым синим. Для этого 2 г патоки смешивают с 200 мл нейтрального дистиллята, 1—2 капли раствора переносят в белую

фарфоровую чашку и добавляют 1 каплю индикатора. Щелочная реакция мелассы дает синюю, а кислая — желтую окраску.

Цветность мелассы. 2 г мелассы растворяют в колбе на 200 мл и доводят водой до метки. Определение цветности выполняют, как для сульфитированного сока.

Доброкачественность мелассы. Определяют как видимую, так и истинную доброкачественность. Критерием эффективности работы станции кристаллизации является величина разности между *Дб* заводской мелассы и ее нормальной *Дб*, определяемой по методике П. М. Силина. Такой сравнительный анализ мелассы производят один раз в декаду в средней за декаду пробе мелассы.

Порцию мелассы 100—120 г помещают в закрытый металлический сосуд (сосуд для разбавления, дигестионный), который нагревают при встряхивании на водяной бане до 70—80°C в течение 30 мин до полного растворения кристаллов сахара. Затем сосуд охлаждают до 20°C и определяют в мелассе содержание сахара и сухих веществ без разбавления (призмой Германчука) и при разбавлении 1 : 1, а также определяют соответствующую доброкачественность.

Вторую порцию мелассы 400—450 г выпаривают 40—45 мин на водяной бане в фарфоровой чашке приблизительно до 84% СВ по рефрактометру без разбавления. Отбирают три пробы сгущенной мелассы по 100 г; одну из них разбавляют до 82% СВ, другую — до 80% СВ (рефрактометрирование без разбавления с призмой Германчука), третью не разбавляют. По 100 г проб мелассы с СВ 84, 82 и 80% помещают в 3 сосуда из термостата для истощения и прибавляют по 45 г сахарного песка, задержанного ситом 0,25 мм. Сосуды закрывают крышками, устанавливают в термостат и кристаллизуют мелассу при 40°C в течение 3 сут. Затем из содержимого каждого сосуда выделяют 12—15 г межкристального оттека на центрифуге или отжимом через тонкую ткань. Оттек не должен содержать кристаллов сахара. В оттеках определяют содержание СВ без разбавления и содержание сахара — взвешиванием 6,5 г оттека в колбочке на 50 мл.

Результаты анализов наносят на диаграмму, откладывая на оси абсцисс чистоту, а на оси ординат — СВ мелассы. Соединив полученные три точки между собой, получают диаграмму зависимости между СВ насыщенной мелассы и ее *Дб*. Из диаграммы определяют доброкачественность, соответствующую содержанию СВ 82% (при рефрактометрировании без разбавления). Если учитывать вязкость мелассы, то по диаграмме определяют чистоту, соответствующую нормальным СВ, когда вязкость при 40°C и работе на обычных центрифугах соответствует 4,4, а на быстроходных — 7,1 Па·с.

Нормальные СВ определяют по номограмме вязкости Силина по величине вязкости одной из насыщенных проб мелассы. Найденную чистоту сопоставляют с чистотой исходной заводской мелассы при содержании СВ без разбавления. Разность этих чистот является критерием работы продуктового отделения.

Если мелассы получены при переработке сахара-сырца, все определения выполняют аналогичным образом, но без данных о вязкости. Нормальной считают чистоту, соответствующую 80% СВ при рефрактометрировании без разбавления.

Глава XXVII. УЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА

Количество продуктов на верстате¹

Свекла. Количество переработанной свеклы и данные о содержании в ней сахара служат основанием для учета производства. Свеклу, поступающую на переработку, взвешивают на автоматических весах, а содержание сахара в ней определяют путем анализа средних проб.

Один раз в сутки необходимо проверять правильность показаний автоматических весов для свеклы. Для проверки взвешивают свеклу двух опрокидываний ковша весов на контрольных весах. На заводах, где нет контрольных весов, автоматические весы проверяют путем отключения механизма автоматического взвешивания и приведения коромысла в равновесное состояние добавлением разновесов к гиредержателю или ковшу. В этом случае поправочный коэффициент выводится по результатам 10 определений.

Пример. Показание счетчика весов до начала проверки по сумме показаний обеих шкал (верхней и нижней) оказалось равным 235481,0, а после двух опрокидываний показание счетчика было равно 237029,1. Масса свеклы двух опрокидываний ковша по счетчику равна $237029,1 - 235481,0 = 1548,1$ кг.

Масса свеклы на контрольных весах оказалась равной 1625,5 кг. Следовательно, поправочный коэффициент в данном случае составляет $1625,5 : 1548,1 = 1,05$.

Количество продуктов до сиропных сборников. Количество продуктов на верстате до сиропных сборников определяют с некоторым приближением в начале производства, а также при простоях с полным выслаживанием стружки в диффузионной установке. Количество продуктов на верстате и содержание сахара в них устанавливается по массе свеклы, полученной для переработки до начала поступления сиропа в сборники. Это количество свеклы определяют по показаниям счетчика автоматических весов.

Установленное таким образом количество свеклы пересчитывают на утфель I продукта по формуле $Y = (C - П) \cdot M : C_{\text{ср}}$, где Y — количество продуктов на верстате (до сиропных сборников) в пересчете на утфель I продукта; C — содержание сахара в свекле, %; $П$ — общие средние за последнюю смену потери сахара до продуктового отделения, % к массе свеклы; M — масса переработанной свеклы по данным счетчика весов, ц; $C_{\text{ср}}$ — среднее содержание сахара в утфеле, %.

¹ Верстат — количество сахаросодержащего полупродукта (включая количество свеклы в бункере после весов) в аппаратах, сборниках и трубопроводах до сборников сиропа перед вакуум-аппаратами.

Пример. Для заполнения верстата до сиропных сборников переработано свеклы $M=1200,0$ т при содержании в ней сахара 16,0%. Общие потери сахара до продуктового отделения $P=0,8\%$, а среднее содержание сахара в утфеле I продукта 84%.

Количество продуктов на верстате завода в пересчете на утфель будет равно $1200,0 \cdot (16,0-0,8) : 84 = 217,02$ т.

Сироп, белая патока и клеровка. Количество сиропа, белой патоки и клеровки определяют замером. По измеренному объему и плотностям устанавливают количество этих продуктов.

Для ускорения замера продуктов при учете вместимость всех сборников должна быть определена до производства и показана на специальных шкалах с градуировкой на 1 см. Для удобства расчетов при составлении баланса сахара найденное количество сиропа, белой патоки или клеровки также пересчитывают на утфель I продукта по формуле $Y = M \cdot CB_1 / CB_2$, где Y — количество утфеля I продукта; M — количество данного продукта; CB_1 — содержание сухих веществ в данном продукте по показаниям рефрактометра; CB_2 — среднее содержание сухих веществ в утфеле I продукта по показанию рефрактометра.

Пример. Замером установлено, что объем сиропа в сборниках равен 200 гл, а объем белой патоки — 60 гл. Содержание сухих веществ в сиропе по рефрактометру $CB=64,5\%$, а содержание сухих веществ в белой патоке $CB=80,4\%$. Требуется пересчитать сироп и белую патоку на утфель I продукта при условии, что среднее содержание сухих веществ в утфеле по рефрактометру $CB=92,0\%$.

По содержанию сухих веществ в сиропе и патоке находим в таблице их плотности. Для сиропа при $CB=64,5\%$ $d=1,313$, а для патоки при $CB=80,4\%$ $d=1,414$.

Масса утфеля, полученного при пересчете сиропа, будет равна $200 \cdot 1,313 \times 64,5 : 92 = 18,4$ т.

Масса утфеля, полученного при пересчете белой патоки, составит: $60 \cdot 1,414 \times 84,0 : 92 = 7,41$ т.

Утфель I продукта. Наличие утфеля на верстате завода в момент учета определяется по количеству его в мешалке, утфелераспределителе, вакуум-аппаратах и центрифугах. Объем массы в аппарате определяется в спокойном (не кипящем) состоянии, для чего перед замером следует на несколько секунд прикрыть разрежение. Полученное количество утфеля в объемных единицах умножают на его плотность.

Общее количество утфеля I продукта в момент учета складывается из утфеля, находящегося в мешалках, аппаратах и центрифугах, плюс количество утфеля, полученное при пересчете верстата до сиропных сборников, сиропа, белой патоки и клеровки.

Утфель II продукта. Общее количество утфеля II продукта в момент учета складывается из учтенного утфеля в вакуум-аппаратах, мешалках, утфелераспределителе и центрифугах. Кроме того, прибавляют количество утфеля, полученное при пересчете зеленой патоки и аффинационного оттека, находящихся в сборниках в момент учета.

Количество утфеля в мешалках определяется по их недоливу. Методика определения объема патоки и пересчета на утфель II продукта такая же, как и для белой патоки и сиропа.

Белый сахар. В момент составления учета весь сахар из сушильного отделения должен быть направлен в упаковочную и взвешен. Взвешенный сахарный песок пересчитывается на 100%-ную сахарозу по формуле $MC_{\text{п}} : 100$, где M — масса сахарного песка; $C_{\text{п}}$ — содержание сахарозы в сахарном песке, %.

Меласса. Количество мелассы определяют взвешиванием на весах. Взвешенная меласса подается насосом в резервуары. Кроме того, к этому количеству прибавляют предполагаемый выход мелассы из продуктов верстата. Вся учтенная меласса пересчитывается на так называемую условную мелассу, СВ которой приняты равными 85%.

Пример. Количество мелассы за отчетный период составляет 1000,0 т. Содержание СВ 82%, $C=45,9\%$, $Дб=56,0\%$, $Нс=36,1\%$. Вычислить количество и состав условной мелассы при СВ=85%.

Количество учтенной мелассы в пересчете на условную равно $1000,0 \cdot 82 : 85 = 970,58$ т.

Содержание сахара в условной мелассе при $Дб=56,0\%$ и СВ=85% равно $56,0 \cdot 85 : 100 = 47,6\%$.

Содержание несахара в условной мелассе $85 - 47,6 = 37,4\%$.

Составление баланса сахара по заводу

Баланс сахара составляется по данным учета свеклы, белого сахара, мелассы и продуктов на верстате завода. При составлении баланса пользуются средними результатами анализов сырья, продуктов и отходов, проводимых систематически лабораторией.

Для определения выхода белого сахара и потерь сахара в производстве требуется вычислить количество сахарозы, получаемое из каждого учтенного продукта в результате окончательной переработки его в условиях данного завода. Поэтому предварительно вычисляют коэффициент выхода белого сахара из данного продукта R по формуле $R = C - Нс \cdot m$, где C — содержание сахара в данном продукте, %; $Нс$ — содержание несахаров в продукте, %; m — мелассный коэффициент несахаров для данного завода.

Для вычисления выхода белого сахара пользуются данными анализов утфеля I продукта за последнюю смену отчетного периода; анализа утфеля II продукта из каждой мешалки, а для мелассы — данными среднего анализа за отчетный период.

Предполагаемый выход сахара из данного продукта вычисляется по формуле $AR : 100$, где A — количество продуктов, т; R — коэффициент выхода сахарозы.

Общее количество мелассы за отчетный период складывается из количества взвешенной мелассы, пересчитанной на условную, и мелассы, которая будет получена в результате переработки продуктов, оставшихся на верстате завода к моменту учета.

Предполагаемый выход мелассы из данного продукта вычисляется по формуле $(C - R)A : C_{\text{м}}$, где C — содержание сахара в данном продукте, %; R — коэффициент выхода сахара из данного продукта; A — количество продукта, т; $C_{\text{м}}$ — содержание сахара в условной мелассе, %.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица I

Растворимость сахарозы в воде при различных температурах

Темпера- тура, °C	Количе- ство во- ды, %	Количест- во сахара, %	Количе- ство са- хара на 100 частей воды, %	Темпера- тура, °C	Количе- ство во- ды, %	Количе- ство саха- ра, %	Количе- ство са- хара на 100 частей воды, %
5	34,84	65,16	187,0	53	27,05	72,95	269,7
6	34,76	65,24	187,7	54	26,84	73,16	272,6
7	34,66	65,34	188,5	55	26,63	73,37	275,5
8	34,56	65,44	189,3	56	26,42	73,58	278,5
9	34,46	65,54	190,2	57	26,21	73,79	281,6
10	34,35	65,65	191,1	58	26,00	74,00	284,7
11	34,24	65,76	192,0	59	25,78	74,22	287,9
12	34,13	65,87	193,0	60	25,57	74,43	291,1
13	34,01	65,99	194,0	61	25,36	74,64	294,4
14	33,90	66,10	195,0	62	25,14	74,86	297,8
15	33,76	66,24	196,2	63	24,93	75,07	301,2
16	33,63	66,37	197,3	64	24,71	75,29	304,7
17	33,50	66,50	198,5	65	24,49	75,51	308,3
18	33,37	66,63	199,7	66	24,28	75,72	311,9
19	33,22	66,78	201,0	67	24,06	75,94	315,6
20	33,08	66,92	202,3	68	23,85	76,15	319,3
21	32,94	67,06	203,6	69	23,63	76,37	323,2
22	32,79	67,21	205,0	70	23,41	76,59	327,1
23	32,64	67,36	206,4	71	23,20	76,80	331,0
24	32,48	67,52	207,9	72	22,98	77,02	335,0
25	32,32	67,68	209,4	73	22,76	77,24	339,3
26	32,17	67,83	210,9	74	22,55	77,45	343,5
27	32,00	68,00	212,5	75	22,34	77,66	347,7
28	31,84	68,16	214,1	76	22,12	77,88	352,1
29	31,67	68,33	215,8	77	21,91	78,09	356,5
30	31,50	68,50	217,5	78	21,69	78,31	361,0
31	31,32	68,68	219,3	79	21,48	78,52	365,6
32	31,15	68,85	221,0	80	21,26	78,74	370,3
33	30,97	69,03	222,9	81	21,05	78,95	375,1
34	30,79	69,21	224,8	82	20,84	79,16	380,0
35	30,61	69,39	226,7	83	20,62	79,38	384,9
36	30,42	69,58	228,7	84	20,41	79,59	389,9
37	30,24	69,76	230,7	85	20,20	79,80	395,0
38	30,05	69,95	232,8	86	19,99	80,01	400,2
39	29,86	70,14	234,9	87	19,78	80,22	405,6
40	29,67	70,33	237,0	88	19,57	80,43	411,0
41	29,48	70,52	239,2	89	19,36	80,64	416,5
42	29,28	70,72	241,5	90	19,15	80,85	422,1
43	29,09	70,91	243,8	91	18,95	81,05	427,7
44	28,89	71,11	246,2	92	18,75	81,25	433,5
45	28,69	71,31	248,6	93	18,54	81,46	439,4
46	28,49	71,51	251,0	94	18,34	81,66	445,4
47	28,29	71,71	253,5	95	18,13	81,87	451,5
48	28,08	71,92	256,1	96	17,93	82,07	457,8
49	27,88	72,12	258,7	97	17,73	82,27	464,1
50	27,67	72,33	261,4	98	17,53	82,47	470,5
51	27,47	72,53	264,1	99	17,33	82,67	477,0
52	27,26	72,74	266,8	100	17,13	82,87	483,7

Поправка к рефрактометрическим определениям сахарозы при отступлении
от нормальной температуры 20° С

Температура, °С	Содержание сахарозы по рефрактометру														
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Отнять от найденного значения сахарозы															
10	0,50	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79
11	0,46	0,49	0,53	0,55	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71
12	0,42	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,61	0,63	0,63
13	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55
14	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48
15	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40
16	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32
17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24
18	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16
19	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Прибавить к найденному значению сахарозы

21	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
22	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
23	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32
25	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
26	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
27	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
28	0,56	0,57	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
29	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
30	0,72	0,74	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81

Таблица III

Содержание оксида кальция в известковом молоке при 20°С

Плотность, г/см ³	Содержание СаО в 1 л, г	Содержание СаО, % мас.	Плотность, г/см ³	Содержание СаО в 1 л, г	Содержание СаО, % мас.
1,0085	10	0,99	1,1185	160	14,30
1,017	20	1,96	1,1255	170	15,10
1,0245	30	2,93	1,1325	180	15,89
1,0315	40	3,88	1,140	190	16,67
1,039	50	4,81	1,1475	200	17,43
1,046	60	5,74	1,1545	210	18,19
1,0535	70	6,65	1,1615	220	18,94
1,0605	80	7,54	1,1685	230	19,68
1,0675	90	8,43	1,176	240	20,41
1,075	100	9,30	1,1835	250	21,12
1,0825	110	10,16	1,1905	260	21,84
1,0895	120	11,01	1,1975	270	22,55
1,0965	130	11,86	1,205	280	23,24
1,104	140	12,68	1,2125	290	23,92
1,111	150	13,50	1,2195	300	24,60

Таблица IV

**Определение количества сахара в жоме и диффузионной воде
при 10%-ном разжижении уксуснокислым свинцом**

Показания поля- риметра	Содержание сахара (в %) в трубке длиной, мм		Показания поляриметра	Содержание сахара (в %) в трубке длиной, мм	
	200	400		200	400
0,1	0,03	0,015	2,6	0,74	0,370
0,2	0,06	0,030	2,7	0,77	0,385
0,3	0,09	0,045	2,8	0,80	0,400
0,4	0,11	0,055	2,9	0,83	0,415
0,5	0,14	0,070	3,0	0,86	0,430
0,6	0,17	0,085	3,1	0,89	0,445
0,7	0,20	0,100	3,2	0,92	0,460
0,8	0,23	0,115	3,3	0,95	0,475
0,9	0,26	0,130	3,4	0,97	0,485
1,0	0,29	0,145	3,5	1,00	0,500
1,1	0,32	0,160	3,6	1,03	0,514
1,2	0,35	0,175	3,7	1,06	0,529
1,3	0,37	0,185	3,8	1,09	0,544
1,4	0,40	0,200	3,9	1,12	0,559
1,5	0,43	0,215	4,0	1,14	0,569
1,6	0,46	0,230	4,1	1,17	0,584
1,7	0,49	0,245	4,2	1,20	0,599
1,8	0,52	0,260	4,3	1,23	0,614
1,9	0,55	0,275	4,4	1,25	0,624
2,0	0,57	0,285	4,5	1,28	0,644
2,1	0,60	0,300	4,6	1,31	0,654
2,2	0,63	0,315	4,7	1,34	0,669
2,3	0,66	0,330	4,8	1,37	0,684
2,4	0,68	0,340	4,9	1,40	0,699
2,5	0,71	0,355	5,0	1,42	0,709

Таблица V

Зависимость нормальной температуры утфеля перед фуговкой от плотности межкристалльной патоки (при вязкости патоки 40 кПа·с)

Плотность межкри- сталльной патоки по рефрактометру (без разбавления), г/см ³	Темпера- тура, °C	Плотность меж- кристалльной па- токи по рефрак- тометру (без раз- бавления), г/см ³	Темпера- тура, °C	Плотность меж- кристалльной па- токи по рефрак- тометру (без раз- бавления), г/см ³	Темпера- тура, °C
80,0	30,0	82,4	42,0	84,8	54,0
80,1	30,5	82,5	42,5	84,9	54,5
80,2	31,0	82,6	43,0	85,0	55,0
80,3	31,5	82,7	43,5	85,1	55,5
80,4	32,0	82,8	44,0	85,2	56,0
80,5	32,5	82,9	44,5	85,3	56,5
80,6	33,0	83,0	45,0	85,4	57,0
80,7	33,5	83,1	45,5	85,5	57,5
80,8	34,0	83,2	46,0	85,6	58,0
80,9	34,5	83,3	46,5	85,7	58,5
81,0	35,0	83,4	47,0	86,8	59,0
81,1	35,5	83,5	47,5	85,9	59,5
81,2	36,0	83,6	48,0	86,0	60,0
81,3	36,5	83,7	48,5	86,1	60,5

Продолжение

Плотность межкристальной патоки по рефрактометру (без разбавления), г/см ³	Температура, °С	Плотность межкристальной патоки по рефрактометру (без разбавления), г/см ³	Температура, °С	Плотность межкристальной патоки по рефрактометру (без разбавления), г/см ³	Температура, °С
81,4	37,0	83,8	49,0	86,2	61,0
81,5	37,5	83,9	49,5	86,3	61,5
81,6	38,0	84,0	50,0	86,4	62,0
81,7	38,5	84,1	50,5	86,5	62,5
81,8	39,0	84,2	51,0	86,6	63,0
81,9	39,5	84,3	51,5	86,7	63,5
82,0	40,0	84,4	52,0	86,8	64,0
82,1	40,5	84,5	52,5	86,9	64,5
82,2	41,0	84,6	53,0	87,0	65,0
82,3	41,5	84,7	53,5	87,1	66,5

Таблица VI

Множители K для определения процента сахара в сатурационном осадке

M	K	M	K	M	K	M	K	M	K
201	10,79	210	1,58	219	0,83	228	0,550	237	0,405
202	6,61	211	1,44	220	0,785	229	0,529	238	0,393
203	4,76	212	1,32	221	0,746	230	0,510	239	0,381
204	3,72	213	1,22	222	0,711	231	0,492	240	0,371
205	3,04	214	1,13	223	0,678	232	0,475	241	0,360
206	2,57	215	1,05	224	0,648	233	0,460	242	0,351
207	2,23	216	0,99	225	0,621	234	0,446	243	0,341
208	1,96	217	0,93	226	0,595	235	0,431	244	0,332
209	1,75	218	0,88	227	0,572	236	0,417		

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Азрилевич М. Я. Оборудование свеклосахарных заводов. — М.: Пищевая пром-сть, 1972. — 311 с.

Силин П. М. Технология сахара. 2-е изд., перераб. и допол. — М.: Пищевая пром-сть, 1967. — 625 с.

Силин П. М., Силина Н. П. Химический контроль свеклосахарного производства. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Пищевая пром-сть, 1977. — 240 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ТЕХНОЛОГИЯ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава I. Сахарная свекла как сырье для производства сахара	7
--	---

Происхождение и ботаническая характеристика сахарной свеклы	7
Строение корнеплода свеклы	8
Процесс образования сахара в свекле	9
Прогрессивная технология возделывания сахарной свеклы	10
Вредители и болезни свеклы	11

Глава II. Химический состав сахарной свеклы . . .	12
---	----

Общий состав сахарной свеклы	12
Зависимость химического состава свеклы от условий роста	17
Критерий оценки технологических качеств сахарной свеклы	18

Глава III. Уборка, приемка и хранение сахарной свеклы	20
---	----

Наблюдение на пробных участках за ростом свеклы	20
Сроки и способы уборки свеклы	20
Транспортировка и приемка сахарной свеклы . . .	21
Хранение сахарной свеклы	24

Глава IV. Принципиальная технологическая схема свеклосахарного производства . . .	30
---	----

Глава V. Подготовка свеклы к диффузионному процессу .	34
---	----

Технологическая схема подготовки свеклы	34
Накопление свеклы в бурачной	34
Подача свеклы на переработку	34
Подъем свеклы	35
Очистка свеклы от механических примесей	36
Улавливание свекловичных отходов	37
Мойка свеклы	37
Очистка транспортерно-моченных вод	39
Взвешивание свеклы . . .	40
Измельчение свеклы в стружку	41
Качество свекловичной стружки	44

Глава VI. Получение диффузионного сока	45
--	----

Краткие исторические сведения	45
Физико-химические основы диффузионного процесса . .	45
Теория противоточной диффузии П. М. Силина . . .	46
Факторы диффузионного процесса	48
Типы диффузионных установок	49
Баланс продуктов диффузионного процесса	55

Обеспечение стерильности диффузионного процесса	56	Технологическая схема работы кристаллизационного отделения с выведением сиропа на хранение	118
Подготовка воды для диффузионного процесса	56	Варка утфеля I продукта	121
Сравнительная оценка диффузионных аппаратов непрерывного действия	58	Фуговка утфеля I продукта	130
Автоматизация диффузионных аппаратов	59	Сушка, упаковка и хранение белого сахара	134
Глава VII. Очистка диффузионного сока	59	Требования к качеству сахара-песка	137
Состав диффузионного сока	59	Глава X. Переработка оттеков	138
Физико-химические основы очистки диффузионного сока	60	Характеристика оттеков	138
Типовая технологическая схема очистки диффузионного сока	63	Варка утфеля последнего продукта	139
Предварительная defeкация	66	Кристаллизация утфеля последнего продукта	139
Основная defeкация	69	Фуговка утфеля последнего продукта	142
Первая сатурация	73	Аффинация желтого сахара	143
Вторая сатурация	77	Глава XI. Использование отходов свеклосахарного производства	144
Отстаивание и фильтрация соков и сиропа	81	Общие сведения об отходах свеклосахарного производства	144
Дополнительные методы очистки сока	93	Переработка жома	145
Глава VIII. Выпаривание сока	96	Получение сахара из мелассы	148
Цель процесса выпаривания	96	Глава XII. Переработка тростникового сахара-сырца	149
Нагревание сока	97	Общие сведения	149
Основы процесса выпаривания	99	Переработка сахара-сырца на рафинад	150
Схемы выпарных станций	101	Переработка сахара-сырца на сахар-песок	152
Химические процессы, протекающие при выпаривании сока	106	Глава XIII. Вспомогательное производство	154
Очистка поверхности нагрева выпарного аппарата	108	Получение извести	154
Глава IX. Получение белого сахара	110	Получение сатурационного газа	159
Общие сведения о сахарных растворах	110	Приготовление известкового молока	160
Основы теории кристаллизации сахара	111	Получение диоксида серы	162
Факторы, влияющие на скорость кристаллизации	112	Потребление воды и очистка сточных вод	164
Технологические схемы варочно-кристаллизационного отделения завода	114	Часть вторая. Технология сахарорафинадного производства	
Глава XIV. Основы производства сахара-рафинада	166	Глава XV. Организация производства сахара-рафинада	168
Глава XV. Организация производства сахара-рафинада	168	Рафинадный завод	168
Рафинадный завод	168	Рафинадное отделение или сахарорафинадный завод при свеклосахарном заводе	170
		Рафинадное отделение при кондитерской фабрике	171

Глава XVI. Технологические схемы производства сахара- рафинада	171
Производство рафинада из свекловичного сиропа	171
Производство рафинада из	

тростникового сахара-сырца	
Глава XVII. Ассортимент сахара-рафинада	
Глава XVIII. Тепловое и водное хозяйство рафинадного завода	

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УЧЕТ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава XIX. Общие сведения о контроле и учете	177
---	------------

Глава XX. Определение со- держания сухих веществ и влаги	178
Массовый метод	178
Рефрактометрический метод	179

Глава XXI. Методы опреде- ления сахарозы	183
Качественное определение сахарозы	183
Количественное определение сахарозы	184

Глава XXII. Определение сахарозы в свекле, полупро- дуктах и продуктах свеклоса- харного производства	191
Отбор средней пробы	191
Определение содержания са- хара в свекле	193
Определение содержания са- хара в соках	197
Определение содержания са- хара в густых продуктах	198
Определение содержания са- хара в отходах производства	199

Глава XXIII. Определение основных несахаров свеклы в продуктах производства	203
Определение солей кальция в продуктах свеклосахарно- го производства	203
Определение содержания зо- лы	208

Глава XXIV. Определение щелочности и кислотности	209
Определение титруемой ще- лочности и кислотности	209
Определение содержания сернистой кислоты	211
Определение pH продуктов сахарного производства	212

Глава XXV. Измерение цвет- ности и мутности продуктов сахарного производства	215
---	------------

Колориметрический метод	
Фотоэлектрический метод	
Нефелометрический метод	

Глава XXVI. Контроль от- дельных процессов производ- ства и установление оптималь- ного технологического режима	
--	--

Плотность известкового мо- лока	
Определение свободной из- вести	
Определение общей извести	
Определение доброкачест- венности очищенного нор- мального сока	
Определение оптимальной щелочности сока первой са- турации	
Определение скорости осаж- дения осадка сока первой сатурации	
Определение коэффициента фильтрации сока первой са- турации	
Определение оптимальной щелочности сока второй са- турации	
Определение оптимального pH сока второй сатурации	
Определение количества кри- сталлического сахара в ут- феле	
Контроль качества белого сахара	
Определение вязкости ме- лассы	
Анализ мелассы	

Глава XXVII. Учет произ- водства	
Количество продуктов на верстате	
Составление баланса сахара по заводу	

Приложения	
Список рекомендуемой лите- ратуры	

173

173

175

215

217

221

222

222

222

222

222

223

223

224

224

225

225

226

226

228

231

231

233

234

237