

А. Р. Сапронов

ТЕХНОЛОГИЯ САХАРА

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для средних профессионально-технических училищ

МОСКВА
«ЛЕГКАЯ И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1983

ББК 36.84
С19
УДК 664.12

Сапронов А. Р.

С19 Технология сахара.— М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983.— 232 с.

В книге изложены основы технологии сахара-песка и сахара-рафинада, показан принцип действия технологического оборудования. Кратко рассмотрены вопросы выращивания, уборки, хранения сахарной свеклы, очистки ее от примесей и более подробно освещены основные стадии производства сахара-песка: получение, очистка и сгущение диффузионного сока, кристаллизация сахарозы из пересыщенных растворов.

Уделено внимание изложению приемов переработки тростникового сахара-сырца на свеклосахарных заводах. Описана современная технология получения сахара-рафинада как на самостоятельных сахарорафинадных заводах, так и в сахаро-рафинадных отделениях свеклосахарных заводов.

Книга предназначена для подготовки квалифицированных рабочих в средних профессиональных технических училищах и может быть использована при профессиональном обучении рабочих на производстве.

С $\frac{2907000000-054}{044(01)-83}$ 54—83

ББК 36.84
6П8.3

Рецензенты: инж. П. Я. Иванов, инж. В. И. Сычиков.

© Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 1983.

ВВЕДЕНИЕ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Технология (от греческого *techné* — ремесло, *logos* — учение) сахара — это наука о химических, физико-химических и физических способах переработки сахаросодержащего сырья в товарный сахар.

Основным сырьем для промышленного производства сахара (сахарозы) являются сахарный тростник и сахарная свекла. Из 90—96 млн. т мирового производства сахара в год (в пересчете на сахар-сырец) 55—58 млн. т вырабатывается из сахарного тростника и 35—38 млн. т — из сахарной свеклы.

В мире насчитывается свыше 2500 тростниково-сахарных и свеклосахарных заводов. Число их постоянно меняется: строятся новые крупные предприятия, исключаются из эксплуатации устаревшие и малопроизводительные. В результате концентрации производства наблюдается тенденция к сокращению общего числа предприятий и росту их средней суточной производственной мощности.

Производство сахара из сахарного тростника в основном сосредоточено в странах Америки и Азии (Республика Куба, Бразилия, Мексика, Филиппины и др.), а также в Австралии; из сахарной свеклы — в странах Европы (СССР, Франция, ФРГ, ПНР, Италия, ГДР, Великобритания, ЧССР, Югославия, Бельгия) и в США.

Родиной сахарного тростника считают острова Новой Гвинеи, там его впервые начали использовать в пищу. Около 8 тыс. лет до н. э. это растение распространилось во многих районах Юго-Восточной Азии: в Индонезии, на Филиппинах, в Малайзии, Индокитае и в Восточной Индии. Именно в Восточной Индии впервые стали возделывать сахарный тростник как культурное растение, а сок его перерабатывать на сироп и кристаллический сахар. В X в. н. э. культивирование сахарного тростника и производство из него сахара распространилось в Персии, Египте, затем по всему Средиземноморью, а с открытием Америки — в странах Южной Америки. Сахарный тростник быстро распространился в американских тропиках и субтропиках, благоприятных для его выращивания. Из тростника здесь

получали сахар-сырец. По морю его доставляли в Европу, где очищали, получая белый сахар и изделия из него.

Современная сахарная промышленность ведет свое начало с конца XVIII в.

Первое упоминание в исторических документах о появлении на Руси кристаллического сахара, ввозившегося с «заморскими товарами», появилось в 1273 г. Из-за высокой цены сахар много лет был предметом роскоши и одно время даже продавался в аптеках эквивалентно массе серебра. Спрос на него сильно возрос с середины XVII в., когда в России распространилось употребление чая. В 1718 г. указом Петра I купцу Ц. Вестову было поручено строительство первой в России «сахарной мануфактуры». Вскоре в Петербурге возник сахарный завод по переработке привозного тростникового сахара-сырца, который и положил начало отечественной сахарной промышленности.

Затраты на приобретение привозного сахара-сырца тяжелым бременем ложились на бюджет государства, поэтому в России усиленно велись поиски местных источников для получения сахара. Первое указание на возможность использования белой свеклы как сырья для получения кристаллического сахара относится к 1786 г. Белая свекла издавна была известна русским людям как огородная и кормовая культура. В 1792 г. профессор фармацевтической химии Московского университета И. Я. Биндгейм издал брошюру, где писал о выделении им из белой свеклы, выращенной под Москвой, при помощи спирта небольшого количества сахара. В 1798 г. ему удалось получить значительно больше кристаллического сахара. Весной 1799 г. И. Я. Биндгейм вместе с докладной запиской послал в Медицинскую коллегию три образца сахара: в виде сахарной головы, белого сахара-песка и сахара-сырца.

В сентябре 1800 г. правительство издало указ об отведении свободных земель на юге России желающим заниматься свекло-сеянием без обложения налогом. Это послужило толчком для развития сырьевой базы зарождавшегося сахарного производства.

Важную роль в создании технологии свекловичного сахара и организации его промышленного производства в России сыграл московский помещик Яков Степанович Есипов, который разработал оригинальную технологию получения из свеклы товарного сахара с очисткой свекловичного сока известью. В январе 1802 г. он обратился с прошением разрешить ему выкуривать спирт из отходов свеклосахарного производства и одновременно сообщил, что получил из свеклы 80 кг сахара. Это был первый русский кристаллический сахар, полученный в заводских условиях.

Я. С. Есипов построил в Тульской губернии первый в России сахарный завод, который начал работать в ноябре 1802 г. За сезон на заводе переработали 56 т свеклы и получили 4,8 т са-

хара, т. е. выход сахара составил 8,6 % к массе свеклы. Этот сахарный завод был довольно крупным и технически оснащенным предприятием того времени.

В 1809 г. в селе Верхи Брянского уезда Орловской губернии И. А. Мальцев построил свеклосахарный завод, полностью оснащенный отечественным оборудованием, изготовленным на принадлежащем ему Брянском машиностроительном заводе. Мальцев развернул активную пропаганду свеклосахарного производства, ежегодно публикуя отчеты о работе завода и чертежи оборудования.

Научные основы способа очистки свекловичного сока известны были разработаны русским академиком Т. Е. Ловицем, установившим высокую устойчивость сахарозы в водных растворах к воздействию щелочей и высокой температуры, а редуцирующие сахара, по его данным, быстро разрушались в щелочной среде. Этот способ очистки свекловичного сока и был применен Я. С. Есиповым, а затем И. А. Мальцевым и др. Позднее он вытеснил кислотный способ очистки свекловичного сока, применявшийся за границей. При кислотном способе очистки значительная часть сахарозы подвергается инвертированию, образуя редуцирующие сахара, которые при разложении давали много продуктов распада, в том числе и красящих веществ, сильно затрудняющих проведение технологических процессов. Выход товарного сахара был значительно меньше, чем при щелочном способе.

В 1825 г. в России действовало семь, а уже в 1850 г.— 380 свеклосахарных заводов, которые выпускали свыше 16 тыс. т сахара в год. Но это были мелкие предприятия с примитивной технологией. Постепенно их число уменьшалось, а производственная мощность заводов увеличивалась, совершенствовалась техника и технология.

Перед первой мировой войной (1913 г.) на территории России действовали 240 свеклосахарных заводов. Эти заводы могли перерабатывать до 137 тыс. т свеклы в сутки. Средняя суточная мощность одного завода составляла 0,57 тыс. т свеклы. В 1913—1914 гг. было получено 1,36 млн. т сахара.

За время мировой и гражданской войн большинство сахарных заводов было разрушено, и к 1921 г. годовое производство сахара уменьшилось до 47 тыс. т.

После победы Великой Октябрьской социалистической революции сахарная промышленность оказалась в числе первых крупных отраслей, национализированных Ленинским декретом от 2 мая 1918 г. В 1935 г. СССР вышел на первое место в мире по производству свекловичного сахара.

Во время второй мировой войны (1941—1945 гг.) отечественная сахарная промышленность понесла громадный урон. Большинство ее предприятий сильно пострадало, и многие из них пришлось отстраивать заново.

За годы Советской власти техническая база сахарной промышленности подверглась коренным изменениям. Было построено много новых заводов, а все старые реконструированы. Только за 1950—1980 гг. в СССР построено 116 новых свеклосахарных заводов. Решающими направлениями технического прогресса в отрасли стали концентрация производства сахара, развитие свекловодства и сахарной промышленности в новых районах страны (в Белорусской ССР, Молдавской ССР, западных областях Украинской ССР, на Северном Кавказе и др.), сокращение длительности переработки свеклы, внедрение непрерывных технологических процессов, их комплексная механизация и автоматизация.

В межсезонный период на многих свеклосахарных заводах СССР перерабатывается импортный тростниковый сахар-сырец.

Ежегодно в СССР вырабатывается 8—8,5 млн. т сахара-песка из сахарной свеклы и около 3,5 млн. т из тростникового сахара-сырца, в том числе 2,6—2,7 млн. т сахара-рафинада.

Промышленное свеклосеяние и выработка сахара осуществляются в десяти союзных республиках. Общая площадь посевов сахарной свеклы в СССР превышает 3,7 млн. га (из них около 180 тыс. га на поливных землях). Все основные работы по уходу за посевами сахарной свеклы механизированы, включая уборку ее комбайнами без ручной доочистки корнеплодов.

На майском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС была одобрена Продовольственная программа СССР на период до 1990 года, разработанная в соответствии с решениями XXVI съезда КПСС. Программой предусмотрено довести среднегодовое производство сахарной свеклы в двенадцатой пятилетке до 102—103 млн. т.

В этих целях предусмотрено завершить в основном в двенадцатой пятилетке переход на индустриальную технологию возделывания сахарной свеклы; обеспечить потребности свеклосеющих хозяйств в необходимой технике, транспортных и погрузочных средствах, минеральных удобрениях, высокоэффективных гербицидах и химических средствах защиты растений от вредителей и болезней; ускорить создание и внедрение высокопродуктивных сортов и гибридов односемянной сахарной свеклы с сахаристостью не ниже 17—18 %; расширить производство семян сахарной свеклы безвысадочным способом в южных районах страны.

Установлены задания по выработке сахара. В целях предотвращения потерь определены меры по сокращению длительности сезона переработки сахарной свеклы к 1990 г. до 100—105 сут. Намечено построить за десятилетие на свеклоприемных пунктах механизированные склады и площадки с твердым покрытием общей площадью до 15 млн. м² для хранения сахарной свеклы с применением активного вентилирования, а также зна-

чительно расширить при ее хранении использование биологически активных веществ и новых материалов для укрытия кагатов.

Возрастет бестарная перевозка сахара-песка и значительно увеличится поставка жидкого сахара пищевым отраслям промышленности. Получит развитие производство сахаристых веществ из крахмалсодержащих и других видов сырья.

Основным направлением развития и повышения эффективности свеклосахарного производства будет дальнейшее наращивание производственных мощностей при повышении концентрации производства. Поэтому для строительства новых и комплексной реконструкции действующих предприятий установлена типовая мощность 6 тыс. т, а на последующий период 9 и 12 тыс. т переработки свеклы в сутки.

ХАРАКТЕРИСТИКА СВЕКЛОСАХАРНОГО ЗАВОДА

Современный свеклосахарный завод — это крупное, хорошо оснащенное современной техникой предприятие, работающее круглосуточно в основном по непрерывной технологической схеме. Работают свеклосахарные заводы сезонно: начинают 10—20 сентября, заканчивают в I квартале следующего года. Поэтому, говоря о периоде работы завода, называют год начала и год окончания сезона (например, 1982/83 производственный год).

Сахарную свеклу выкапывают в сентябре и октябре в течение 40—45 сут. В это время заводы перерабатывают свеклу, поступающую непосредственно с полей, а затем свеклу с призаводского склада или со свеклоприемных пунктов. Заводы средней мощности перерабатывают в сутки 2,5—3 тыс. т свеклы, крупные — 5—6 тыс. т.

Производство сахара из свеклы состоит из следующих основных стадий: очистка свеклы от примесей (земли, песка, остатков ботвы), изрезывание ее в стружку и получение диффузионного сока (свеклоперерабатывающее отделение); очистка диффузионного сока известью и диоксидом углерода от нес сахаров, сгущение сока выпариванием — получение сиропа (сокоочистительное отделение); выкристаллизовывание сахарозы из сиропа, отделение сахара-песка от межкристалльного раствора, сушка и упаковка (продуктовое отделение).

К вспомогательным процессам относятся получение извести, известкового молока, сатурационного и сульфитационного газа, прессование, сушка и брикетирование жома.

В качестве типовой для новых и реконструируемых свеклосахарных заводов СССР принята схема (рис. 1) с непрерывным обессахариванием свекловичной стружки, прессованием жома

и возвратом в диффузионную установку всей жомопрессовой воды, известково-углекислотной очисткой диффузионного сока, тремя кристаллизациями и аффинажной (очистка) сахара III кристаллизации.

Для основных свеклосеющих районов СССР в настоящее время рекомендуется оптимальная производственная мощность сахарного завода 6 тыс. т переработки свеклы в сутки. Технологический процесс на заводе такой мощности осуществляется в двух корпусах (рис. 2).

В первом корпусе I размещены свеклоперерабатывающее (без свекломоек), сокоочистительное, продуктивное (в том числе сушка и упаковка сахара-песка) и жомосушильное отделения. К первому корпусу примыкает теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) 4 и склад сахара-песка 7. В первом корпусе размещается также заводская лаборатория теххимического контроля и учета сахарного производства.

Во втором корпусе II размещены известковое отделение 3, свекломойки и отделение брикетирования жома 2, склад вспомогательных материалов и механическая мастерская 1.

Рядом с первым корпусом находятся административно-бытовой блок 5 и три силоса 6 для хранения сахара вместимостью 11 тыс. т каждый. За пределами огражденной части промплощадки размещены гидромеханизированный склад для свеклы, трехпутная эстакадная бурачная, жомохранилище, водоочистные сооружения, склады топлива, известнякового камня и др.

Свекла в завод подается по двум гидротранспортерам. Для мойки установлены две комбинированные моечные машины, а для обессахаривания свекловичной стружки — два наклонных шнековых диффузионных аппарата, для сгущения сока — четырехступенчатая выпарная установка с концентратом общей площадью поверхности нагрева 18600 м², кристаллизация сахара проводится в вакуум-аппаратах вместимостью по 80 т utfеля, разделение utfеля на кристаллическую массу и оттеки — в периодически действующих центрифугах. Сахар высушивается в двух сушильных установках.

Часть жома, отжатого до содержания 20—22 % сухих веществ (СВ), высушивается и брикетируется с добавлением мелассы и карбамида. Остальной жом, отжатый до 12—14 % сухих веществ, направляется в жомохранилище.

Для получения извести установлены две известково-газовые печи производительностью по 100 т извести в сутки.

Паром и электроэнергией завод обеспечивает собственная ТЭЦ, где установлены четыре котлоагрегата по 50 т/ч пара давлением 4 МПа и два турбоэлектрогенератора по 6 тыс. кВт.

Расход пара на технологические нужды, включая жомосушение, составляет 47 % к массе свеклы. Расход свежей воды (речной) составляет 250—500 м³/ч, на пробеливание сахара-песка и питьевые нужды (артезианской) — 70 м³/ч.

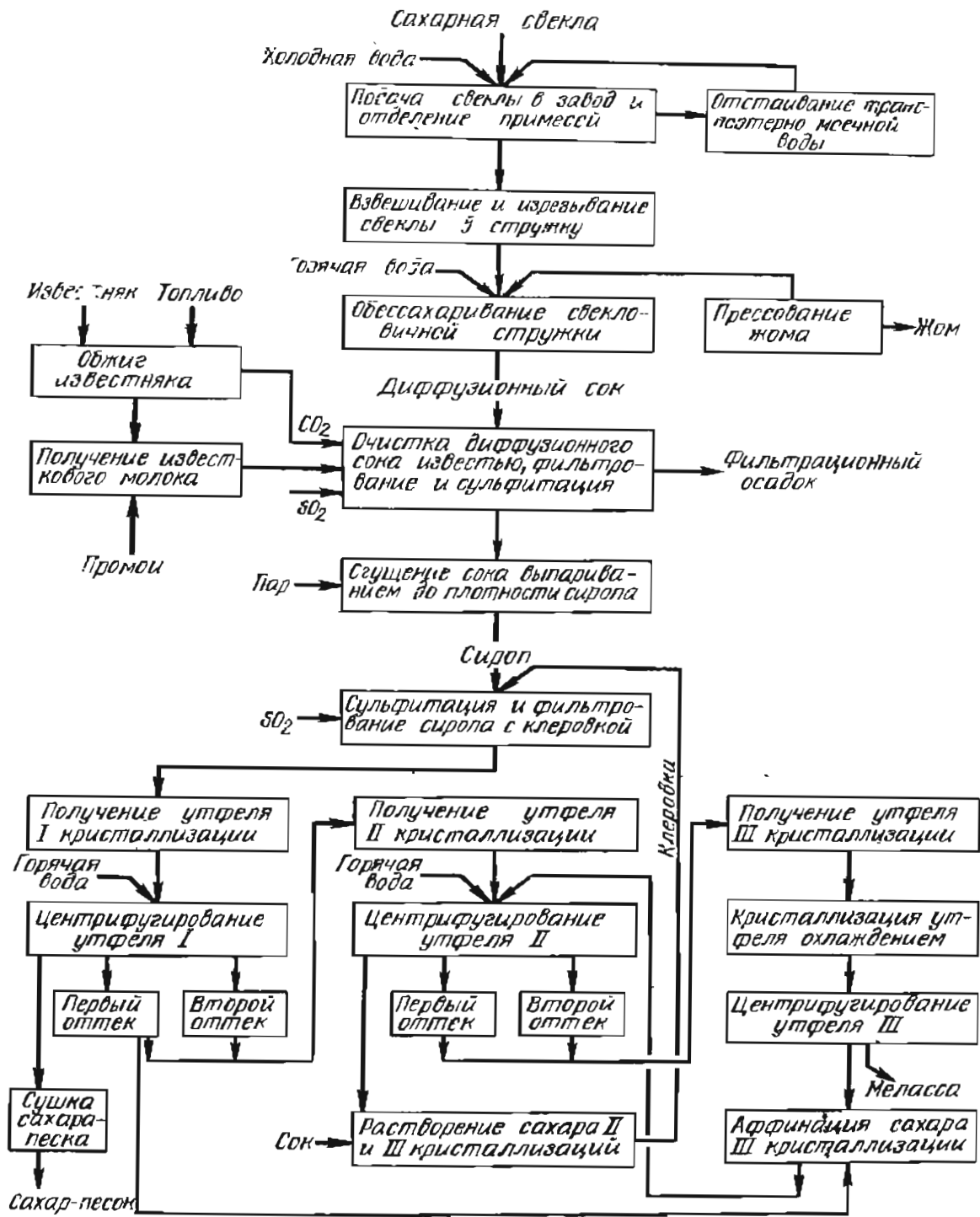


Рис. 1. Структурная схема получения сахара-песка из сахарной свеклы

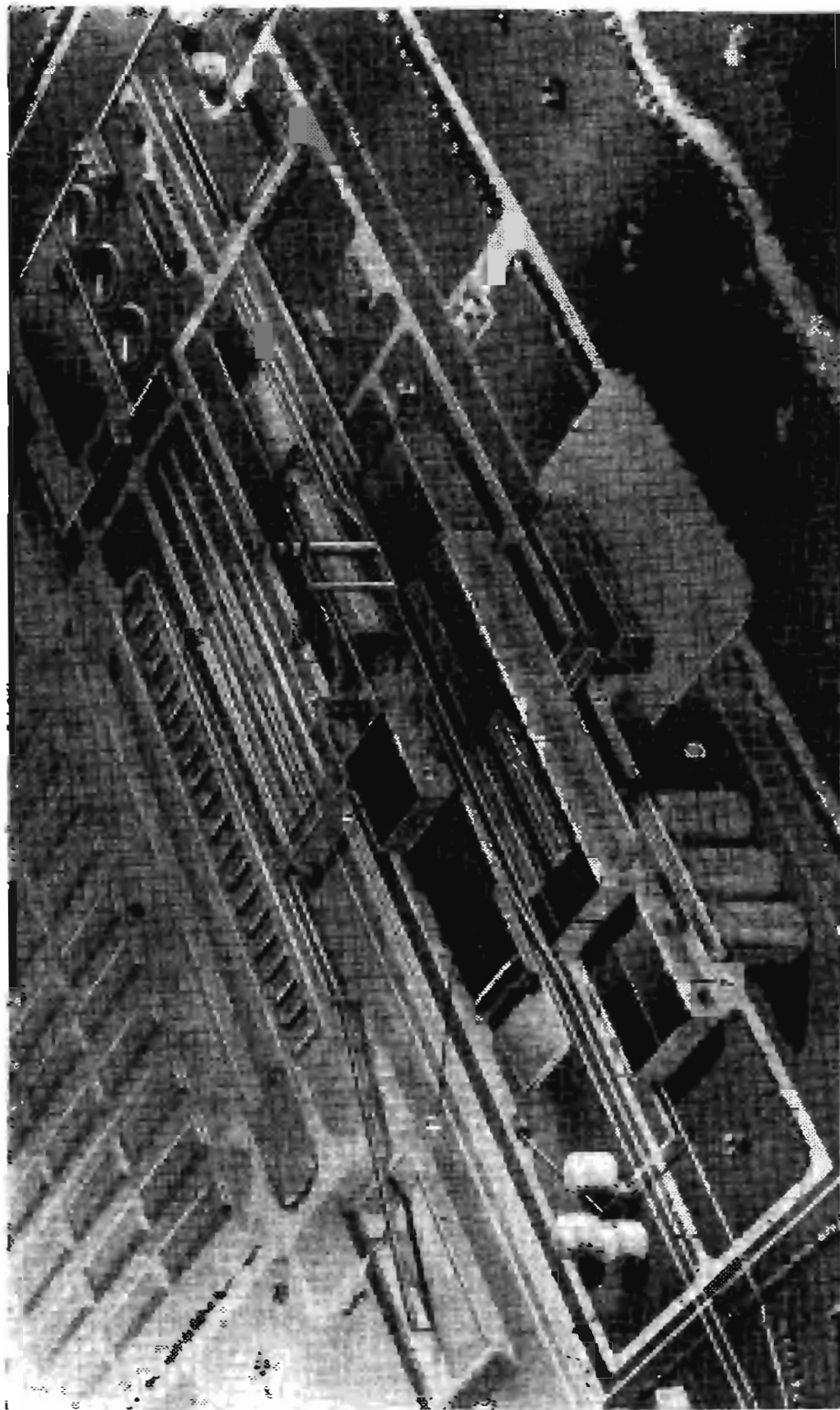


Рис. 2. Общий вид свеклосахарного завода производительной мощностью 6 тыс. т свеклы в сутки

Отработавшие воды с небольшим содержанием примесей охлаждаются в вентиляторных градирнях и обеззараживаются хлором, воды с большим содержанием примесей освобождаются от взвешенных частиц в радиальном отстойнике и используются вторично, а транспортерно-мочный осадок откачивается в отвалы-отстойники. Фильтрационный осадок из сокоочистительного отделения удаляется на площадку отходов.

Сточные воды подвергаются искусственной биологической двухступенчатой очистке в аэротенках-смесителях. Биоочистка работает круглогодично.

Годовой объем заготавливаемой сахарной свеклы при длительности сокодобывания 110 сут составляет 607 тыс. т. Ежедневно на завод поступает 120—130 железнодорожных вагонов со свеклой. Годовая выработка товарного сахара составляет 79 тыс. т, сырого жома с содержанием 7,3 % СВ — 485 тыс. т, условной мелассы — 32,5 тыс. т.

Среднесуточная численность работающих в производстве и непромышленных подразделениях 890 человек. Уровень механизации работ на новом заводе по всем видам грузов 95 %, в том числе со свеклой 97,5 %. Для контроля и управления технологическими процессами имеются центральный пульт управления и система промышленного телевидения. Общая площадь под объектами и инженерными коммуникациями завода свыше 200 га, из них под зданиями и сооружениями около 40 га. Удельные капиталовложения на 100 т переработки свеклы в сутки составляют 750 тыс. руб., расход рабочей силы — 7 чел.-дней.

В зонах развитого свеклосеяния более целесообразно строительство сахарных заводов с производственной мощностью 9—12 тыс. т переработки свеклы в сутки. Технико-экономические показатели на таком заводе значительно лучше, чем на заводах производственной мощностью 6 тыс. т. Например, на 100 т переработки свеклы в сутки удельные капиталовложения снижаются до 650 тыс. руб., а расход рабочей силы — до 4 чел.-дней. В связи с возможностью сокращения длительности переработки свеклы, например до 90 сут, резко уменьшаются потери свекломассы и сахара и увеличивается выход сахара из 1 т.

Книга «Технология сахара» предназначена для учащихся профессионально-технических училищ, изучающих производство сахара из сахарной свеклы, составлена в соответствии с программами, утвержденными Государственным комитетом СССР по профессионально-техническому образованию для следующих специальностей рабочих: приемщик-контролер, кагатчик, резчик свеклы, аппаратчик, диффузии, сатураторщик, фильтровальщик, аппаратчик выпаривания, аппаратчик — варщик утфеля, центрифугощик-кристаллизаторщик.

Цель написания учебника — оказать помощь учащимся в изучении курсов по общей технологии и специальной технологии сахарного производства.

Глава 1

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ И УБОРКА

САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

САХАРНАЯ СВЕКЛА КАК РАСТЕНИЕ

Сахарная свекла является единственным источником отечественного сырья для производства сахара. Средний урожай на неполивных землях составляет 25—27 т с 1 га, сахаристость (массовая доля сахарозы в корнеплоде, выраженная в процентах) — 16—17 %. При посеве районированных сортов и правильном уходе многие хозяйства стабильно получают по 40—50 т с 1 га.

Ботаническое описание. Сахарная свекла (*Beta vulgaris*) является перекрестно опыляющимся двулетним растением из семейства Маревых. В первый год жизни она образует утолщенный корнеплод с сильно развитой корневой системой и мощную розетку прикорневых черешковых листьев. Осенью корнеплоды выкапывают и сохраняют. В следующем году на высаженных в почву корнеплодах формируются розетка листьев и стебель. На стебле образуются цветки, а затем семена. Для производства сахара используются корнеплоды первого года развития (фабричная свекла).

Период роста и развития сахарной свеклы в первый год жизни в среднем составляет 150—180 сут (с колебаниями от 100 сут в Западной Сибири до 200 сут в Средней Азии и Закавказье), во второй год — 100—130 сут.

Лист. Имеет сердцевидную форму с волнистыми краями и гофрированной или гладкой поверхностью, состоит из листовой пластинки и черешка. На листе легко различить жилки и листовую ткань (мякоть листа). Жилки состоят из волокон и сосудов. Волокна придают листу прочность, а по сосудам осуществляется отток синтезированных органических веществ. Посередине проходит главная жилка, переходящая в черешок.

Корнеплод обычно имеет коническую форму без разветвлений с относительно небольшой головкой. С двух сторон на нем по спирали расположены бороздки, из которых растут тонкие корешки с корневыми волосками. Через корневые волоски растение получает из почвы влагу и питательные веще-

ства. Мякоть корнеплода плотная, белая. В корнеплоде (рис. 3) различают головку 4, шейку 3, собственно корень 2, хвостик 1.

Головка — верхняя часть корнеплода, на ней расположены мощная розетка листьев и почки (глазки), из которых на второй год жизни вырастают цветоносные побеги. Граница головки проходит по линии нижних листьев и почек.

Шейка — часть корнеплода, расположенная ниже головки, свободная от листьев и боковых корешков.

Собственно корень — часть корнеплода ниже шейки, на ней с двух противоположных сторон расположены продольные бороздки с боковыми корнями.

Хвостик — нижняя часть корнеплода диаметром меньше 10 мм.

В зависимости от сорта и условий возделывания корнеплоды свеклы имеют коническую, мешковидную и цилиндрическую форму.

Корнеплоды конической формы более сахаристые, мешковидные — урожайные.

В строении корнеплодов встречается ряд дефектов, приводящих к снижению урожайности и сахаристости. Наиболее распространенные из них следующие:

ветвистость (разветвление нижней части корнеплода или утолщение боковых корней) — появляется при мелкой вспашке, в каменистой почве; такие корнеплоды хуже хранятся;

дуплистость — образуется при разрыве тканей в головке корнеплода вследствие неравномерного их нарастания. Дупла являются очагами грибных и бактериальных заболеваний при хранении корнеплодов;

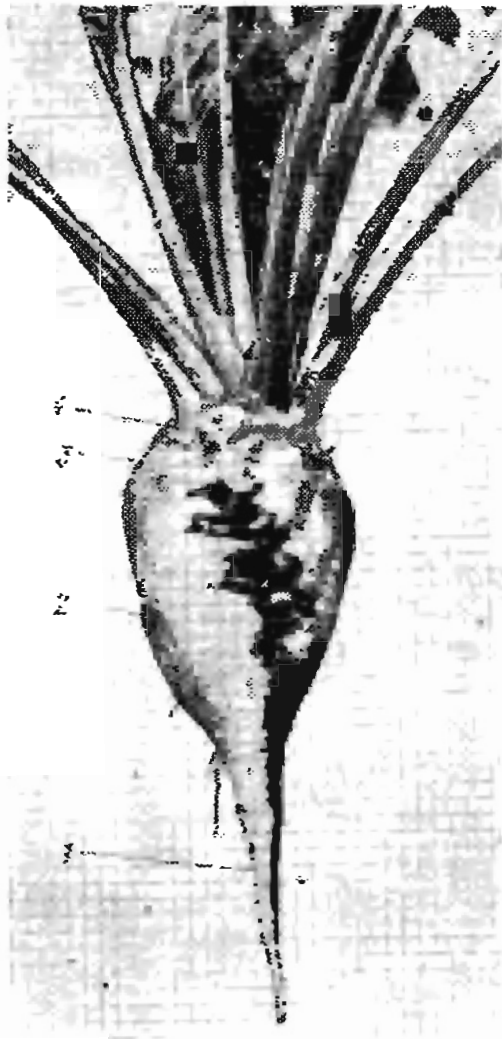
многоголовчатость — проявляется при разрастании отдельных почек, поэтому на одном корнеплоде образуется несколько обособленных головок;

бугристость и скрученность (боковые бороздки корнеплода идут винтообразно) — вызываются неравномерностью роста внутренних тканей корнеплода, повышенной плотностью почвы, неравномерностью распределения питательных веществ.

Цветки и плоды. У сахарной свеклы они обоеполые пятерного типа, с зеленым раздельнолепестным чашечковидным околоцветником.

Тычинок пять, пестик один.

У многосемянной свеклы (рис. 4) цветки размещены в пазухах прицветных листьев группами, они сростаются вместе и образуют соплодия (клубочки). В одном клубочке содержится столько плодов, сколько было цветков в пазухе прицветного листа (обычно 2—4). У односемянной свеклы цветки одиночные и каждый из них образует один плод. В гнезде плода, прикрытом сверху крышечкой, находится семя: если удалить крышечку, то семя легко освобождается от соплодия.



Многосемянная
свекла



Односемянная
свекла



Рис. 4. Часть цветonoсного побега сахарной свеклы

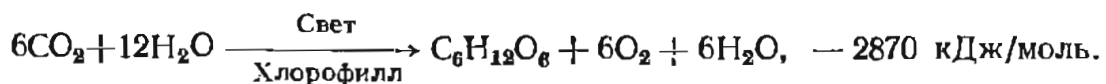


Рис. 3. Сахарная свекла к концу первого года жизни

Условия жизни. Сахарная свекла — растение длинного светового дня. Для ее нормального развития требуются определенные количества света, тепла, воды, воздуха и питательных веществ. Эти компоненты равнозначны и незаменимы.

Свет и тепло. При участии световой энергии в зеленых листьях свеклы из неорганических веществ образуются органические вещества. Происходит процесс, называемый фотосинтезом (от греческого «фотос» — свет и «синтез» — соединение). Впервые сущность фотосинтеза раскрыл русский ученый К. А. Тимирязев.

Фотосинтез углеводов можно представить в общем виде уравнением



Этот процесс происходит с поглощением тепла [знак «минус»

(—) означает поглощение, знак «плюс» (+) — выделение тепла].

В синтезированных углеводах водород и кислород чаще всего находятся в таком же соотношении, как и в воде. Общая формула углеводов $C_mH_{2n}O_n$ наглядно отражает название «углеводы» (как бы состоящие из углевода и воды).

Процесс фотосинтеза в основном связан с ассимиляцией (усвоением) растениями диоксида углерода из воздуха.

Сахарная свекла успешно возделывается и дает хорошие урожаи в зонах, где сумма среднесуточных температур составляет 1900—3500 °С. Температура оказывает большое влияние на фотосинтез, который наиболее интенсивно протекает при температуре около 20 °С.

Но и в интервале 10—30 °С ассимиляция диоксида углерода идет достаточно энергично.

Вода и воздух. Масса воды, расходуемой на образование 1 кг сухих веществ растения, называется коэффициентом водопотребления (транспирационным коэффициентом). В зависимости от влажности почвы и воздуха, агротехники и других факторов его величина колеблется от 240 до 600. При средней урожайности свеклы (300 т/га) и коэффициенте водопотребления 400 расход воды на ее выращивание составит 3000 т на 1 га, не считая массы влаги, испаряемой непосредственно почвой.

Потребление влаги в период вегетации сахарной свеклы неравномерно. В июле и августе, когда идет интенсивное формирование листьев и корнеплода, расход воды максимальный. В начале и конце вегетации листовая площадь поверхности меньше и потребление воды ниже. Если разделить период вегетации на три периода (по 50 дней в каждом), то соотношение расхода воды в каждом из них будет примерно 1:9:3.

Сахарная свекла требовательна к аэрации почвы. На глубоко вспаханных, хорошо разрыхляемых в период вегетации, воздухопроницаемых почвах она получает достаточный приток свежего воздуха к корневой системе и быстро растет, образуя крупные, высокосахаристые корнеплоды.

Питательные вещества. Условно различают воздушное (фотосинтез) и корневое питание растений. Корневое питание — это усвоение растением через корневую систему растворенных в воде минеральных солей. Для нормального роста и развития сахарной свекле требуется до 85 различных элементов, но не все они имеют одинаковое значение. Наиболее важными элементами, поступающими из почвы с водой, являются азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо. Большую роль играют также микроэлементы: бор, марганец, медь, цинк, молибден, кобальт.

Сахарная свекла лучше всего растет на почвах, отличающихся высокой влагоемкостью, воздухопроницаемостью, тепло-

проводностью, содержанием необходимых питательных веществ. Таким требованиям соответствуют черноземные и близкие к ним по плодородию серые лёссовые почвы. Для выращивания свеклы непригодны заболоченные, песчаные, каменистые, тяжелосуглинистые почвы и почвы с повышенной кислотностью. Уровень грунтовых вод должен быть ниже поверхности на 1,5 м.

Сорта и гибриды. Сорт — это группа культурных растений, созданных путем селекции, обладающих определенными наследственными, морфологическими, биологическими, хозяйственно-ценными свойствами и возделываемых в определенной почвенно-климатической зоне.

При оценке сорта сахарной свеклы главными показателями являются сахаристость, урожайность и высокие технологические качества.

Различают урожайные, сахаристые и урожайно-сахаристые сорта.

Большим достижением является создание односемянной сахарной свеклы, культивирование которой открывает возможность полной механизации возделывания. Выведены сорта сахарной свеклы, устойчивые к цветущности и заболеваниям, скороспелые, отзывчивые на орошение. Созданы межсортные гибриды, превышающие по продуктивности исходные сорта.

В СССР наиболее распространены следующие районированные (лучшие в местных условиях) сорта и гибриды сахарной свеклы.

Односемянные сорта. Белоцерковская односемянная — сорт урожайного направления, районирован в Херсонской, Хмельницкой областях Украинской ССР, в Джамбулской области Казахской ССР;

Киргизская односемянная 8 — сорт урожайно-сахаристого направления, высокопродуктивный, перспективен для орошаемых районов, районирован в Киргизской ССР и Алма-Атинской области Казахской ССР;

Рамонская односемянная 9 — сорт урожайно-сахаристого направления, районирован в Воронежской области;

Ялтушковская односемянная — сорт урожайно-сахаристого направления, высокопродуктивный, устойчив против церкоспороза, отзывчив на улучшение условий выращивания, районирован в Молдавской ССР и во многих областях УССР. Занимает наибольшие площади.

Односемянные (межсортные) гибриды. Белоцерковская односемянная × Верхнячская 020 — урожайно-сахаристого направления, возделывается в Львовской, Полтавской и других областях УССР;

Львовский гибрид — урожайного направления, районирован в Белгородской и Курской областях, в Мордовской АССР;

Ялтушковский гибрид — имеет более высокую продуктивность и сахаристость, чем сорт Ялтушковская односемянная,

отзывчив на улучшение условий выращивания, устойчив против поражения церкоспорозом, цветущность средняя, районирован в 20 областях и республиках.

Многосемянные сорта. Верхняцкая 020, Верхняцкая 038, Верхняцкая 103 — сорта урожайно-сахаристого направления, районированы в свеклосеющих областях Украинской ССР;

Киргизская 069 — сорт урожайно-сахаристого направления, отличается повышенной сахаристостью, районирован в Киргизской ССР;

Рамонская 06 и Рамонская 065 — сорта урожайно-сахаристого направления, отличаются высокой урожайностью и сахаристостью, засухоустойчивы, малоцветущие и скороспелые, первый хорошо реагирует на высокий агрофон и районирован в 24 областях и республиках, а второй районирован в Липецкой, Тамбовской областях и в Мордовской АССР.

Полигибриды. Белоцерковский полигибрид 1 (БЦ-1) и Белоцерковский полигибрид 2 (БЦ-2) — сорта урожайно-сахаристого направления, среднеустойчивы к засухе, среднеспелые. Первый сорт районирован в Днепропетровской, Ворошиловградской, Ровенской, Одесской и Харьковской областях Украинской ССР, второй сорт — в Винницкой, Полтавской, Хмельницкой и Черновицкой областях Украинской ССР.

Кубанский полигибрид 9 — сорт урожайно-сахаристого направления, среднеустойчив к засухе, позднеспелый, значительно меньше поражается болезнями, чем стандартные сорта, районирован в Краснодарском крае.

Всего в СССР районировано свыше 40 сортов и гибридов сахарной свеклы, из них почти половина односемянных.

ПОСЕВ И ВЫРАЩИВАНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Размещение сахарной свеклы в севообороте. Освоенный севооборот с правильным чередованием культур, соответствующий их биологическим особенностям и почвенно-климатическим условиям, создает благоприятные условия для получения высоких и устойчивых урожаев сахарной свеклы.

Основные посевы сахарной свеклы в СССР размещены в зонах достаточного увлажнения (Прибалтийские республики, Белорусская ССР, западные области УССР, северные районы Хмельницкой, Киевской, Винницкой, Сумской, Черниговской областей, районы Курской, Орловской, Тульской, Липецкой, Брянской, Пензенской областей) и неустойчивого увлажнения (на севере примыкают к зоне достаточного увлажнения, с юга ограничиваются линией, проходящей через Могилев-Подольский, Умань, Полтаву, Харьков, Белгород, Воронеж, Куйбы-

шев). В первой зоне в среднем за год выпадает около 550 мм осадков, а за вегетационный период — 330—350 мм, во второй зоне — соответственно 480—500 мм и 300—325 мм с большими отклонениями в отдельные годы.

Примерное чередование культур в 10-польном севообороте в зонах достаточного увлажнения следующее:

1) однолетние травы на зеленый корм и сено, кукуруза на силос и др.;

2) озимые;

3) сахарная свекла;

4) яровые зерновые с подсевом многолетних трав;

5) многолетние травы;

6) озимые;

7) сахарная свекла;

8) зернобобовые, кукуруза;

9) горох;

10) озимые.

В зоне неустойчивого увлажнения, где сосредоточены наибольшие посевы сахарной свеклы примерное чередование культур следующее:

1) пар чистый, озимые и однолетние травы на зеленый корм;

2) озимые;

3) сахарная свекла;

4) яровые зерновые с подсевом многолетних трав;

5) многолетние травы;

6) озимые;

7) сахарная свекла и кукуруза;

8) горох, вика на зерно;

9) озимые;

10) кукуруза, яровые зерновые, подсолнечник.

Качество семян. Для высева используются семена сахарной свеклы только районированных сортов и гибридов. Основными показателями качества семян являются спелость, крупность, всхожесть и энергия прорастания.

Для односемянной свеклы всхожесть должна быть не менее 70 %, многосемянной — 75 %, полиплоидных односемянных сортов — 65 % и полиплоидных многосемянных — 70 %.

Влажность семян должна быть не более 14,5 %, чистота — не ниже 97 %.

Односемянная сахарная свекла обладает некоторыми преимуществами перед многосемянной. При высеве ее семян ростки в рядках распределяются рассредоточенно, корни не переплетаются между собой, как у многосемянной свеклы. Это облегчает прорывку. Корневая система растений при прорывке не повреждается. В начале развития, когда растения размещены еще очень густо, они не «стекают» («стекание» — это чрезмерное вытягивание листьев и черешков и приостановка роста кор-

неплодов). При опаздывании с прорывкой урожая односемянной свеклы снижаются меньше, чем на посевах многосемянной свеклы.

Но у односемянной свеклы имеются недостатки: меньшая урожайность и сахаристость по сравнению с многосемянной, большая чувствительность к заморозкам, болезням, недостатку влаги, подверженность цветущности.

К посеву семена сахарной свеклы готовят на семенных заводах, где после сушки их калибруют и обрабатывают защитно-стимулирующими веществами. При калибровании семян выделяют две посевные фракции: диаметром 3,5—4,5 и 4,5—5,5 мм. Семена крупнее 5,5 мм шлифуют, очищают и калибруют. При шлифовании удаляется до 30 % массы рыхлого слоя околоплодника.

Это придает им лучшую сыпучесть, и они более равномерно распределяются в рядке при посеве.

В настоящее время часть семян дражируют, т. е. на предварительно отшлифованную поверхность семян накатывают оболочку из специальной дражировочной массы (смеси суспензии бентонитовой глины и торфа) для придания им шарообразной формы и большей массы, что обеспечивает точный посев с заданными расстояниями между семенами в рядке. Всхожесть дражированных семян должна быть не менее 80 %.

Предпосевная обработка почвы. Основная обработка почвы под сахарную свеклу складывается из лущения жнивья на глубину 8—12 см и глубокой зяблевой вспашки. При лущении уничтожаются пожнивные сорняки, улучшается накопление влаги в почве, создаются благоприятные условия для прорастания семян сорняков, всходы которых затем уничтожаются глубокой вспашкой. Зяблевая вспашка проводится после лущения в конце августа или первой половине сентября на глубину 28—30 см.

Ранней весной, когда почва слегка подсохнет и верхний слой ее будет хорошо крошиться, для предотвращения потерь воды от испарения поле разравнивается и рыхлится шлейфами и боронами. Шлейфы срезают гребни, размывают почву, а бороны рыхлят выровненную поверхность. Ранневесеннее рыхление зяби проводится по диагонали поля, что обеспечивает удовлетворительное выравнивание почвы.

Непосредственно перед посевом свеклы поле культивируется пропашными культиваторами с плоскорезными лапами на глубину 5—7 см, чтобы не переворачивать почву. В результате культивации уничтожаются проростки сорняков, создается рыхлый мелкокомковатый слой, обеспечивающий равномерную заделку семян и благоприятные условия для их прорастания.

Сев. К посеву свеклы приступают на 3—4-й день после начала сева ранних зерновых культур, когда температура почвы на глубине заделки семян (3—4 см) достигает 6—9 °С, сразу же после предпосевной обработки почвы, чтобы не допустить

иссушения ее верхнего слоя. Влажность почвы в это время составляет 55—65 % от ее полной влагоемкости.

Сеют свеклу поперек направления осенней вспашки навесными пунктирными 12-рядными сеялками с расстоянием между рядками 45 см (60 см на поливных землях) и одновременным внесением минеральных удобрений. Оптимальная норма высева 30—35 всхожих клубочков на 1 м рядка для многосемянной свеклы и 35—40 плодов для односемянной свеклы. Засеянное поле сразу прикатывается.

За 3—4 дня до появления всходов проводят довсходовое боронование.

Для успешного применения механизмов при прореживании всходов и уходе за посевами необходимо получить дружные всходы по всему полю. Поэтому на каждом поле сев проводится групповым методом за 1—1,5 дня, а в целом по хозяйству — за 4—5 дней. Каждый день опоздания с севом приводит к недобору урожая от 0,6 до 1,2 т с 1 га и снижению сахаристости на 0,15—0,25 %.

Рост и развитие. После высева семян в почву трогается в рост зародышевый корешок, постепенно углубляясь в землю. Через 9—12 сут наружу появляются семядоли, которые зеленеют и выполняют роль листьев. Этот период называется фазой вилочки.

К концу фазы вилочки первичный корень сахарной свеклы достигает глубины 15—20 см и начинают развиваться боковые корни.

Через 8—10 сут после всходов появляется первая пара настоящих листьев. С этого момента главный корень начинает утолщаться. За первой парой настоящих листьев через каждые 2—3 дня появляются вторая, третья, четвертая и пятая пары листьев, а семядоли отмирают. В фазе 2—4 пар листьев происходит линька корня, т. е. первичная кора сбрасывается, а вместо нее появляется новая, покрытая пробковой тканью. После линьки заметно обозначается форма будущего корнеплода.

В середине вегетации листья появляются через 1—2 дня. К концу июля общая площадь ассимиляционной поверхности листьев одного растения достигает наибольших размеров — 0,7—1,4 м².

Рост и развитие сахарной свеклы первого года жизни можно разделить на три основных периода. В первый период (от появления семядолей до смыкания листьев в рядках) наиболее энергично развиваются листья и корневая система, рост корнеплода отстает от роста листьев. Второй период (смыкание листьев в рядках и междурядьях) характеризуется интенсивным нарастанием корнеплода, а рост листьев отстает от роста корнеплода. В третий период (размыкание листьев в рядках и междурядьях) наблюдается замедление прироста корнеплода и листьев с одновременным усилением накопления сахарозы, часть

листьев отмирает. К началу уборки свеклы масса листьев составляет 35—50 % массы корнеплода.

Уход за посевами. С появлением всходов, как только обозначатся рядки, в междурядьях для уничтожения сорняков почва подвергается рыхлению на глубину 2—3 см культиваторами, оборудованными лапами-бритвами. Такой способ обработки посевов свеклы называется рыхлением или шаровкой.

В фазе первой пары настоящих листьев сначала проводится послевсходовое боронование (за два боронования — довсходовое и послевсходовое — уничтожается около 80 % сорняков), затем поперечное прореживание посевов пропашными культиваторами (букетировка).

При густоте всходов 25—30 растений на 1 м рядка и равномерном их распределении вырезы делают длиной 30 см, а букеты — 15 см. Когда на 1 м рядка имеется 20—25 растений, то вырез уменьшается до 27 см, а длина букета увеличивается до 18 см. После этого из букета вручную удаляют лишние, более слабые растения (прорывка), оставляют только 2—4 растения. Запаздывание с прореживанием посевов сахарной свеклы приводит к большому недобору урожая.

Густота насаждения оказывает существенное влияние на урожай сахарной свеклы. С междурядьем 45 см рекомендуется следующая оптимальная густота насаждения к моменту уборки (в тыс. растений на 1 га): в зоне достаточного увлажнения 90—95; в зоне с неустойчивым увлажнением 85—90; в зоне с недостаточным увлажнением 80—85. Для междурядья 60 см густота насаждений снижается на $\frac{1}{3}$. Для облегчения выкапывания корнеплодов за 2—3 недели до уборки междурядья рыхлят на глубину 10—12 см.

Сахарная свекла по сравнению с другими культурами потребляет больше питательных веществ. При внесении 1 т полного минерального удобрения (при правильном соотношении азота, фосфора и калия) урожай ее с 1 га повышается на 8—10 т и более. Эффективность удобрения резко возрастает при сочетании их с другими агротехническими приемами: севооборотом, надлежащей обработкой почвы, известкованием, борьбой с вредителями и болезнями сахарной свеклы.

Основная масса удобрений под сахарную свеклу вносится с осени под зяблевую вспашку. При этом значительно сокращаются затраты труда и получается наибольшая прибавка сахара с 1 га.

Свекла хорошо растет и дает высокие урожаи на нейтральных и слабощелочных почвах, кислые почвы угнетают ее рост и развитие. Для известкования кислых почв используют известняк и мел, которые вносятся под сахарную свеклу до глубокой зяблевой пахоты из расчета 2,5—5 т на 1 га. При внесении оптимальной дозы известия урожай сахарной свеклы увеличивается на 2—3 т с 1 га и повышается ее сахаристость.

Цветушность свеклы. При неблагоприятных метеорологических условиях, нарушении сроков высева и агротехники возделывания сахарная свекла в первый год своего развития может дать цветоносные побеги, а иногда и плодоносит. Такую свеклу называют цветущей. Корнеплоды ее плохо изрезаются в стружку, так как сопротивление резанию у них в 3—5 раз больше, чем у обычных корнеплодов.

Одна из основных причин появления цветущей свеклы — ранний сев с последующим резким похолоданием и отсутствием осадков. При этом высеянные семена лежат в земле 30—40 сут вместо обычных 7—9 сут и успевают пройти стадию яровизации. На повышение процента цветущей свеклы в посевах влияют также чрезмерное внесение в почву азотистых удобрений и сорт семян. Сорта и гибриды свеклы, созданные в условиях жаркого климата, более склонны к цветущести. Повышенной цветущестью отличаются односемянные сорта и гибриды.

Основными методами борьбы с цветущестью сахарной свеклы являются выведение устойчивых к ней сортов и гибридов, посев в оптимальные сроки и соблюдение правил агротехники возделывания.

Спелость свеклы. Различают ботаническую, биологическую и техническую (производственно-хозяйственную) спелость сахарной свеклы.

Ботаническая спелость наступает на втором году жизни, когда созревают семена.

В конце вегетации сахарной свеклы первого года жизни, когда в растении постепенно затухают жизненные процессы, наступает биологическая спелость. В этот период интенсивно отмирают листья, замедляется прирост массы корнеплода и сахарозы, повышается доброкачественность свекловичного сока, снижается содержание воды в корнеплодах, происходит распад белковых веществ в плазме листьев, а продукты распада перемещаются в корнеплоды.

При достижении технической спелости в корнеплодах накапливается наибольшее количество сахарозы. Дальнейший незначительный прирост массы корнеплода и количества сахарозы уже не оказывает существенного влияния на урожай и сахаристость. Перед наступлением технической спелости рядки свеклы размыкаются, листья становятся светло-зелеными, частично желтеют и отмирают, отношение массы листьев к массе корнеплода становится примерно 1:3. Техническая спелость сахарной свеклы зависит от сорта, погодных условий, агротехники, плодородия почвы. В засушливый период техническая спелость наступает раньше, чем в пасмурный и дождливый.

В изреженных посевах свекла поспевает раньше, чем в загущенных. Избыток навоза и азотистых удобрений затягивает сроки поспевания, а фосфорно-калийных — ускоряет. Степень

пожелтения и отмирания листьев, замедление прироста корнеплода используются как показатель начала копки сахарной свеклы.

Техническая спелость сахарной свеклы наступает раньше биологической спелости.

УБОРКА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Сырьевая зона и сроки уборки. Сырьевая зона сахарного завода формируется таким образом, что большая часть заготавливаемой свеклы поступает с полей непосредственно на завод, минуя свеклоприемные пункты. Заготовка сахарной свеклы для промышленной переработки осуществляется по ежегодным планам, утверждаемым для каждой республики. На основании этого сахарные заводы заключают с каждым свеклосеющим хозяйством договор, обуславливающий права и обязанности для обеих сторон и устанавливающий сроки и продажу определенного количества сахарной свеклы. В соответствии с договором свеклосеющие хозяйства выращивают сахарную свеклу и сдают ее заводу, а сахарные заводы обеспечивают их качественными семенами, оказывают консультативно-техническую помощь, следят за ростом свеклы и осуществлением в оптимальные сроки агротехнических мероприятий, составляют прогнозы ожидаемого урожая и качества свеклы, организуют ее приемку. Перед началом уборки производят массовое химико-фитопатологическое обследование всех посевов. На основании этих данных сахарные заводы и свеклосеющие хозяйства совместно с управлениями сельского хозяйства райисполкомов и транспортными организациями составляют графики (рис. 5) копки и вывозки с полей свеклы по пятидневкам с преимущественной нагрузкой на октябрь и за 20 дней до начала уборки представляют его на согласование в райисполком.

Этими графиками в период до массовой копки предусматривается выкапывать и вывозить свеклу в количестве, обеспечивающем 2—3-суточную бесперебойную работу заводов без создания запасов выкопанной свеклы в поле.

В табл. 1 представлены динамика роста и накопление в свекле сахарозы в июле—сентябре (средние показатели за 8 лет).

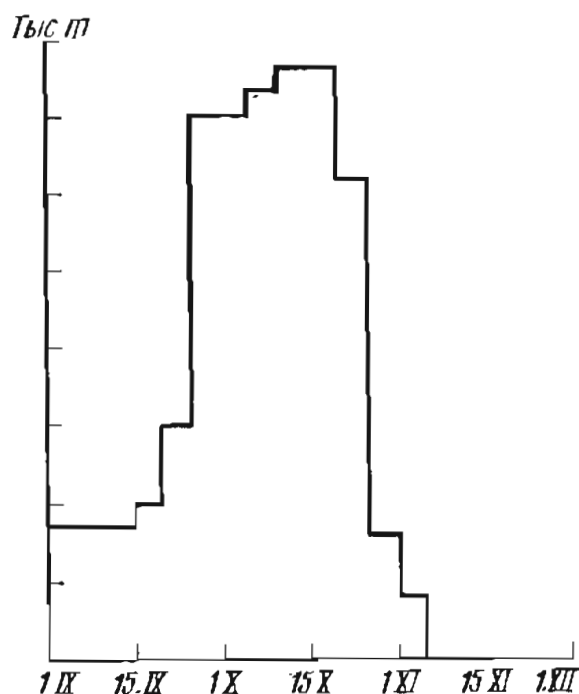


Рис. 5. Примерный график суточной копки и вывозки сахарной свеклы

Судя по этим данным, начинать уборку сахарной свеклы лучше во второй половине сентября. Но учитывая погодные условия, хозяйственные возможности и другие факторы, к уборке и переработке приступают раньше — в первой половине сентября. Первоначально выкапывают свеклу на полях с более спелыми растениями, а после 20 сентября начинается массовая уборка.

Таблица 1

Характеристика сахарной свеклы	Динамика роста						
	20.07	1.08	10.08	20.08	1.09	10.09	20.09
РСФСР в целом							
Сахаристость, %	9,7	11,6	13,2	14,3	15,1	15,8	16,3
Масса корнеплода, г	99	150	203	250	292	326	351
Масса ботвы, г	207	251	264	264	253	236	163
Краснодарский край							
Сахаристость, %	12	13,4	14,4	14,9	15	15,2	15,3
Масса корнеплода, г	216	272	321	366	404	436	461
Масса ботвы, г	294	278	245	206	181	159	143
Воронежская область							
Сахаристость, %	10,6	12,9	14,6	15,4	16,2	17	17,5
Масса корнеплода, г	88	135	185	229	269	300	323
Масса ботвы, г	192	222	228	232	218	196	186

Окончание уборки зависит от погоды. Ориентировочно она должна заканчиваться: в Алтайском крае 5 октября, в областях Центрально-Черноземного района РСФСР 20—25 октября, в Краснодарском и Ставропольском краях 15 ноября, в Украинской ССР 1—10 ноября.

Сахарную свеклу убирают комбайнами: трехрядными теребильного типа КСТ-3А, выдергивающими свеклу из земли; шестирядными КС-6 и РКС-6 в комплекте с ботвоуборочной машиной БМ-6. Эти машины полностью исключают ручной труд при выкапывании свеклы и отделении примесей. Наибольшее распространение на уборке свеклы получил комплекс РКС-6 и БМ-6.

Свеклоуборочными машинами удается собрать с поля 92—94 % массы корнеплодов, остальная масса остается в земле (оборванные хвостики, невыкопанные корнеплоды) или теряется на поверхности.

При использовании ботвоуборочной машины БМ-6 получают 80—82 % корнеплодов с нормальным срезом ботвы и около 20 % с высоким срезом, в том числе с черешками длиной до 1 см около 10 %.

Для уборки цветущей свеклы комбайны КСТ-3А оказыва-

ются непригодными из-за быстрого забивания теребильного аппарата и направляющих перед дисковыми ножами. Кроме того, на корнеплодах остается много деревянистых стеблей и до 10 % зеленой массы. Удовлетворительные результаты получают только при совместном использовании РКС-6 или КС-6 с ботвоуборочной машиной БМ-6. Они обеспечивают почти полный срез ботвы со стеблей.

Механизированная уборка сахарной свеклы осуществляется поточным, перевалочным и поточно-перевалочным способами. При поточном способе свекла выкапывается, очищается, погружается в идущий рядом с комбайном транспорт и отправляется на приемный пункт. При этом способе необходима четкая согласованность в работе уборочных машин и автотранспорта. При расположении приемного пункта от поля до 15 км каждый шестирядный комбайн обслуживается 10—12 автомашинами.

При недостатке автотранспорта или большой загрязненности корнеплодов применяется перевалочный способ уборки, когда выкопанная свекла укладывается на краю поля в валки или полевые кагаты шириной, соответствующей захвату свеклопогрузчика, и в тот же день или на вторые сутки вывозится на приемные свеклопункты. При подаче корнеплодов из валков или кагатов в автомашины свеклопогрузчиком-очистителем значительная часть подсохшей земли и зеленой массы (до 80 %) отделяется и остается на поле. Это дает возможность укладывать на длительное хранение более чистую свеклу и не вывозить с поля плодородную почву.

При дождливой погоде сахарную свеклу убирают только перевалочным способом.

Поточно-перевалочный способ уборки свеклы дает возможность лучше организовать работу автотранспорта. При перевозке корнеплодов на расстояние до 15 км $\frac{2}{3}$ уборочных машин используются на поточном способе, остальные — на перевалочном; от 16 до 20 км половина машин работает на поточном способе и при перевозке на расстояние от 21 до 40 км $\frac{1}{3}$ машин работает на поточном способе.

При существующем в сельском хозяйстве наборе техники для уборки свеклы и укладки ее на хранение, не обеспечивающем достаточно полного отделения примесей, предпочтительно пользоваться перевалочным способом.

Хранение свеклы в поле. Если выкопанную свеклу нельзя вывезти в тот же день с поля, ее укладывают на кратковременное хранение в кучи или полевые кагаты, которые располагаются вблизи дорог на площадках, предварительно выровненных, утрамбованных и обработанных известью-пушонкой (0,2 кг на 1 м²). Кратковременному хранению может подвергаться только здоровая, неповрежденная и неподмороженная свекла.

Боковые поверхности полевых кагатов укрывают слоем сухой земли толщиной 10 см в сентябре и 15—20 см в октябре.

Из полевых кагатов свеклу вывозят в течение 5—7 сут с момента уборки.

При хранении в поле свежескопанных корнеплодов теряется значительная часть свекломассы и сахарозы (табл. 2).

Таблица 2

Способ хранения свеклы в поле	Среднесуточные потери в III декаде сентября, % к массе свеклы			
	свекломассы	сахарозы	свекломассы	сахарозы
	Без укрытия	Укрытие	землей	
Кучи по 5—6 т	0,81	0,13	0,48	0,09
Полевые кагаты высотой, м				
1—1,2	0,65	0,11	0,37	0,08
2—2,5	0,61	0,08	0,27	0,06

Следует отметить, что в сентябре дыхание корнеплодов свеклы примерно в 3 раза интенсивнее, чем в октябре. Во столько же раз будут выше и потери сахарозы на дыхание.

СТРОЕНИЕ, СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Масса корнеплода состоит из множества микроскопических клеток, среди которых различают плотные опробковевшие, не проницаемые для влаги клетки, составляющие верхнюю защитную кожицу корнеплода (эпидермис); клетки, образующие соудистые пучки, по которым влага и питательные вещества направляются к листьям, а сахар и другие вещества из листьев — в корнеплоды, клетки паренхимной ткани — в них накапливается и хранится свекловичный сок, содержащий сахарозу и все растворимые в воде вещества.

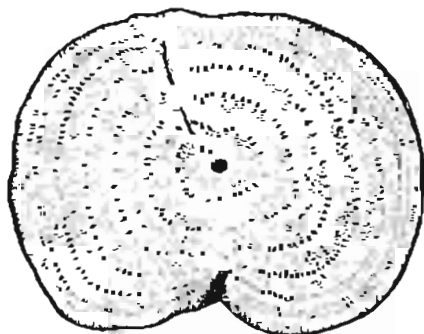


Рис. 6. Поперечный разрез корнеплода сахарной свеклы

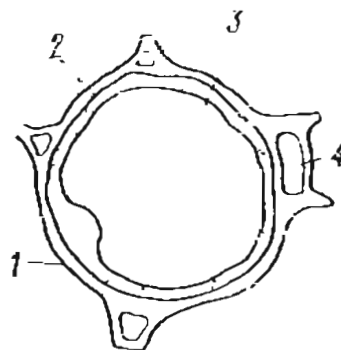


Рис. 7. Клетка паренхимной ткани

На поперечном разрезе корнеплода свеклы (рис. 6) видны кольца, по которым расположены сосудисто-волокнистые пучки. Таких колец у корнеплода бывает 10—12 и более. Чем их больше и чем гуще они расположены, тем выше сахаристость свеклы. Самыми молодыми являются периферийные кольца сосудистых пучков и самыми старыми — центральные. Паренхимная ткань в массе корнеплода перемежается с вытянутыми клетками сосудистых пучков и лубяных волокон, придающих ему прочность и упругость.

Клетка паренхимной ткани (рис. 7) имеет оболочку (или клеточную стенку) 1, состоящую из целлюлозы, гемицеллюлоз и пектиновых веществ, внутри к ней прилегает слой протоплазмы 2 с ядром. Протоплазма, состоящая из белковых веществ, окружает вакуоль 3, заполненную свекловичным (клеточным) соком. В углах сопряженных соседних клеток стенки их образуют межклетники 4, заполненные газом или соком. Протоплазма соседних клеток сообщается между собой через тонкие каналы в клеточной стенке. Протоплазма является полупроницаемой перегородкой: пропускает через себя воду и не пропускает растворенные в соке вещества. Только при температуре выше 60 °С белки протоплазмы денатурируют (свертываются) и растворенные вещества из сока переходят через клеточные стенки в окружающую среду.

Распределение сахарозы в корнеплоде неравномерно. Одинаковое процентное содержание сахарозы в его массе можно представить в виде концентрических, как бы вложенных один в другой конусов (рис. 8).

В головке и хвостике корнеплода сахарозы содержится значительно меньше, чем в средней его части, а несахаров (органические азотистые и безазотистые вещества и зола) — больше в головке и хвостике (35—50 % к их общей массе в корнеплоде). Масса головки и хвостика в корнеплоде нормальной свеклы обычно не превышает 20 %.

Примерный химический состав корнеплодов сахарной свеклы, выращенной на неполивных землях с малым использованием минеральных удобрений и дополнительной доочисткой их после выкапывания, приведен на схеме (рис. 9).

Несахара свеклы в производстве ведут себя по-разному. Целлюлоза, гемицеллюлозы, большая часть белков, пектиновых веществ и сапонины удаляются с жомом и на технологию сахара не влияют. Растворенные в соке несахара отрицательно

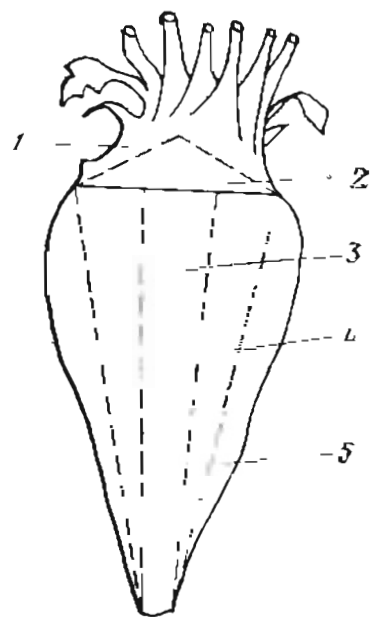


Рис. 8. Распределение сахарозы в корнеплоде сахарной свеклы (в % к его массе):
1 — 10; 2 — 11; 3 — 15;
4 — 17; 5 — 16



Рис. 9. Средний химический состав сахарной свеклы

вливают на технологические процессы, способствуют увеличению содержания сахарозы в мелассе.

Из всех форм азота «вредным» для производства является аминокислотный, бетаинный, нитратный. Эти формы азота переходят в мелассу и способствуют увеличению ее массы и содержанию в ней сахарозы. Масса «вредного» азота составляет примерно $\frac{1}{3}$ его общего содержания в свекле.

К важнейшим ферментам сахарной свеклы относится инвертаза (β -фруктофуранозидаза), которая катализирует (ускоряет) расщепление сахарозы на моносахариды, пероксидаза и пектаза.

Химический состав корнеплодов цветущей свеклы резко отличается от свеклы нормального качества: сахаристость ее ниже, а содержание редуцирующих веществ и азота выше, нарушено соотношение калия и натрия. Все это обуславливает худшие технологические качества цветущей свеклы и легкую поражаемость ее болезнями. Выход сахара из цветущей свеклы на 0,8—1 % ниже, чем из нормальной, выход мелассы больше примерно на 0,5 %.

Технологические качества корнеплодов сахарной свеклы в первую очередь характеризуются сахаристостью, спелостью, состоянием тургора (тургор — упругость свекловичной ткани), степенью загрязненности, наличием несугаров в свекловичном соке. В переработку должны поступать корнеплоды спелой свеклы массой 350—400 г с минимальным содержанием примесей (земли, песка, зеленой массы, камней) и хорошим тургором.

В сельскохозяйственной оценке основным показателем является сбор корнеплодов сахарной свеклы (или сахара) и ботвы с 1 га посевной площади.

В технологической оценке наиболее важным является содержание сахарозы, которая в результате промышленной переработки превращается в товарный сахар.

При оценке технологических качеств корнеплоды измельчают в свекловичную кашку, сок отжимают, очищают известью и диоксидом углерода, в соке определяют содержание сухих веществ, сахарозы и вычисляют доброкачественность очищенного свекловичного сока.

Доброкачественность — это показатель качества, характеризующий содержание сахарозы в процентах в 100 г сухих веществ сахарозосодержащего продукта.

Предполагаемый выход товарного сахара (S в % к массе сырья) можно определить по формуле П. М. Силина

$$S = (CX_{св} - 1) \left(1 - \frac{100 - Дб}{Дб} m \right), \quad (1)$$

где $CX_{св}$ — сахаристость свеклы, определенная поляриметрическим методом, %; 1 — потери сахара до получения мелассы, которые зависят только от работы завода, % к массе свеклы; $Дб$ — доброкачественность очищенного свекловичного сока, %; m — мелассообразующий коэффициент (число, показывающее массу сахарозы, приходящуюся на единицу несахаров в мелассе).

Например, при сахаристости свеклы 16 %, доброкачественности очищенного свекловичного сока 90 % и мелассообразующем коэффициенте 1,35 предполагаемый выход сахара составит

$$S = (16 - 1) \left(1 - \frac{100 - 90}{90} 1,35 \right) = 12,75\%.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте ботаническое описание сахарной свеклы.
2. Какие главные условия необходимы для развития сахарной свеклы?
3. Какие сорта и гибриды сахарной свеклы наиболее широко распространены в СССР?
4. Когда и при каких условиях производится сев сахарной свеклы?
5. Как при уходе за посевами свеклы осуществляются шаровка, букетировка, прорывка и внесение удобрений?
6. Какая свекла называется цветущей?
7. Дайте определение биологической и технической спелости сахарной свеклы.
8. Каковы оптимальные сроки уборки сахарной свеклы?
9. В чем заключается поточный и поточно-перевалочный способы уборки свеклы?
10. Как хранить корнеплоды свеклы в поле?
11. Каково строение корнеплода сахарной свеклы?
12. Каков химический состав корнеплода нормальной сахарной свеклы?
13. Как оценивают технологические качества корнеплодов сахарной свеклы?
14. Что такое доброкачественность свекловичного сока?

Глава 2

ПРИЕМКА И ХРАНЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

ПРИЕМКА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Правила приемки. Приемка сахарной свеклы, отбор образцов, определение загрязненности и сахаристости производятся в соответствии с требованиями действующего ГОСТа. Сахарная свекла, соответствующая требованиям ГОСТа, считается кондиционной. Такая свекла обладает хорошим тургором, содержит цветущих корнеплодов для Прибалтийских республик и Белорусской ССР не более 3%, для остальных зон свеклосеяния не более 1%, подвяленных корнеплодов (по массе) не более 5%, корнеплодов с сильными механическими повреждениями не более 12%, зеленой массы не более 3%.

Свекла, содержащая выше нормы корнеплодов цветущих, подвяленных, с сильными механическими повреждениями, подмороженных, но непочерневших, принимается как некондиционная. В Алтайском крае подмороженная свекла принимается как кондиционная.

К общей загрязненности и засоренности свеклы относятся земля, ботва, черешки листьев, сорняки, боковые корешки и хвостики диаметром менее 1 см, а также прочие органические и минеральные примеси. К зеленой массе относятся листья, черешки листьев, ростки и сорняки.

Подвяленными корнеплодами считаются те, у которых понижен тургор, нарушена естественная твердость и хрупкость, хвостики изгибаются без отламывания.

К загнившим относятся корнеплоды, пораженные грибами и бактериями, у них вся масса или отдельные места потемнели и потеряли структуру.

Каждую партию свеклы, доставленную в одной транспортной единице и оформленную одним документом, до взвешивания осматривает приемщик-контролер. Он устанавливает соответствие свеклы требованиям ГОСТа и, исходя из ее физического состояния, спелости, общей загрязненности и данных предуборочного химико-фитопатологического обследования посевов, распределяет по кагатам на разные сроки хранения.

Кондиционная, свежая, здоровая свекла, поступившая в конце сентября и в октябре, направляется в кагаты длительного хранения (I категория). Свекла кондиционная, но более ранних сроков уборки, а также с пониженным тургором (слабоподвяленная) поступает в кагаты средней длительности хранения (II категория). Свекла некондиционная идет в кагаты краткосрочного хранения (III категория), где может храниться не более 1 мес.

После осмотра партию свеклы взвешивают вместе с транспортом на автомобильных весах грузоподъемностью 30 или 60 т с автоматической регистрацией результатов взвешивания и направляют на разгрузку.

Из партии свеклы с помощью механического пробоотборника Рюпро отбирают образец массой до 35 кг и после отмывания и доочистки корнеплодов в них определяют общую загрязненность, а затем на полуавтоматической линии УЛС-1 (украинская линия сахарности) — сахарность.

УЛС-1 работает следующим образом. Чистые корнеплоды свеклы измельчаются дисковыми пилами в мезгу. 70—80 г мезги смешиваются в стакане с дистиллированной водой (в соотношении 1 : 3). Мезга измельчается для разрушения клеточных стенок и высвобождения свекловичного сока. Затем для осветления сока приливается концентрированный раствор ацетата свинца (свинцовый уксус), осадок отфильтровывается и фильтрат поступает через деаэратор в кювету автоматического электронного поляриметра, где определяется содержание сахара. Результаты измерений фиксируются электроуправляемой пишущей машинкой. Максимальная погрешность определения содержания сахара в свекловичном соке $\pm 0,2\%$ к массе свеклы. Производительность УЛС-1 около 40 образцов в час.

После выгрузки корнеплодов транспортное средство взвешивают, его массу и массу примесей вычитают из общей массы и находят массу чистой свеклы, которая оплачивается по содержанию в ней сахара.

Премка и складирование. При существующей производственной мощности свеклосахарных заводов и принятых сроках уборки (45—50 сут.) около 60 % свеклы проходит стадию хранения на при заводских и периферийных свеклоприемных пунктах.

Для складирования свеклы используются грунтовые кагатные поля с продольными гидротранспортерами и склады с твердым покрытием и комплексной механизацией всех работ.

Современная технология хранения корнеплодов сахарной свеклы комбайновой уборки предусматривает следующие операции: строгое распределение по кагатам разных категорий свеклы в зависимости от их качества; доочистку от примесей перед укладкой в кагаты; хранение в кагатах оптимальных размеров; активное вентилирование увлажненным воздухом; защиту от увядания и подмораживания; обработку корнеплодов в процессе укладки в кагаты раствором натриевой соли гидразида малеиновой кислоты (ГМК-Na), пирокатехина, гидрохинона или раствором ФХ-1 (смесь фильтрационного осадка с хлорной известью); контроль температуры, относительной влажности в кагатах и автоматическое их регулирование; регулярное химико-фитопатологическое обследование свеклы при хранении и соблюдение очередности подачи ее на переработку.

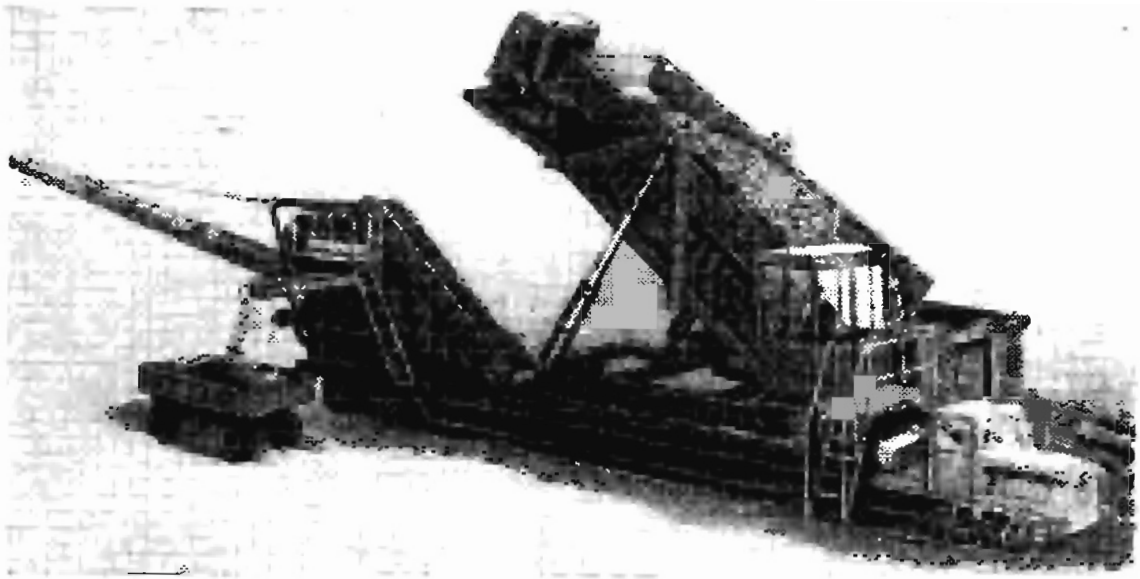


Рис. 10. Свеклоукладчик мобильный

Свекла, доставляемая с полей автомашинами, разгружается и укладывается в кагаты: на кагатных полях с помощью мобильных свеклоукладчиков (рис. 10), в механизированных складах — с помощью фронтальных свеклоукладчиков на пневмоколесном ходу или рельсовых. Производительность одного свеклоукладчика составляет 1500 т и более свеклы за 10—12 ч работы.

Во всех свеклоукладчиках применяется свальный способ разгрузки через открытый борт кузова автомашины.

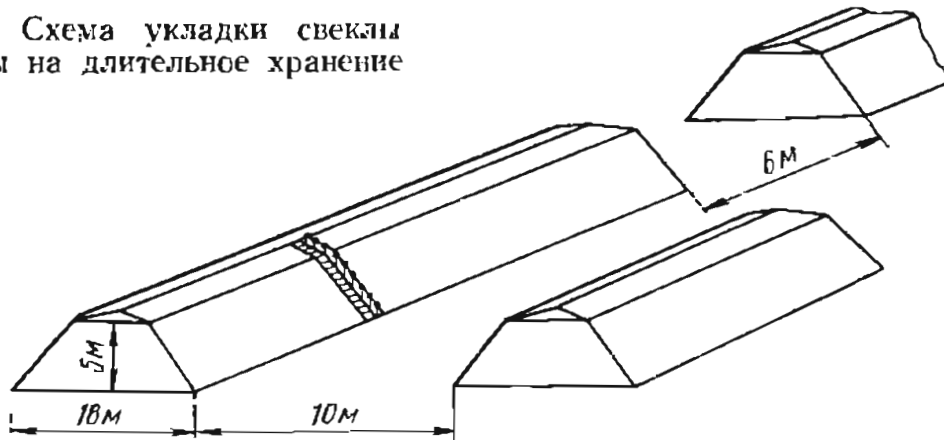
Для погрузки свеклы в железнодорожные вагоны и автомашины на периферийных свеклоприемных пунктах широко применяются перекидные и фронтальные (пневмоколесные и гусеничные) тракторные свеклопогрузчики. Пневмоколесные погрузчики фронтального типа более скоростные и маневренные, чем гусеничные. При погрузочных работах рекомендуется сочетать работу гусеничных и пневмоколесных погрузчиков: первых на основной загрузке свеклы в железнодорожные вагоны, вторых для доставки свеклы из глубины склада и догрузки вагонов.

При перевозке сахарной свеклы по железной дороге применяется наращивание бортов полувагонов грузоподъемностью 60 т накладными решетками высотой 0,4 м, что дает возможность увеличивать загрузку вагона до 58 т вместо 47 т.

Свекла, предназначенная для длительного хранения, укладывается в кагаты высотой 5 м и более с шириной основания не менее 18 м (рис. 11), свекла средних сроков хранения — в кагаты размером $(3 \div 4) \times (12 \div 16)$ м, некондиционная свекла ранних сроков уборки — в кагаты размером $(2 \div 3) \times (8 \div 12)$ м.

Длина кагатов выбирается в зависимости от размеров складской площадки, расположения дорог и гидравлических

Рис. 11. Схема укладки свеклы в кагаты на длительное хранение



транспортеров. В поперечном сечении верх кагатов должен образовывать конек — подъем к средней продольной линии (5—8 см на 1 м ширины кагата). Ширина проезда между длинными сторонами кагатов 10 м, между торцевыми сторонами 6 м. Угол наклона боковых сторон 40° . Расчетная объемная масса свеклы $0,65 \text{ т/м}^3$. На 1 га поля в зависимости от размера кагатов размещается от 6 до 20 тыс. т свеклы.

Перед укладкой свеклы подкагатные земляные площадки выравнивают, поливают водой и обрабатывают известью-пушонкой ($0,2 \text{ кг}$ на 1 м^2) или известковым молоком плотностью $1,03\text{—}1,05 \text{ г/см}^3$ (5 л на 1 м^2). Для уменьшения прорастания свеклу перед укладкой обрабатывают 1 %-ным водным раствором ГМК-Na ($3\text{—}4 \text{ л}$ на 1 т свеклы) или раствором ФХ-1 и др.

Поверхность сформированных кагатов несколько раз опрыскивают известковым молоком до образования устойчивого белого покрова. Это способствует отражению солнечных лучей, улучшению параметров среды в кагате и снижению интенсивности увядания корнеплодов. У каждого высокого кагата устанавливают лестницу с поручнями для обслуживания.

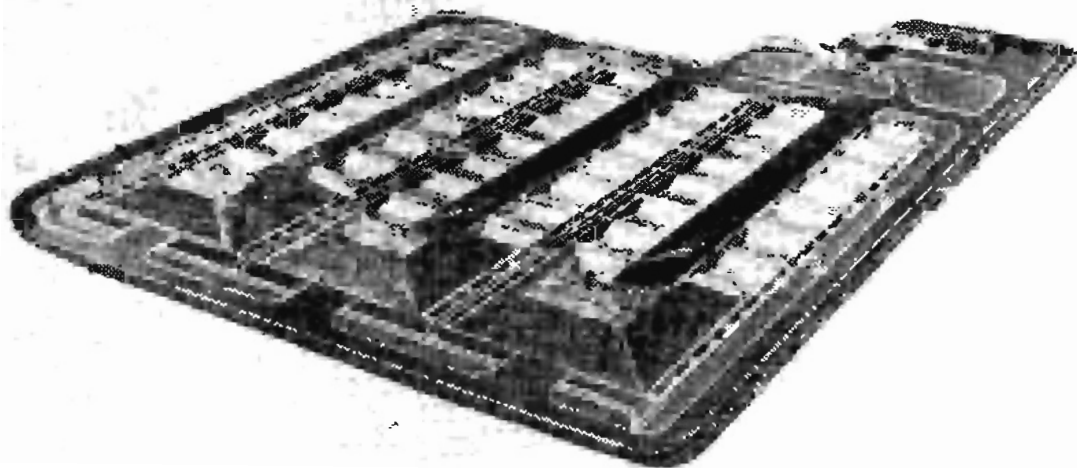


Рис. 12. Гидромеханизированный склад для хранения свеклы

Склады с комплексной механизацией всех работ и твердым покрытием имеют удельную вместимость в 2,5—3 раза больше, чем грунтовые кагатные поля.

На рис. 12 показан механизированный склад из нескольких секций, эксплуатируемый на Саливонковском сахарном заводе.

В каждой секции имеется два заглубленных лотка, между которыми расположена дорога для проезда свеклоукладчиков и автомашин. Общая площадь, занимаемая одной секцией, 2,5 га, вместимость 70 тыс. т свеклы. Лоток в секции разделен на отсеки поперечными железобетонными воздуховодами. На нижней поверхности вентиляционных каналов имеются воздуховыпускные щели шириной 50 мм. На одном конце воздуховода со стороны сборного гидротранспортера устанавливается осевой вентилятор, а другой конец заходит под дорогу. Плиты, перекрывающие концы воздуховода на дороге, имеют отверстия для выхода воздуха.

Посредине отсеков (поперек лотка) проходят желоба гидротранспортеров, соединенные со сборными гидротранспортерами. Из отсеков в гидротранспортер свекла смывается с помощью переносных водобоев. Уровень дна гидротранспортеров в отсеках выше уровня дна сборных гидротранспортеров на 0,5—0,6 м, что предотвращает «подтапливание» корнеплодов на складе при случайном переполнении водой сборных гидротранспортеров.

Вокруг секций располагаются дороги с твердым покрытием.

В период уборки свеклы механизированный склад работает с неоднократным заполнением и опорожнением секций. За время уборки через склад проходит около половины всей заготавливаемой свеклы.

При использовании механизированных складов потери свекломассы снижаются на 20—30 % по сравнению с кагатными полями, так как при подаче свеклы из кагатов в гидротранспортеры исключается раздавливание ее машинами и загрязнение земель.

УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Защита свеклы от увядания и подмораживания. Качество свеклы в кагатах зависит не только от ее исходного состояния, но и от условий хранения. Оптимальными при хранении свеклы считаются температура 1—2 °С, относительная влажность воздуха в кагате 93—95 %, содержание диоксида углерода 0,18—0,20 % и кислорода 18—20 %. Сахарная свекла чувствительна к резкому изменению температуры окружающего воздуха, сильным ветрам, обильным осадкам, солнечной радиации. Чтобы предохранить ее от воздействия окружающей среды и создать оптимальные условия при хранении проводятся следующие мероприятия:

для снижения нагревания корнеплодов солнечными лучами и во избежание увядания в сухую и теплую погоду дороги, межкагатные промежутки и примыкающие участки кагатного поля регулярно поливают водой, в результате создается благоприятный искусственный микроклимат и беспыльный режим хранения;

боковые поверхности кагатов периодически опрыскиваются водой (не более 0,7 л/м² в 1 ч) так, чтобы внутрь не попадала лишняя влага, способствующая усилению жизнедеятельности микроорганизмов. Для восстановления известкового слоя увлажнение поверхности кагатов чередуется с обработкой известковым молоком;

для уменьшения воздействия прямых солнечных лучей кагаты по длине формируются с юга на север;

во избежание подмораживания боковые поверхности кагатов среднего и длительного сроков хранения укрывают теплоизоляционными материалами, у основания через 3—4 м оставляют открытые участки для естественной вентиляции. Перед наступлением сильных морозов эти участки закрывают щитами.

В качестве укрывочного материала применяются соломенные и камышитовые маты, рулонные панели, состоящие из полиэтиленового чехла с вкладышем, затвердевающий пенопласт. Иногда используется влагонепроницаемая полиэтиленовая пленка высокого давления, которая пропускает кислород и диоксид углерода, рассеивает прямые солнечные лучи. Кагаты укрывают пленкой только с наветренной стороны и закрепляют с помощью деревянных брусьев и кольев. При сильном ветре поверх пленки укладывают старые автомобильные шины.

Расход укрывочных материалов зависит от размеров кагата и определяется по специальным таблицам.

Затвердевающие пенопласты обладают такими недостатками, как высокая влагопоглощаемость, значительная кислотность в жидкой фазе и выделение формальдегида в процессе полимеризации. Компоненты пенопласта поражают ткани свеклы.

Вентиляция свеклы в кагатах. Для поддержания оптимальных условий хранения свеклы в кагатах применяется принудительное вентилирование. Для этого используется две схемы: поперечная и продольная.

Поперечная схема (рис. 13) обеспечивает равномерное распределение воздуха через воздуховыпускные отверстия 3 воздуховода 1 в кагате при его неограниченной длине, дает возможность вентилировать отдельные участки и расходовать меньше электроэнергии. Для поперечного вентилирования используются осевые вентиляторы 2.

Для небольших кагатов с шириной основания 15—20 м и длиной не более 50 м применяется продольная схема вентилирования, когда воздуховоды размещены параллельно оси

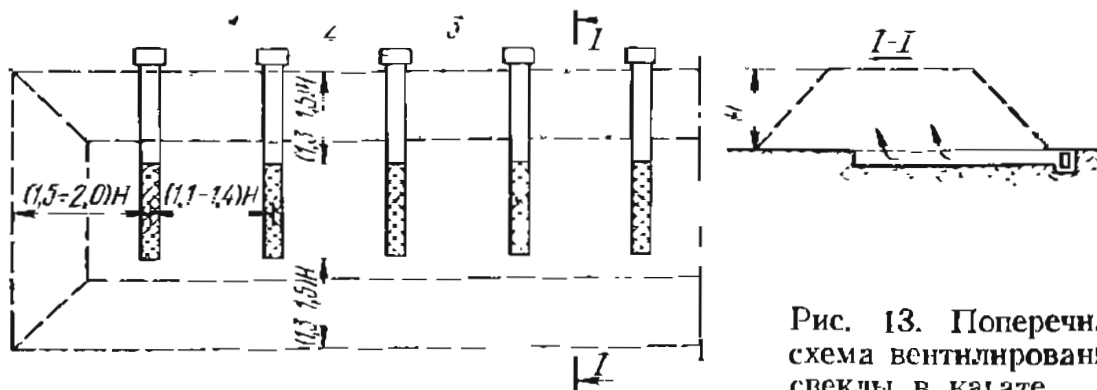


Рис. 13. Поперечная схема вентиляции свеклы в кагате

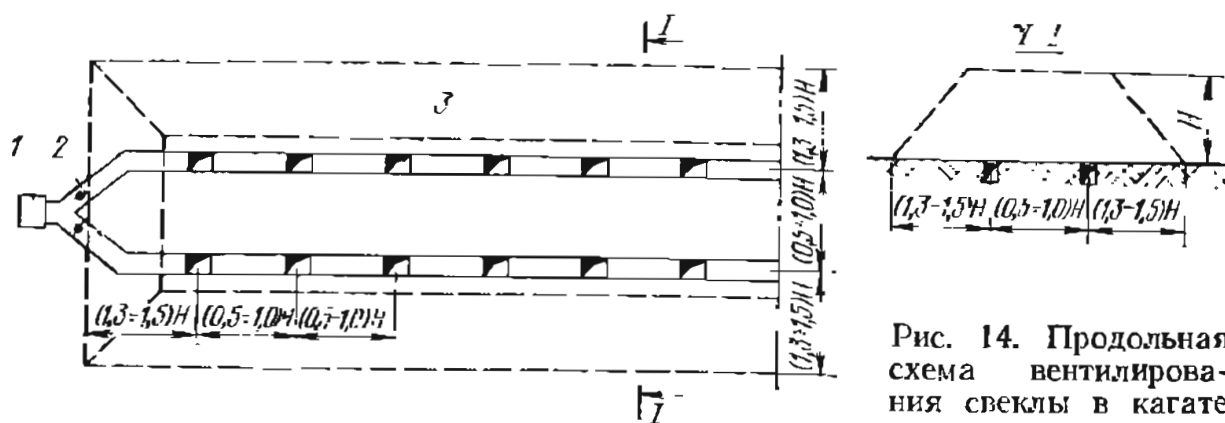


Рис. 14. Продольная схема вентиляции свеклы в кагате

кагатов (рис. 14). В качестве воздуховода могут использоваться желоба гидротранспортера. Воздух в кагаты подается центробежным вентилятором 1 через заслонки 2 по вентиляционным каналам 3.

Принудительное вентилирование кагатов свеклы должно проводиться с увлажнением воздуха, особенно в первоначальный период хранения, когда наблюдается интенсивное дыхание корнеплодов. Среднесуточные потери свекломассы при хранении свеклы в кагатах, вентилируемых увлажненным воздухом, примерно в 5 раз меньше, чем в кагатах, вентилируемых неувлажненным воздухом.

Система вентилирования включается, когда температура наружного воздуха на несколько градусов ниже, чем температура воздуха в кагате, а относительная влажность окружающего воздуха не меньше 80 %. При меньшей относительной влажности воздуха на лопасти вентилятора через форсунки подается известковая вода (около 50 кг/ч). Кагаты со свеклой вялой, пораженной болезнями и кагатной гнилью, вентилировать нельзя.

Температура свеклы в кагатах контролируется дистанционно датчиками, погружаемыми на глубину 2 м (при высоте кагата до 4 м) или термометрами. При высоте более 4 м одну половину датчиков закладывают на глубину 2 м, а другую — на глубину 3 м (один датчик или термометр — на 600—1000 т свеклы).

Замораживание свеклы перед хранением. Одним из наиболее эффективных способов снижения потерь сахара при хранении свеклы в восточных районах страны (Башкирская АССР, Татарская АССР, Алтайский край) и увеличения длительности производства сахара является замораживание корнеплодов естественным холодом. При этом биохимические процессы в тканях свеклы и жизнедеятельность микроорганизмов почти полностью подавляются, что способствует сохранению сахара.

Замораживание свеклы в кагатах осуществляется продуванием морозного воздуха через поперечные вентиляционные каналы кагатов. После замораживания кагаты укрывают слоем уплотненного снега. При замораживании температура корнеплодов понижается и свекловичный сок замерзает. По своему действию превращение воды в лед подобно обезвоживанию материала при сушке. В хорошо замороженной свекле прекращаются многие биохимические процессы, а ферменты (гидролитические и окислительные) не инактивируются. При оттаивании корнеплодов активность ферментов восстанавливается, что подтверждается почернением свекловичных тканей и быстрым гидролизом сахарозы.

При минус 6—12 °С замороженная свекла удовлетворительно изрезывается в стружку на обычных свеклорезках. При более глубоком замораживании перед изрезыванием ее необходимо подогреть до этой температуры.

Контроль качества сахарной свеклы. Для контроля за качеством хранящейся свеклы и определения очередности передачи ее на переработку проводится химико-фитопатологическое обследование каждого кагата: первое — 1—10 ноября, второе — во время инвентаризации на 1 января; третье — 20—28 февраля, если остаток свеклы превышает 15-дневную производительность завода.

Для обследования из разных частей кагата на глубине 1,5 м от поверхности отбирают три образца по 100 корнеплодов. В них определяют сахаристость, процентное содержание корнеплодов, пригодных к переработке (проросших, подвяленных, вялых, подмороженных, с поверхностной плесенью) и непригодных (оттаявших с почерневшей тканью, загнивших и гнилой массы).

Выводы о состоянии свеклы и очередности ее переработки делают на основании этих анализов, внешнего осмотра кагатов и данных о температурном режиме в кагате.

При передаче свеклы из кагатов на переработку также отбирают образцы свеклы (один образец на 40 т сырья) и в них определяют: сахаристость, среднюю массу одного корнеплода, процентное содержание пригодных к переработке корнеплодов (проросших, подмороженных, с поверхностной плесенью) и непригодных (оттаявших с почерневшей тканью, загнивших и гнилой массы).

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ХРАНЕНИЕ СВЕКЛЫ

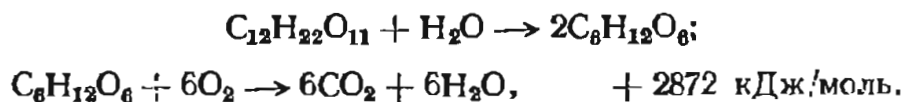
При хранении свеклы значительная часть сахара теряется в результате дыхания, увядания, прорастания, жизнедеятельности микроорганизмов и грибов. Способствуют этому наличие примесей (земли, зеленой массы), подмораживание и многочисленные механические повреждения корнеплодов.

Дыхание. При хранении неповрежденных, с правильно обрезанной головкой корнеплодов в оптимальных условиях потери сахарозы происходят в основном в результате дыхания, и величина их незначительна. Но в процессе хранения поврежденных корнеплодов, содержащих много зеленой массы, земли и других примесей, процессы дыхания усиливаются и потери сахарозы резко возрастают.

По современным представлениям дыхание растительного организма — это система последовательных окислительно-восстановительных реакций, в результате которых происходят преобразование и реализация химической энергии органических веществ, используемых как субстрат дыхания. Биологическое значение дыхания состоит в том, что энергия, накопленная в растениях в процессе синтеза, высвобождается и используется в процессах, из которых складывается жизнь. Основным материалом для дыхания растительных организмов служат углеводы, но в этом процессе могут участвовать также кислоты, жиры, азотсодержащие вещества. Все процессы при дыхании определяются и регулируются действием ферментов.

Различают два вида дыхания: обычное аэробное (кислородное), когда реакция протекает при избытке кислорода, а в качестве конечного акцептора¹ водорода используется молекулярный кислород, и анаэробное, вызываемое недостатком кислорода, старением, повреждением растительных тканей и отравлением дыхательных ферментов.

Баланс химических превращений углеводов при аэробном дыхании происходит по схемам:



Если процесс аэробного дыхания протекает в соответствии со вторым уравнением, то дыхательный коэффициент, представляющий собой отношение объемов выделившегося диоксида углерода и поглощенного кислорода, будет равен единице. На каждый 1 моль гексозы ($C_6H_{12}O_6$), израсходованной на дыхание, выделяется 2872 кДж тепла, а каждому 1 мг CO_2 , выделившегося при дыхании, соответствует 10,6 кДж тепла.

¹ Акцептор — принимающий. В данном случае молекулярный кислород принимает водород, т. е. является акцептором водорода.

При большем, чем предусмотрено схемой, потреблении кислорода, например на окисление жирных кислот в процессе превращения жира в сахар и на образование органических кислот, когда дополнительно расходуется некоторое количество кислорода, дыхательный коэффициент будет меньше единицы. При обратном процессе, когда часть потребляемого кислорода замещается непосредственно из углеводов, величина дыхательного коэффициента превышает единицу.

Наиболее важным показателем процесса, характеризующим потери углеводов, является интенсивность дыхания сырья — количество выделяемого в единицу времени диоксида углерода (или поглощаемого кислорода) на единицу сухого вещества (СВ), например 1 мл CO_2 на 1 г СВ за 24 ч или 1 мл CO_2 на 1 кг свеклы за 1 ч.

Выделяемые при дыхании влага и тепло, если их не удалять, являются причиной усиления дыхания и самосогревания сырья.

Анаэробное дыхание (анаэробноз) протекает в соответствии с суммарным уравнением спиртового брожения.



В этой реакции на каждый 1 моль гексозы, израсходованной на дыхание, выделяется в 12 раз меньше тепла и в 3 раза меньше диоксида углерода, чем при аэробном дыхании. Поэтому при анаэробном дыхании, чтобы обеспечить себя необходимой энергией, корнеплоды свеклы должны расходовать гораздо больше сахара, чем при аэробном дыхании.

Анаэробное дыхание наблюдается обычно при недостатке кислорода в воздухе, заполняющем межкорнеплодное пространство в кагатах, в результате накопления CO_2 .

При хорошем доступе кислорода к корнеплодам в кагате обеспечивается более эффективное аэробное дыхание и снижается расход углеводов на анаэробное дыхание.

На интенсивность дыхания корнеплодов свеклы влияют: температура и влажность окружающей среды, размеры корнеплодов и их удельная площадь поверхности, степень спелости, физическое состояние корнеплодов, наличие повреждений и балластных примесей, химический состав корнеплода, высота среза головки и другие факторы.

Например, свежесобранная свекла дышит в 2—3 раза интенсивнее, чем уже хранившаяся, у которой жизненные процессы постепенно затухают. Стабильность в дыхании наступает примерно через 2—3 недели.

Весной дыхание корнеплодов становится интенсивнее. У крупных корнеплодов свеклы с меньшей удельной площадью поверхности и у корнеплодов с нормальным срезом головки интенсивность дыхания меньше, чем у мелких и с высоким срезом головки. Спелые корнеплоды дышат менее интенсивно, чем

незрелые. При развитии микрофлоры интенсивность дыхания сильно возрастает.

Отдельные части корнеплода (массой по 1 кг) при дыхании в течение 1 ч выделяют разное количество диоксида углерода (в мл): головка 45, шейка 38, собственно корень 22, хвостик 25. Один грамм выделившегося при дыхании свеклы диоксида углерода эквивалентен потере 0,648 г сахарозы.

С увеличением температуры интенсивность дыхания корнеплодов, а следовательно, и потери сахарозы резко увеличиваются. Ниже приведены среднесуточные потери сахарозы на дыхание в зависимости от температуры в кагате.

Температура, °С	1	3	6	9	11	15
Среднесуточные потери сахарозы на дыхание, % к массе свеклы	0,010	0,014	0,020	0,030	0,038	0,050

Минимальные потери сахарозы на дыхание достигаются, когда свекла хранится при температуре 1—2 °С.

Увядание. При хранении свеклы в кагатах без укрытия, особенно в теплое время года, происходит значительная потеря влаги корнеплодами (3—7 %) — свекла увядает. Это способствует резкому увеличению потерь углеводов на дыхание, что связано с нарушением стабильного состояния ферментов в свекле и активизацией их деятельности. Например, активность инвертазы в вялых корнеплодах, потерявших 15 % влаги, увеличивается в 5—6 раз по сравнению со свежими корнеплодами. Чем выше степень увядания корнеплодов, укладываемых на хранение, тем больше потери сахарозы и ниже доброкачественность свекловичного сока в свекле после хранения.

Прораствание. На потери углеводов при хранении свеклы отрицательно влияет прораствание (выход корнеплода из состояния покоя), характеризующееся отношением массы ростков к массе всей свеклы в образце.

Чем выше интенсивность прораствания, тем больше при хранении потери сахарозы в свекле.

Масса ростков, % к массе свеклы	0,5	1	2	3	5
Потери сахарозы, % к массе свеклы	0,5	0,8	1,1	1,2	1,6

В кагатах корнеплоды прораствают неравномерно: в верхней части прорастваемость в 2 раза больше, чем на боковых сторонах, и в 4 раза больше, чем в нижней части. В проросшей свекле резко снижается концентрация щелочных металлов.

Свекла, убранная комбайнами, без доочистки особенно склонна к прорастванию. Интенсивнее прораствают корнеплоды в невентилируемых кагатах и в первую очередь те, на которых остались ростовые почки. Незрелая свекла прораствает быстрее, чем спелая.

Лучшим способом борьбы с прорастванием являются удаление верхушки головки корнеплода при уборке и обработка корнеплодов перед укладкой в кагаты 1 %-ным раствором натрие-

вой соли гидразида малеиновой кислоты или раствором сульфита натрия. Интенсивность прорастания корнеплодов при этом снижается в 1,5—2 раза.

Действие микроорганизмов. При соблюдении оптимальной температуры и относительной влажности воздуха в кагатах здоровые корнеплоды свеклы хорошо сопротивляются развитию микроорганизмов и болезнетворных зародышей (обладают естественным иммунитетом), так как здоровые живые клетки выделяют особые антитела, угнетающие микроорганизмы. В первую очередь микроорганизмы развиваются на отмерших клетках (на поврежденных, подмороженных и увядших участках корнеплодов), затем поражаются живые, но ослабленные клетки. Поэтому одним из главных условий предохранения сырья от порчи является его целостность, а также защита от подмораживания и увядания.

При небольших нарушениях поверхности корнеплодов клетки паренхимной ткани образуют вещества, подавляющие жизнедеятельность микроорганизмов. При этом на месте повреждения в результате отложения в оболочке растительных клеток очень стойкого химического вещества — суберина — образуется раневая ткань, т. е. происходит опробковение поврежденной ткани. Этот процесс называется еще суберинизацией. Повреждения растительных тканей свеклы лучше заживляются при повышенной температуре и влажности окружающей среды.

Для подавления развития микрофлоры корнеплоды перед укладкой в кагаты обрабатывают 0,3 %-ным раствором пирокатехина или гидрохинона (3—4 л на 1 т свеклы).

Следует иметь в виду, что обработка кагатов известковым молоком способствует угнетению грибов, но жизнедеятельность бактерий в щелочной среде, наоборот, усиливается.

Загрязненность свеклы землей, зеленой массой и механические повреждения. При уборке сахарной свеклы с ручной доочисткой загрязненность корнеплодов не превышает 3 %, а ботва удаляется полностью вместе с верхушкой головки. При полной механизированной уборке общая загрязненность корнеплодов составляет 8—14 %, а иногда доходит до 20 %.

Свободные примеси легко отделяются от корнеплодов при их перегрузке и укладке в кагаты, а связанные с корнеплодом примеси, попадая в кагаты, ухудшают приток кислорода воздуха, создавая тем самым благоприятные условия для анаэробного дыхания свеклы.

Наличие зеленой массы способствует повышению температуры внутри кагата, так как дышит она интенсивнее корнеплодов. Это часто является причиной образования очагов микробиологического заражения. О наличии в кагате пораженных участков можно судить по повышению температуры вблизи датчиков температуры или по появлению на поверхности кагата мокрых пятен и выделению водяных паров.

При появлении очага заболевания в кагате пораженные корнеплоды выбирают и отправляют на переработку. Вместо выбранных закладывают здоровые корнеплоды. Поверхность кагата тщательно выравнивают и укрывают.

Зеленая масса содержит много растворимых нес сахаров. Наличие, например, в перерабатываемой свекле 1 % зеленой массы приводит к снижению доброкачественности диффузионного сока на 0,4—0,5 % и повышению содержания сахарозы в мелассе на 0,2 %.

Корнеплоды с механическими повреждениями плохо хранятся (табл. 3).

Таблица 3

Состояние корнеплодов свеклы	Масса здоровых корнеплодов, %	Гнилая масса, %	Потери сахарозы, % к массе свеклы
Неповрежденные	83,3	1,1	2,6
С оборванными хвостиками	62,4	22,4	3,6
С отбитыми головками	31,9	23,7	5,3
Куски корнеплодов	15,2	32,5	6,9

Примечание. Корнеплоды с разной степенью повреждения хранились в неветилируемых кагатах в течение 60 сут.

Подмораживание корнеплодов. Подмороженная свекла непригодна для хранения, так как при оттаивании она быстро загнивает и плохо перерабатывается. В свеклосеющих районах первые заморозки часто начинаются в начале октября, в период массовой уборки. В это время часть выкопанных, но невывезенных корнеплодов еще лежит в поле в валках, в неукрытых кучах и подвергается подмораживанию. Когда масса вымороженной воды в тканях свеклы достигает критической величины (45 %), происходит разрушение протоплазмы и повреждение клеточных стенок.

Температура замерзания свекловичной ткани зависит как от содержания в ней сухих веществ, так и от того, когда свекла выкопана. Например, при содержании в свекле 20—23 % сухих веществ температура замерзания корнеплода составляет минус 2,2—2,5 °С, а при 27—30 % сухих веществ — минус 3,0—3,3 °С. В тканях свежескопанной свеклы температура замерзания небольшая — минус 1,2—2,0 °С, а после непродолжительного хранения, когда корнеплоды приспособятся к новым условиям, температура замерзания повышается до минус 2,5—3,0 °С.

Свекла охлаждается довольно быстро. При температуре минус 6 °С за 2 ч промерзает около 1/3 массы корнеплода и в лед превращается до 60 % воды.

Для предохранения выкопанной сахарной свеклы от подмораживания рекомендуется строго выдерживать график копки

и вывозки ее на приемные пункты, а выкопанную, но не вывезенную в тот же день с полей свеклу укрывать сухой землей или ботвой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким показателям определяется кондиционная и некондиционная свекла?
2. Как работает линия УЛС-1 для определения сахаристости свеклы?
3. Назовите рекомендуемые размеры кагатов при длительном хранении свеклы на грунтовых площадках.
4. Что представляет собой механизированный склад свеклы?
5. Как защищается свекла в кагатах от увядания и подмораживания?
6. Как осуществляется поперечное вентилирование свеклы в кагате?
7. Как осуществляется продольное вентилирование свеклы в кагате?
8. В чем состоит преимущество замораживания свеклы при хранении?
9. Какие существуют виды дыхания свеклы?
10. Что такое дыхательный коэффициент и интенсивность дыхания?
11. Как влияет температура внутри кагата на потери сахарозы в свекле при хранении?
12. Как влияют микроорганизмы на хранение свеклы?
13. В чем заключается субернизация свекловичных тканей?
14. Как влияет загрязненность корнеплодов свеклы землей и зеленой массой на их хранение в кагатах?
15. Как влияют механические повреждения корнеплодов на их хранение в кагатах?

Глава 3

ОЧИСТКА СВЕКЛЫ ОТ ПРИМЕСЕЙ

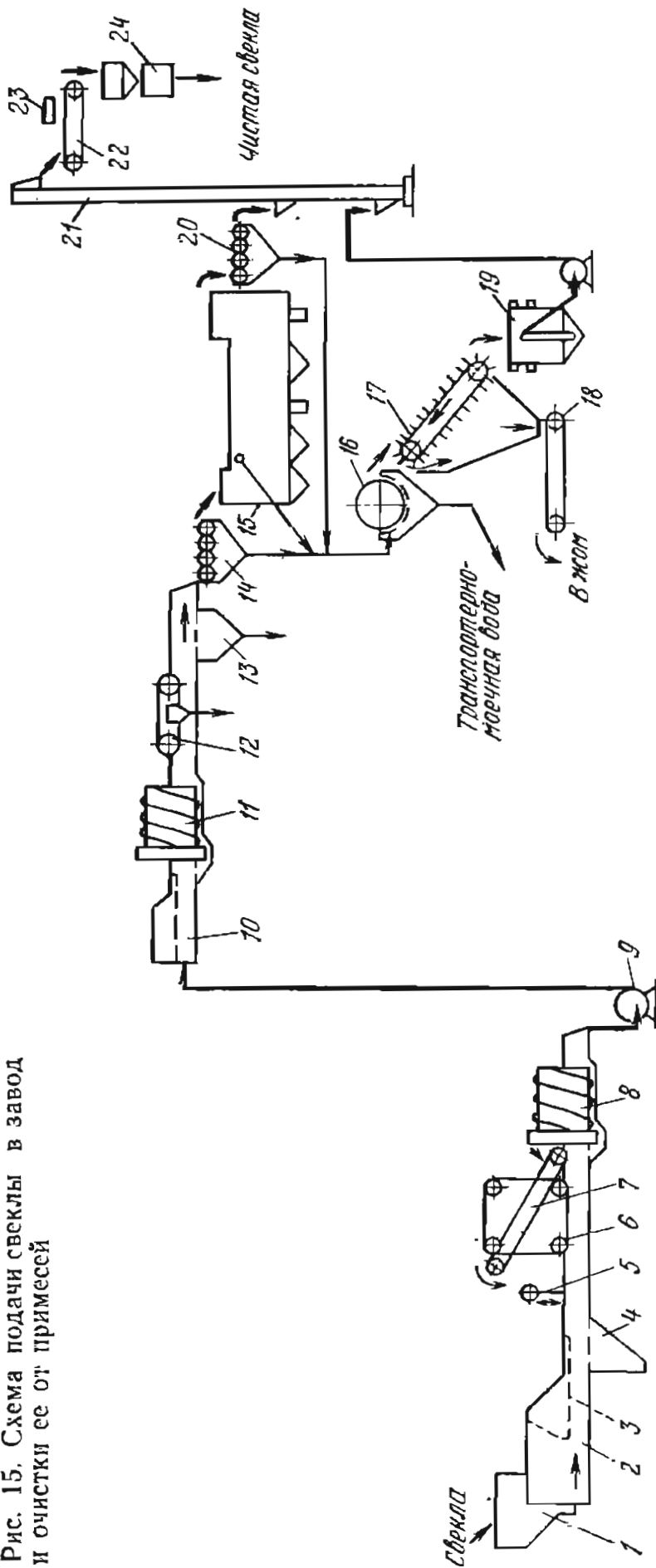
ЦЕЛЬ И СХЕМА ОЧИСТКИ СВЕКЛЫ ОТ ПРИМЕСЕЙ

Свекла, убранная поточным или поточно-перевалочным способом, сильно загрязнена землей, ботвой и другими примесями. Содержит много обломков. Такую свеклу нельзя перерабатывать без очистки, так как минеральные примеси (песок, камни) вызывают преждевременный износ оборудования, а ботва и другие растительные примеси снижают качество диффузионного сока и способствуют увеличению потерь сахара. Из загрязненной свеклы нельзя получить качественную стружку для диффузионного процесса. Поэтому перед переработкой свеклу тщательно очищают от посторонних примесей. Для ее очистки и регулирования потока на тракте подачи используется комплекс оборудования, состоящий из гидравлических транспортеров, ботволовушек, камне- и песколовушек, регуляторов потока, мочных машин и др.

На рис. 15 дана схема транспортировки свеклы в завод и очистки ее от примесей.

По этой схеме свекла из бурачной 1 подается в главный гидротранспортер, состоящий обычно из нижнего и верхнего участков. Нижний гидротранспортер 2 заглублен в земле с уклоном в сторону свеклоподъемной станции. На входе в главный

Рис. 15. Схема подачи свеклы в завод и очистки ее от примесей



гидротранспортер для предотвращения заторов установлены наклонная и горизонтальная решетки 3 и регулятор потока 5 (пульсирующий шибер). Перед шибером расположена песколовушка 4 с колосниковой решеткой. Здесь улавливается около половины песка, поступающего со свеклой. Это предотвращает засорение лотка гидротранспортера. Зазор в решетке между колосниками делается расширяющимся на 10—15 мм по направлению потока. Легкие примеси улавливаются ботволушкой 6, а тяжелые — камнелушкой 8 и транспортером 7 выводятся на специальную площадку.

Из нижнего гидротранспортера свекловодная смесь перекачивается свеклонасосом 9 в верхний гидротранспортер 10, где корнеплоды подвергаются повторной очистке в камнелушке 11, ботволушке 12 и песколовушке 13. Тяжелые примеси выводятся в отбросы, а легкие добавляются к жому.

При большом загрязнении корнеплодов на верхнем гидротранспортере (в помещении моечного отделения) устанавливается еще один комплект оборудования для очистки свеклы.

Далее свекловодная смесь проходит через дисковый водоотделитель 14 в свекломойку 15. На водоотделителе корнеплоды освобождаются от транспортерно-моечной воды, обломков свеклы, песка и мелких камней. Из мойки они поступают на второй водоотделитель 20, где через форсунки ополаскиваются хлорированной водой. Чистая свекла поднимается элеватором 21 (или ленточным транспортером) на контрольный транспортер 22 с электромагнитным сепаратором 23 для улавливания магнитных примесей и поступает в автоматические весы 24, расположенные над свеклорезкамн.

Транспортерно-моечная вода с обломками свеклы с водоотделителей идет в ротационный хвостикоулавливатель 16. Уловленные обломки свеклы выносятся резиновыми скребками ротора на сортировочное устройство 17, представляющее собой прорезиненную ленту с рядами мелких штырей, скатываются между штырями в мойку 19, а растительные примеси поднимаются штырями вверх и сбрасываются на транспортер 18.

Отмытые обломки свеклы подаются насосом в элеватор 21 и перерабатываются вместе со свеклой.

При заглублении свеклонасосов до 2 м их устанавливают в одном здании с оборудованием первого каскада очистки свеклы, а при заглублении больше 2 м моют отдельно.

УЛАВЛИВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ

Накопление свеклы перед переработкой. Для создания небольшого запаса свеклы (на 1—2 сут) вблизи главного корпуса завода сооружается заглубленная в землю железобетонная емкость, называемая бурачной и соединенная с заводом главным гидротранспортером. Сюда поступает свежееубранная

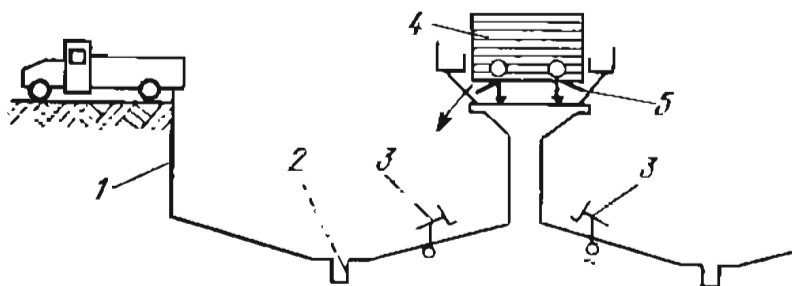


Рис. 16. Железнодорожная бурачная

свекла, не подлежащая длительному хранению, а также свекла, доставляемая с при заводских кагатных полей. На заводах, имеющих ширококолейный железнодорожный путь, предусмотрена железнодорожная эстакадная бурачная 1 (рис. 16), оборудованная водобоями 3 для смыва свеклы в гидротранспортеры 2. В центре бурачной по эстакаде проходит железнодорожная колея, куда подаются вагоны 4 со свеклой под разгрузку. Свекла перевозится в полувагонах, разгружается через нижние люки 5 самотеком. Часть ее (до 10 %) задерживается на центральной балке вагона и крышках люков. Эту свеклу удаляют вручную или с помощью накладных вибраторов.

Для зачистки разгруженных полувагонов иногда используются гидравлические установки с уменьшенным расходом воды при условии применения защитных приспособлений для букс колесных пар полувагонов. Для закрытия крышек люков после разгрузки полувагонов применяются пневматические установки.

На эстакаде с обеих сторон (на высоте 1 м от головки рельса) монтируются площадки для обслуживания, огражденные перилами.

Зимой свекла в полувагонах смерзается и сыпучесть ее восстанавливается ударами клин-бабы (металлический цилиндр диаметром 1 м и высотой 2,5 м, заполненный бетоном), подвешенной на конце стрелы крана.

При разгрузке свеклы на сахарном заводе в бурачные имеются ряд недостатков. В бурачных свекла не проветривается, поэтому создаются благоприятные условия для анаэробного дыхания корнеплодов. Потери сахара на дыхание при этом увеличиваются в 5—6 раз по сравнению с хранением в кагатах. Еще выше потери сахара во влажной свекле, выгруженной гидравлическим способом. Даже кратковременное хранение такой свеклы в бурачной не допускается.

При выгрузке свеклы из полувагонов в результате падения с большой высоты на бетонную поверхность часть корнеплодов повреждается. Это вызывает увеличение количества битой свекломассы и потерь сахарозы в гидротранспортерах. Подача свеклы из бурачной в завод затруднена, так как лоток главного гидротранспортера приходится сильно заглублять в землю.

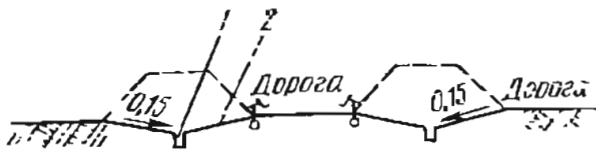


Рис. 17. Поперечный разрез сплавной площадки

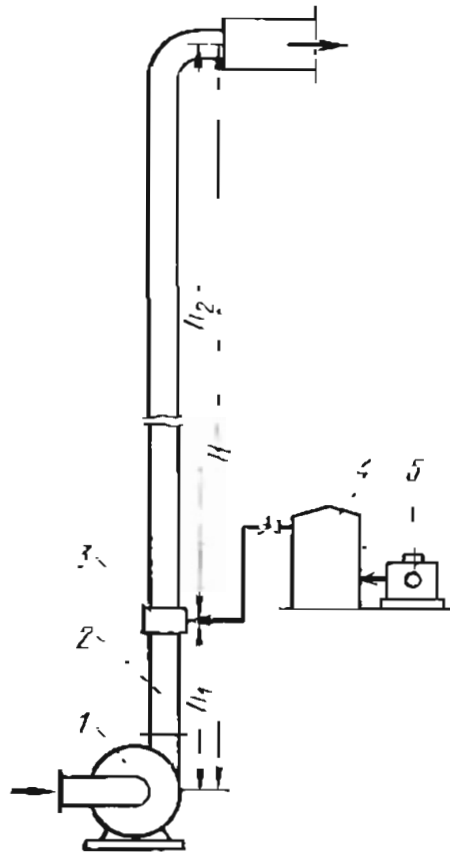


Рис. 18. Гидропневматический подъемник для свеклы

По этим причинам на тех заводах, где нет поступления свеклы по железной дороге, вместо бурачной делают сплавную площадку, которая предназначена для приемки и подачи свеклы в завод в период ее уборки, а также с кагатных полей, не оборудованных гидротранспортерами.

Сплавная площадка (рис. 17) располагается на уровне земли вблизи от станции подъема свеклы и рассчитана на двухсуточный запас. Ее плоскости 2 имеют твердое покрытие с уклоном 150 мм на 1 м длины в сторону гидравлического транспортера 1. Укладка свеклы на сплавную площадку осуществляется свеклоукладочными машинами.

Для сахарных заводов мощностью (по переработке свеклы) 3 тыс. т в сутки рекомендуются сплавные площадки вместимостью по 6 тыс. т свеклы каждая. За время уборки через сплавную площадку в завод поступает 40 % и более заготовляемой свеклы.

Чтобы свекла на сплавной площадке не подтапливалась водой при образовании заторов в главном гидротранспортере, дно лотка гидротранспортеров сплавной площадки делается на 0,5—0,7 мм выше главного гидротранспортера.

Подача свеклы в завод осуществляется осветленной транспортерно-моечной водой, подаваемой под давлением 0,3—0,4 МПа через водобой, установленные вдоль гидротранспортера.

Транспортирование свеклы в завод. Для транспортирования свеклы из бурачной или со сплавной площадки в завод используются гидравлические транспортеры, представляющие собой железобетонные лотки прямоугольного сечения с закругленными углами и уклоном 15—18 мм на 1 м длины в сторону свеклоподъемной станции. Лоток верхнего гидротранспортера изготавливают из листовой стали с уклоном 10—12 мм на 1 м длины. На закруглениях уклон лотка увеличивается на 20—30 % по сравнению с прямыми участками. Радиус закругления на поворотах должен быть не менее 5 м.

В зависимости от производственной мощности завода (Q) принята следующая ширина лотка (B) главного гидротранспортера:

Q , тыс. т свеклы в сутки	До 3	3	4,5	5—6
B , мм	500	600	700	800

При большей ширине лотка уровень потока свекловодной смеси в гидротранспортере будет понижаться, что отрицательно влияет на работу оборудования по очистке свеклы от примесей и приведет к занливанню сечения лотка. При меньшей ширине лотка возможны переполнение гидротранспортера и выброс свеклы.

Уровень потока свекловодной смеси в лотке гидротранспортера поддерживается на высоте 400—450 мм от дна, скорость потока — 1—1,5 м/с. Расход воды на транспортирование свеклы составляет 800—900 % к ее массе.

Подъем свеклы. В свеклоперерабатывающем отделении оборудование для отделения примесей от свеклы располагается на максимально возможной высоте от уровня пола первого этажа завода. Это дает возможность сократить число промежуточных транспортных средств. Для подъема свеклы вверх применяются центробежные насосы с частотой вращения ротора 370—500 об/мин. При такой частоте вращения ротора повреждается и измельчается значительная часть корнеплодов и увеличиваются потери сахарозы с транспортерно-моечной водой.

Для снижения влияния частоты вращения ротора насоса на повреждаемость свеклы разработан комбинированный гидропневматический подъемник для свеклы (рис. 18), который в настоящее время внедряется в производство.

Если обозначить общую высоту подъема свеклы H , высоту ввода сжатого воздуха в напорный трубопровод h_1 (равную примерно 1,7 м от оси свеклонасоса 1), то для подачи свекловодной смеси плотностью 1 т/м^3 по напорному трубопроводу на высоту H потребуется гидродинамическое давление P_1 . При вводе в трубопровод на высоту h_1 сжатого воздуха плотность свекловодовоздушной смеси на участке $H-h_1$ снизится до 0,4—0,5 т/м^3 . Тогда для подъема корнеплодов на высоту H нужно будет меньшее гидродинамическое давление P_2 , необходимое для

преодоления противодействия столба свекловодяной смеси h_1 плотностью 1 т/м^3 и столба свекловодовоздушной смеси ($H-h_1$) плотностью $0,4-0,5 \text{ т/м}^3$. Поскольку высота h_1 относительно общей высоты подъема свеклы невелика, то можно принять, что $H = H-h_1$, тогда

$$P_2 = 0,5P_1. \quad (2)$$

Таким образом, при подъеме свеклы гидродинамическое давление, развиваемое свеклонасосом, уменьшается примерно в 2 раза и снижается частота вращения ротора, при этом существенно уменьшаются дробление и повреждение корнеплодов, потери сахарозы в транспортерно-моечной воде и расход воды на транспортирование свеклы.

Характеристика примесей и их улавливание. В свекловодяной смеси кроме корнеплодов и их обломков содержатся примеси, которые можно разделить на две группы: легкие плотностью меньше единицы (ботва, остатки сорных растений, солома) и тяжелые плотностью больше единицы (камни, гравий, песок, комки земли и глины, отходы металла). Легкие и тяжелые примеси и обломки свеклы улавливаются из свекловодяной смеси отдельно. Обломки свеклы возвращаются в производство; ботва и растительные примеси уходят в жом, а тяжелые примеси направляются в отбросы.

Для улавливания легких примесей над лотком нижнего гидротранспортера устанавливают прямоугольную четырехвальную ботволушку, способную поднимать примеси на определенную высоту, а на верхнем гидротранспортере — прямоугольную двухвальную ботволушку. По принципу действия обе ботволушки одинаковые.

В ботволушке (рис. 19) грабли, перекрывая свекловодяной поток, движутся ему навстречу со скоростью $0,1 \text{ м/с}$. В верхнем положении грабли, увлекаемые тяговыми цепями, зацепляются верхними концами за неподвижные уголки и встряхиваются. Примеси, захваченные зазубренными концами грабель, сваливаются на наклонный лоток.

Для успешной эксплуатации ботволушку устанавливают перед камнеловушкой на наиболее спокойном участке гидротранспортера.

Короткие легкие примеси плохо улавливаются ботволушками, большая часть их отделяется позднее на дисковых водоотделителях перед свекломойками.

Тяжелые примеси улавливаются из свекловодяной смеси противоточными барабанными камнеловушками (рис. 20), принцип действия которых основан на гидравлическом разделении смеси тел с различной плотностью.

Свекла и тяжелые примеси, увлекаемые водой, по гидротранспортеру 3 попадают в камнеловушку, где скорость потока снижается и тяжелые примеси оседают на внутренней поверх-

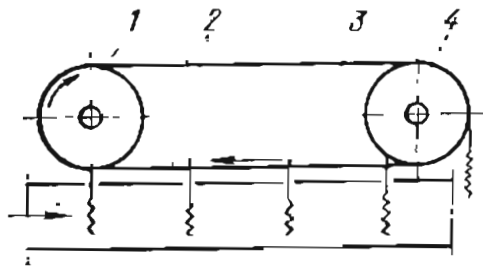
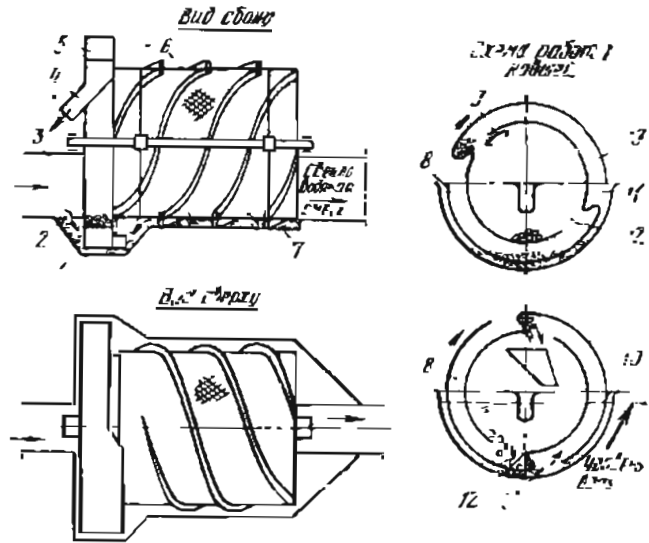


Рис. 19. Двухвальная ботволовушка:

1 — натяжной узел; 2 — тяговая цепь; 3 — грабли; 4 — приводной узел

Рис. 20. Схема работы протн-воточной барабанной камнеловушки



ности ситчатого барабана 6, а свекла, находясь во взвешенном состоянии, проходит дальше по лотку гидротранспортера.

При вращении ситчатого барабана крупные примеси, осевшие внутри, передвигаются внутренними винтовыми лопастями навстречу потоку в приемник 5, а внешними витками в том же направлении к сборнику 1 перемещается песок, прошедший через ситчатую поверхность барабана и осевший на дне неподвижного корпуса 7 ловушки.

Для более полного улавливания песка перед камнеловушкой в дне гидротранспортера установлена решетка 2 длиной 600 мм с расширением зазора между прутьями по направлению движения потока.

Ковши 8 и 10, вращаясь вместе с барабаном, поочередно погружаются в полукольцевое пространство корпуса ловушки, в них через наружные отверстия 11 попадает песок, а через отверстия 12 — камни, осевшие на внутренней поверхности барабана. При вращении приемника 5 вверх попавшая в полукольцо вода фонтанирует через окна 12 внутрь ситчатого барабана, увлекая за собой корнеплоды свеклы. Когда ковш поднимается вверх, камни и песок сваливаются в лоток 4.

Нормальный уровень свекловодяной смеси в корпусе камнеловушки устанавливается не ниже 700 мм от дна гидротранспортера.

Для лучшего отделения примесей и предотвращения попадания корнеплодов в полукольцевые карманы скорость фонтанирования воды из окон 12 поддерживается 0,27—0,30 м/с. Для этого передвижными щитками 9 регулируется площадь сечения окон.

Короткие металлические примеси, как и камни, улавливаются в камнеловушках, а длинные, например проволока, попадая в ловушки и водоотделители, вызывают поломки оборудования. Для их улавливания рекомендуется ставить проволо-

колодушки. Их роль могут выполнять камнеловушки Рауде с приваренными к вертикальному валу (в месте прохождения свекловодяной смеси) штырями. С помощью штырей проволока наматывается на вал и периодически удаляется вручную.

Регулирование потока свеклы. На переработку свекла поступает неравномерно, бывает, что в свекломойки подается только транспортной вода. Для более равномерной подачи свеклы в главном гидротранспортере устанавливают регуляторы потока — пульсирующие шиберы: один в начале нижнего гидротранспортера, другой в конце верхнего гидротранспортера перед свекломойками. Перед каждым из шиберов в гидротранспортере на высоте 400 мм от дна лотка, а непосредственно у шибера на высоте 500 мм, устанавливают горизонтальную решетку длиной, определяемой местными условиями. Между решеткой и пальцами шибера оставляют зазор 200 мм.

Пульсирующий шибер 1 (рис. 21) представляет собой вертикально качающуюся (8 ходов в минуту) решетчатую задвижку. Пульсация шибера (с амплитудой 100 мм) необходима для предотвращения заклинивания свеклы в пространстве между дном лотка гидротранспортера 2 и шибером 1. Шибером также можно перекрывать поток свеклы или давать ей свободный проход. Для этого задвижка перемещается по вертикали от верхней до нижней точки на 700 мм.

Управление шиберами осуществляется из моечного отделения. При перегрузке свекломоек задвижки пульсирующих шиберов прикрываются, свекла накапливается в лотке гидротранспортера под заградительными решетками, а транспортная вода свободно проходит по лотку над решетками. Движение воды в тракте подачи свеклы не должно прекращаться. Когда загрузка свекломоек станет нормальной, шиберы поднимаются сначала у свекломоек, затем в начале гидротранспортера и открывают проход свекле.

Отделение транспортной воды. При подаче корнеплодов в свекломойку от нее на дисковом водоотделителе отделяется транспортная вода. Водоотделитель состоит из 12 горизон-

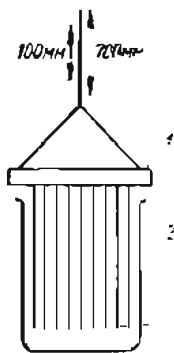


Рис. 21. Схема работы пульсирующего шибера

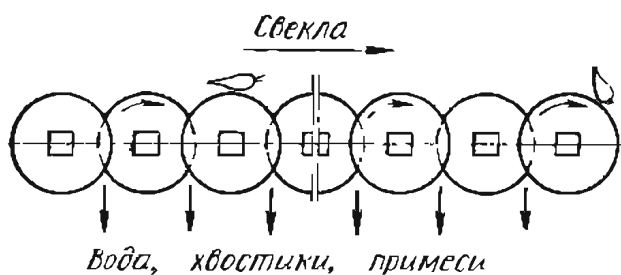


Рис. 22. Схема работы дискового водоотделителя

тальных параллельных валов с фигурными резиновыми дисками, которые вращаются по направлению потока с частотой 85 об/мин и дисками подают свеклу в мойку. Схема работы дискового водоотделителя приведена на рис. 22.

Транспортерно-мочная вода вместе с обломками свеклы и примесями уходит в зазоры между дисками в хвостикоулавливатель.

При монтаже водоотделителя лоток гидротранспортера подводится к нему с расширением. Щели между бортами и дисками водоотделителя заделывают накладкой на борта деревянных досок. Если вода от корнеплодов свеклы отделяется плохо, то хвостовую часть водоотделителя рекомендуется поднимать на 120—150 мм против хода потока свеклы.

Дисковые водоотделители имеют некоторые преимущества перед другими конструкциями водоотделителей. На них хорошо удаляются транспортерно-мочная вода, легкие примеси, песок, имеется возможность применить дополнительный струйный отмыв свеклы от грязи, но на них часть корнеплодов измельчается дисками.

На некоторых заводах применяются ротационные водоотделители, представляющие собой барабаны, изготовленный из прутковой стали с зазором между прутками 20 мм, внутри барабана приварены ленточные витки шнека. При вращении барабана вода проходит в зазоры между прутками, а свекла витками перемещается вперед. Частота вращения барабана 10 об/мин, поэтому измельчение свеклы в ротационном водоотделителе в несколько раз меньше, чем на дисковых водоотделителях.

МОЙКА СВЕКЛЫ

Для отмыывания корнеплодов свеклы от прилипших к ним примесей применяются в основном кулачковые мочные машины с высоким или низким уровнем воды и комбинированные. В мойках с высоким уровнем вода находится выше верхней кромки кулачков и образует спокойную поверхность. Корнеплоды свободно распределяются в воде, тяжелые примеси оседают на дно, а легкие всплывают. В таких мойках свободные примеси отделяются хорошо, но прилипшая к корнеплодам земля или глина — значительно хуже.

В мойках с низким уровнем вода находится на уровне кулачкового вала, корнеплоды перемешиваются в скученном состоянии и в результате взаимного трения легко отмыываются. Но из-за большой скученности и отсутствия спокойной поверхности воды эффект отделения тяжелых и легких примесей ниже, чем в мойках с высоким уровнем воды.

В комбинированной мойке имеется два мочных отделения, расположенных последовательно: с высоким и низким уровнем

воды, что обеспечивает хорошее отделение примесей, но устройство их сложнее.

На отечественных сахарных заводах распространена свекломойка КМЗ-57М с высоким уровнем воды производительностью 1,5 тыс. т свеклы в сутки (рис. 23).

Поступающая в корыто 1 свекломойки свекла равномерно распределяется в воде шнеком 2 и направляется в моечное отделение, где интенсивно перемешивается и передвигается кулачками 3 к выбрасывающей части. Шаг кулачков в начале вала меньше, чем в конце, благодаря этому достигается лучшее отделение примесей. При перемешивании корнеплоды освобождаются от примесей. Земля и песок проходят через ситчатое дно 13 и смываются в песколовушки 12, а камни проваливаются в камнеловушки 11. Тонущая вместе с камнями свекла вымывается противотоком воды.

Из моечной части свекла через отверстие в перегородке 5 проходит в первое отделение выбрасывающей части, захватывается ковшами 7 первого ряда, вращающимися от привода 10, и передается во второе, промежуточное, отделение, ограниченное перегородками 8 и 9. Отсюда она через отверстие в перегородке 9 попадает в третье отделение и ковшами второго ряда выбрасывается на водоотделитель. Выбрасывающие ковши не доходят до дна, чтобы не захватить камни. Интенсивность потока свеклы регулируется шибером 6 и частотой вращения выбрасывающих ковшей.

В моечной части свекломойки, где уровень воды поддерживается на 300—400 мм выше кулачков, легкие примеси всплывают на спокойную поверхность воды и через щели 4 смываются в желоб.

Улавливатели тяжелых примесей очищаются автоматически по графику: песколовушки не реже 2 раз в час, камнеловушки 2 раза в смену.

Чистая вода подается непрерывно в выбрасывающую часть навстречу потоку отмытой свеклы. При временных остановках

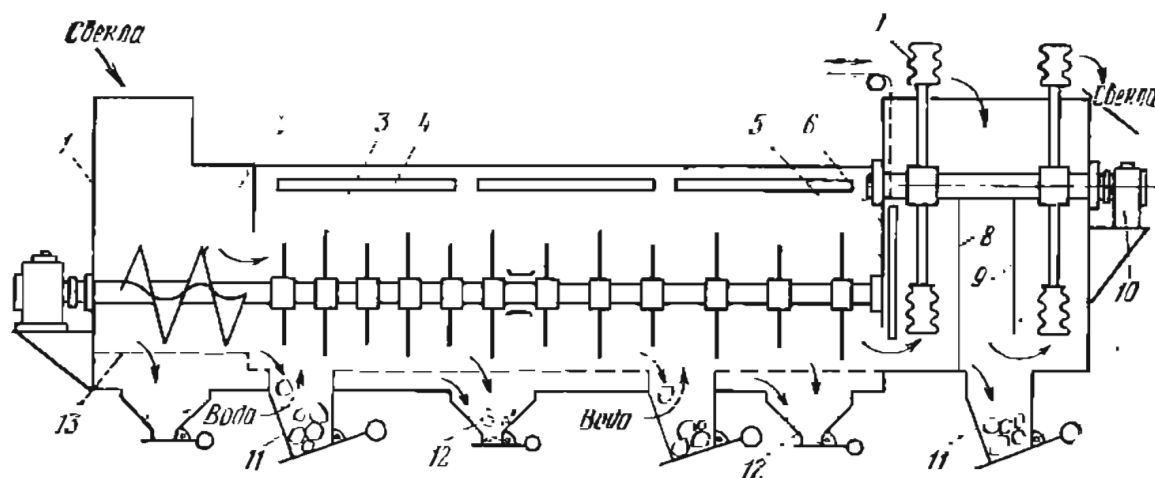


Рис. 23. Свекломойка КМЗ-57М

свекломойки подача грязной свеклы прекращается и половина корнеплодов перегружается в бункер над свеклорезками. Это облегчает последующий пуск свекломойки.

Выбрасывающими ковшами вместе со свеклой выносятся много воды. Чтобы уменьшить ее количество, в секциях второго ряда ковшей уровень воды снижается наполовину (отделение делается «полусухим»). Тогда большая часть воды успевает стечь с корнеплодов еще до дискового водоотделителя, и последний можно заменить решеткой с углом наклона не более 23° или ротационным водоотделителем.

Для дезинфекции поверхности корнеплодов в последнюю секцию выбрасывающего отделения иногда добавляют хлорную известь (10—20 кг на 100 т свеклы) или подают известковую воду. Эффект отмывания корнеплодов в мойке КМЗ-57М составляет около 30 %.

Комбинированная свекломойка СМК-3М производительностью 3 тыс. т свеклы в сутки имеет моечное отделение I с низким уровнем воды и моечное отделение III с высоким уровнем воды (рис. 24).

В отделении с низким уровнем воды на валу 1 по винтовой линии установлены кулачки 2. Они обеспечивают передвижение свеклы к перебрасывающим ковшам, интенсивное перемешивание и трение между собой корнеплодов. Благодаря этому грязь хорошо отмывается. Уровень воды в этом отделении ниже верхней кромки кулачков на 350 мм.

Грязная вода из отделения I отводится через карман 13. Песок и грязь проходят через ситчатое днище 12 и осаждаются в песколовушках 11, а камни — в камнеловушке 10. Свекла перемещается кулачками к торцевой стенке отделения I и через отверстие в ней попадает в перебрасывающее отделение II, где вращается вал с перебрасывающими ковшами 3. Ковши захватывают свеклу без воды и по лотку 4 перебрасывают в отделение III с высоким уровнем воды.

В этом отделении на валу 5 также по винтовой линии установлены кулачки. Уровень воды на 315 мм выше уровня верх-

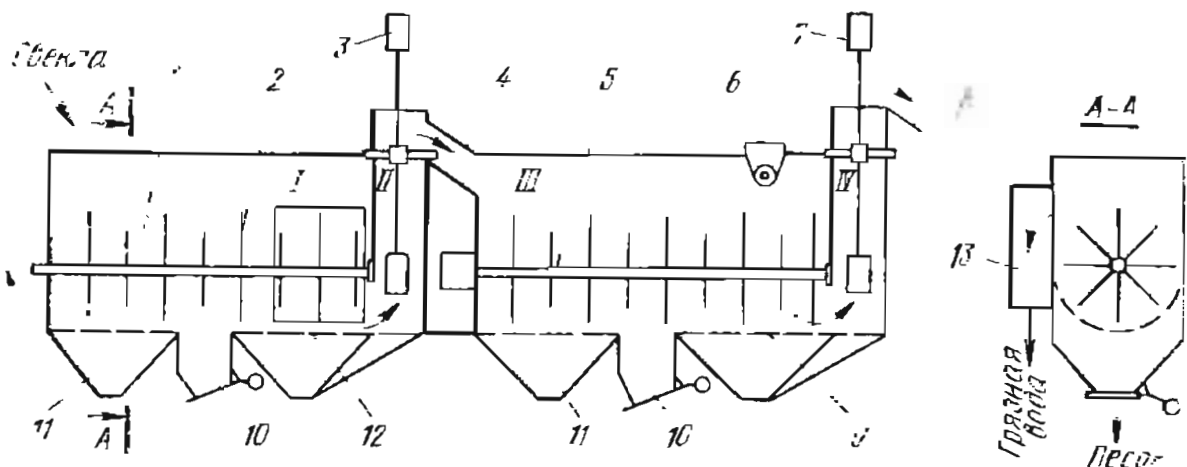


Рис. 24. Комбинированная свекломойка СМК-3М

ней кромки кулачков, что обеспечивает спокойную ее поверхность. Отделившиеся грязь и песок проходят через ситчатое днище 9 в песколовушки 11, а камни — в камиеловушку 10.

Для улавливания и вывода плавающих примесей в отделении III установлена ботволушка 6, представляющая собой шнек, смонтированный в открытом желобе поперек мойки.

Отмытая свекла перемещается кулачками к торцевой стенке отделения III и через отверстие в ней попадает в отделение IV, где вращается вал с выбрасывающими ковшами 7. Эти ковши захватывают свеклу без воды и по желобу 8 выбрасывают из мойки.

Эффект отмыывания корнеплодов в комбинированной мойке достигает 75 %, продолжительность отмыывания — около 8 мин.

При гидравлической подаче корнеплодов и мойке из них вымывается часть сахарозы, которая затем разрушается бактериями в транспортерно-моечной воде. Общие потери сахарозы на тракте подачи составляют 0,6—0,8 % к массе свеклы, из них в кулачковых свекломойках 0,10—0,15 %. Эти потери возрастают при увеличении расхода транспортерно-моечной воды и ее температуры (температура воды не должна быть выше 17 °С), при ухудшении физического состояния корнеплодов (подвяливание, подмораживание, механических повреждениях), при наличии в тракте острых выступов и заусенцев.

УЛАВЛИВАНИЕ ОБЛОМКОВ СВЕКЛЫ

В поступающей в завод свекле содержится 2—3 % обломков с содержанием в них сахарозы всего лишь на 1—3 % ниже, чем в целых корнеплодах. Обломки улавливают из транспортерно-моечной воды и перерабатывают вместе с корнеплодами.

Возврат всей массы свекловичных отходов в переработку из-за низкой сахаристости мелких фракций нецелесообразен, так как при этом растет брак в свекловичной стружке и снижается доброкачественность диффузионного сока. Например, при наличии в массе корнеплодов 1 % обломков размером 10 мм брак в стружке увеличивается на 1 %, содержание сахарозы в жоме — на 0,1 %, неучтенные потери сахарозы — на 0,1 % к массе свеклы. Содержание такого же количества обломков свеклы, но размером 30—50 мм повышает эти показатели незначительно: соответственно на 0,2, 0,02 и 0,02 % к массе свеклы.

Исходя из этого, рекомендуется возвращать в переработку вместе с целыми корнеплодами только крупные обломки размером 20—50 мм, а обломки меньше 20 мм использовать на корм скоту. По кормовой ценности эти обломки всего лишь на 18—20 % ниже, чем сахарная свекла.

Хранение обломков свеклы в кагатах вместе с корнеплодами недопустимо, так как они быстро загнивают и являются

источником микробиаьного заражения сырья. При приемке свеклы и укладке ее в кагаты обломки отделяют на свеклоукладчиках, очищают от примесей и сразу направляют в переработку.

Обломки свеклы, поступающие в завод с транспортерно-мочной водой, обычно улавливают по схеме, приведенной на рис. 15. При наличии большого количества обломков свеклы эту операцию лучше проводить по схеме, приведенной на рис. 25.

По этой схеме обломки свеклы размером до 50 мм, отделенные на свеклоукладчике, направляют в главный гидротранспортер 1, установленный перед свеклонасосами. Затем они вместе со свеклой проходят через улавливатель примесей 2, отделяются с транспортерно-мочной водой, улавливаются в хвостикоулавливателе 3 и направляются в камнеловушку 4. Сюда же поступают отделившиеся примеси и часть обломков свеклы из улавливателя 2 (камне- и ботволовушки). Камни выводятся из камнеловушки, а обломки свеклы, ботва и остатки тяжелых примесей подаются в гидравлический классификатор 7, где разделяются на отдельные фракции: ботва всплывает и через перелив 5 удаляется на транспортер 13, камни накапливаются в камнеловушке 9, обломки свеклы через трубу 10 уносятся восходящим потоком воды на двухбарабанный наклонный классификатор 11. Зазор между барабанами классификатора, вращающимися в противоположные стороны, 10—20 мм. Фракции свекломассы размером меньше 20 мм проваливаются в зазор между барабанами на транспортер 13, а фракции размером более 20 мм шнеком 12 подаются в бункер над свеклорезками.

Для лучшего разделения тяжелых примесей и свекломассы в конусной части классификатора 7 через коллектор 6 и окна

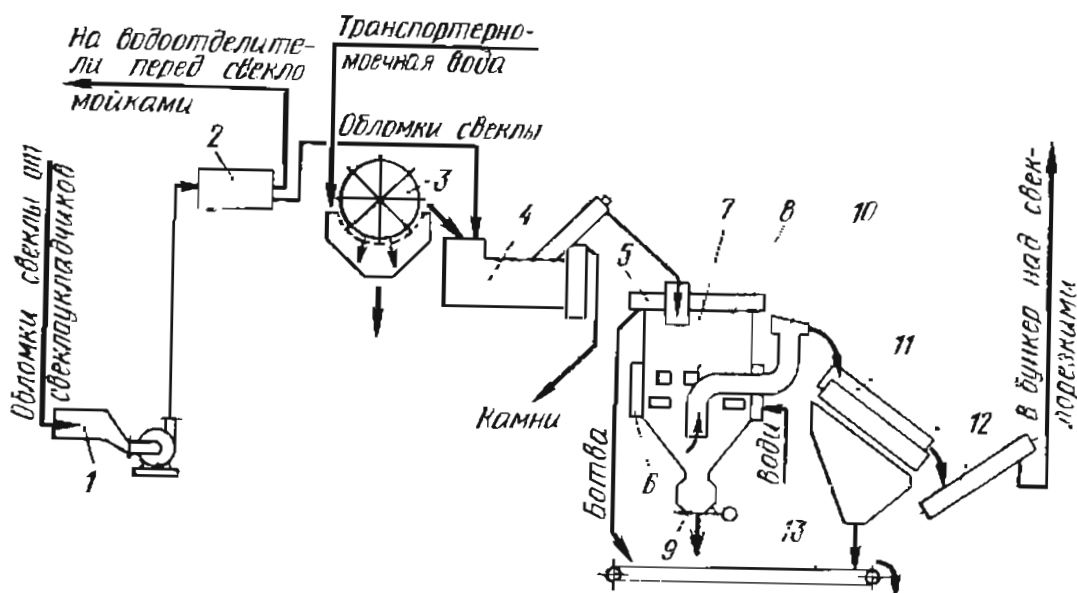


Рис. 25. Схема улавливания и очистки обломков свеклы от примесей

8 вводится осветленная вода, создавая восходящий поток. Этот поток дает возможность тяжелым примесям осаждаться в камнеловушке 9 и поддерживает свекломассу во взвешенном состоянии. Выходное отверстие трубы 10 находится ниже уровня перелива воды, в результате чего свекломасса легко выводится из классификатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные стадии процесса очистки свеклы от примесей.
2. Что представляет собой бурачная, ее назначение?
3. Каково назначение сплавной площадки и в чем ее преимущество перед бурачной?
4. Назовите основные конструктивные параметры гидравлического транспортера для свеклы.
5. Почему чаще всего свекла транспортируется в завод гидравлическим транспортом, а не механическим?
6. Почему на тракте подачи свеклы устанавливается несколько камне-, песко-, ботволочушек?
7. Как регулируется поток свеклы в гидротранспортере?
8. Каков эффект отмывки свеклы от примесей в свекломойке КМЗ-57М?
9. В чем заключается преимущество комбинированной свекломойки перед свекломойкой с высоким уровнем воды?
10. Каковы потери сахарозы при транспортировании свеклы из склада в завод?
11. Из каких элементов состоит схема улавливания обломков свеклы?
12. Что называют обломками свеклы и как они используются?

Глава 4

ПОЛУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СОКА ИЗ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ

ЦЕЛЬ И ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ДИФфуЗИОННОГО СОКА

В начале развития сахарного производства свеклу измельчали на терках и из каши отжимали свекловичный сок на винтовых прессах. Эффективность извлечения сахарозы из свеклы этим способом была низкой, так как часть свекловичных клеток после терок оставалась нераскрытой, много сока уходило в жом, а из разорванных клеток вместе с соком извлекалась значительная часть несахаров.

Позднее прессовый способ получения свекловичного сока был вытеснен более прогрессивным диффузионным способом (экстракцией), суть которого заключается в изрезывании корнеплодов свеклы в стружку и в противоточной обработке ее горячей водой. При этом почти вся сахароза и некоторая часть растворенных несахаров постепенно переходят (диффундируют) в воду, образуя так называемый диффузионный сок (сок, извлеченный из свекловичной стружки диффузионным способом). Движение веществ из стружки в воду происходит под влия-

нием разности концентраций и заканчивается, когда концентрация их в стружке и в воде станет почти одинаковой. Качество диффузионного сока всегда выше, чем свекловичного, потому что часть нес сахаров удерживается клеточными стенками свеклы.

Диффузионный способ извлечения сахарозы из свеклы был предложен в 1833 г. нашим соотечественником Д. А. Давыдовым, а широкое практическое применение получил с 1864 г. благодаря изобретению Юлиусом Робертом в Чехословакии конструкции диффузора и диффузионной батареи.

На отечественных свеклосахарных заводах в настоящее время эксплуатируются диффузионные установки непрерывного действия мощностью от 1,5 до 4,5 тыс. т переработки свеклы в сутки (за рубежом до 10 тыс. т). Наиболее распространены колонные, наклонные шнековые и горизонтальные ротационные диффузионные установки.

Структурная технологическая схема переработки свеклы в перерабатывающем отделении сахарного завода приведена на рис. 26.

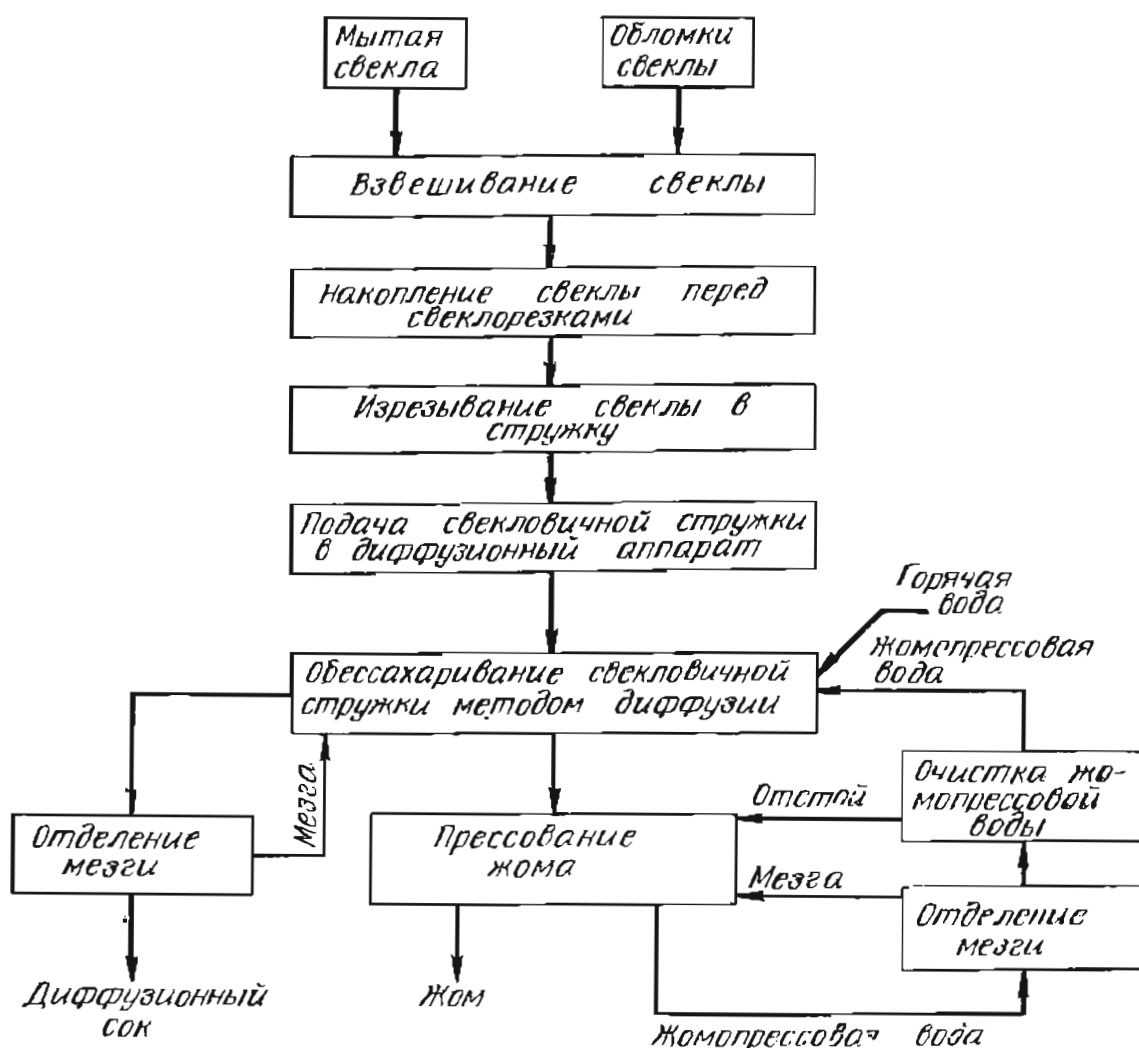


Рис. 26. Структурная технологическая схема свеклоперерабатывающего отделения

Мытую свеклу и крупные обломки взвешивают на автоматических порционных весах и выгружают в бункер-накопитель. Оттуда они самотеком поступают в свеклорезки и изрезаются в стружку, которая ленточным транспортером подается в диффузионный аппарат. В разрыве верхнего пояса несущей конструкции ленточного транспортера установлены непрерывно действующие ленточные весы, контролирующие массу проходящей свекловичной стружки и служащие первичным датчиком для автоматического управления процессом диффузии.

В диффузионном аппарате свекловичная стружка обессахаривается противотоком горячей воды. Выходящий из аппарата диффузионный сок освобождается в мезголовушке от мезги и направляется на предварительную дефекацию. Уловленная мезга возвращается в диффузионный аппарат. Обессахаренная стружка выходит из диффузионного аппарата с содержанием 6,4—8,3 % сухих веществ и отжимается на прессах до 12—22 % сухих веществ. Отжатый жом высушивают или реализуют в сыром виде, а жомпрессовую воду подвергают термической обработке, очищают от взвешенных примесей и возвращают в диффузионный аппарат.

ПОЛУЧЕНИЕ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ

Изрезывание корнеплодов. Перед изрезыванием свеклу взвешивают на автоматических порционных весах ДС-800 с электрическим приводом. Конструкция их основана на принципе неравноплечих весов с отношением плеч грузоприемного рычага 1 : 10, поэтому для взвешивания порции свеклы в 800 кг нужно всего 80 кг гирь. Производительность весов 100 т/ч, точность взвешивания для каждого отвеса ± 1 %, для среднего из десяти отвесов $\pm 0,3$ %.

На точность взвешивания порционных весов влияет равномерность подачи и высота падения корнеплодов свеклы в ковш весов, которая должна быть не более 1,5 м от верхнего обреза приемной воронки.

Из ковша весов свекла выгружается в бункер-накопитель перед свеклорезками, рассчитанный на 20 мин работы завода, что обеспечивает ритмичность проведения технологических процессов при кратковременных перебоях в поступлении свеклы.

Для получения свекловичной стружки применяются центробежные, барабанные и дисковые режущие машины. Принцип их действия основан на движении свеклы и свеклорезных ножей относительно друг друга. Движение осуществляется различными путями. В центробежных свеклорезках ножи закреплены неподвижно на стенках вертикального цилиндра, а свекла движется по внутренней поверхности цилиндра, прижимаясь к ножам за счет действия центробежной силы. В диско-

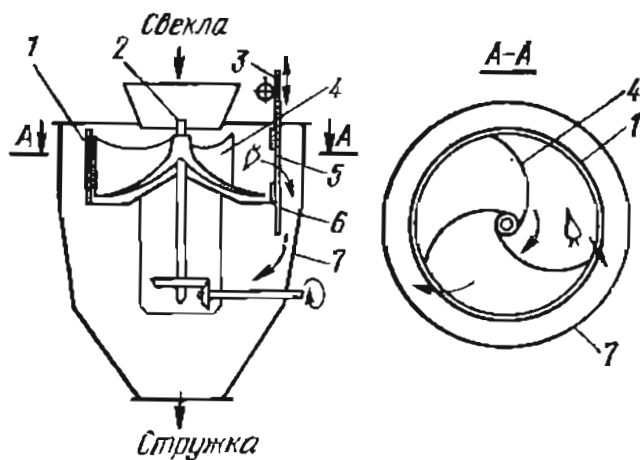


Рис. 27. Центробежная свеклорезка

вых машинах движутся ножи, закрепленные на вращающемся горизонтальном диске, а свекла лежит на диске неподвижно. В барабанных машинах ножи закреплены на стенках вращающегося горизонтального барабана, свекла находится внутри барабана и удерживается от вращения специальным приспособлением (прижимом).

На большинстве сахарных заводов СССР применяются центробежные свеклорезки в основном с 16 двуножевыми рамами (рис. 27).

Свекла поступает в неподвижный барабан 1, снабженный ножевыми рамами 5, и с помощью лопастей вращающейся на валу 2 улитки 4 отбрасывается на ножи и, перемещаясь вместе с улиткой, изрезывается в свекловичную стружку. Стружка проходит в пространство между корпусом 1 и кожухом 7 и выводится из машины. С помощью ременной лебедки 3 вместо ножевой рамы 5 можно устанавливать глухую раму 6, не останавливая свеклорезки.

Поступающая в барабан свекла отбрасывается лопастями улитки преимущественно к верхним ножам, а в зоне нижних ножей создается недостаточное для нормальной работы уплотнение свеклы. Это приводит к получению на нижних ножах стружки худшего качества. Для компенсации этих недостатков в центробежных свеклорезках стараются резать свеклу при максимальной скорости, чтобы под действием большой центробежной силы плотнее прижимать корнеплоды к ножам.

Центробежные свеклорезки сложнее ремонтировать, в них удельный расход электроэнергии примерно на 30 % выше, чем в барабанных или дисковых. Однако они обладают рядом преимуществ. В них можно, не останавливая работу машины, контролировать качество стружки после каждого ножа, заменять износившиеся и поврежденные ножи, удалять посторонние предметы, изменять подъем ножей и профиль стружки, регулировать производительность (изменять частоту вращения ротора и число работающих ножей). Ни одна из этих операций, кроме последней, не может быть выполнена на дисковых или барабанных свеклорезках.

Необходимо отметить, что при замене ножей и удалении посторонних предметов на ходу, когда вместо ножевой рамы в гнездо вводится менее изношенная глухая рама, на внутренней поверхности барабана образуется выступ, ударяясь о который часть свеклы измельчается и повышает брак в стружке.

Для снижения расхода электроэнергии на резание свеклы и уменьшения брака в стружке в СССР разработана и принята в качестве типовой барабанная свеклорезка. В этой машине свекла подается во вращающийся барабан свеклорезки, заклинивается там между барабаном и неподвижной улиткой, плотно прижимаясь к ножам, закрепленным в барабане, и изрезывается в стружку. Из кольцевого пространства между вращающимся барабаном и неподвижным корпусом стружка проходит вниз и выгружается на транспортер. Благодаря наличию улитки корнеплоды свеклы принимают в барабане свеклорезки устойчивое положение относительно ножей, что способствует образованию качественной стружки с содержанием брака в 3—5 раз меньше, чем в центробежных свеклорезках.

Дисковые свеклорезки на отечественных сахарных заводах практически не применяются. ↓

Основной недостаток всех свеклорезок — несовершенство конструкции прижима. Это приводит к некоторому перемещению корнеплодов в плоскости резания и повороту их вокруг оси, расположенной вдоль режущей кромки ножа, а следовательно, к появлению брака и неоднородной стружки.

Корнеплоды свеклы с повышенным содержанием растительных примесей, а также цветущие, подвяленные и волокнистые изрезаются в центробежных машинах с фрезерованными безреберными ножами, которые в настоящее время вытесняют ребристые ножи.

Фрезерованные безреберные свеклорезные ножи изготавливают из инструментальной стали правыми и левыми с разным шагом. Ножи с меньшим шагом (6; 7; 8,25; 9 мм) предназначены для переработки свеклы нормального качества, а с большим (10 и 12 мм) — для изрезывания подгнившей, волокнистой, цветущей свеклы.

Наиболее часто применяются безреберные ножи с шагом 8,25 мм (рис. 28). Рабочая часть такого ножа состоит из V-образных элементов, называемых перьями, угол профиля пера 75° . Правые и левые ножи различаются между собой смещением шага наполовину, что дает возможность стыковать их в раме, не нарушая профиля режущей кромки. На сахарных заводах в эксплуатации находятся также безреберные ножи с углом профиля пера 90° и шагом 7 и 8,25 мм.

В каждой раме ножи занимают определенное положение относительно ножей соседних рам, что достигается установкой их с помощью специальных кондукторов.

В последнее время в центробежных свеклорезках вместо жестких рам стали применять поворотные (разрезанные) ножевые рамы. Такие рамы дают возможность регулировать подъем ножей в работающей свеклорезке.

Рама (см. рис. 29) состоит из двух шарнирно соединенных между собой частей. В корпусе 1 с помощью прижимной

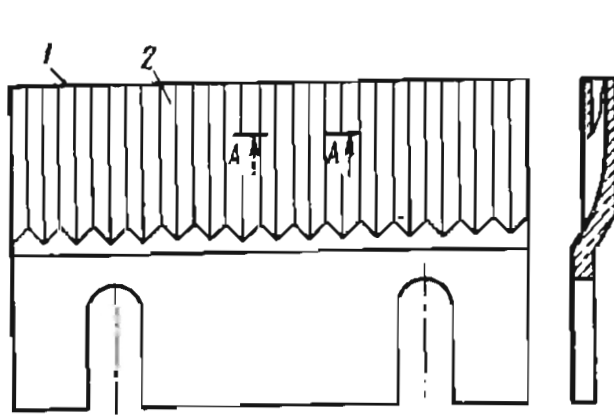


Рис. 28. Схема безреберного ножа для центробежных свеклорезок

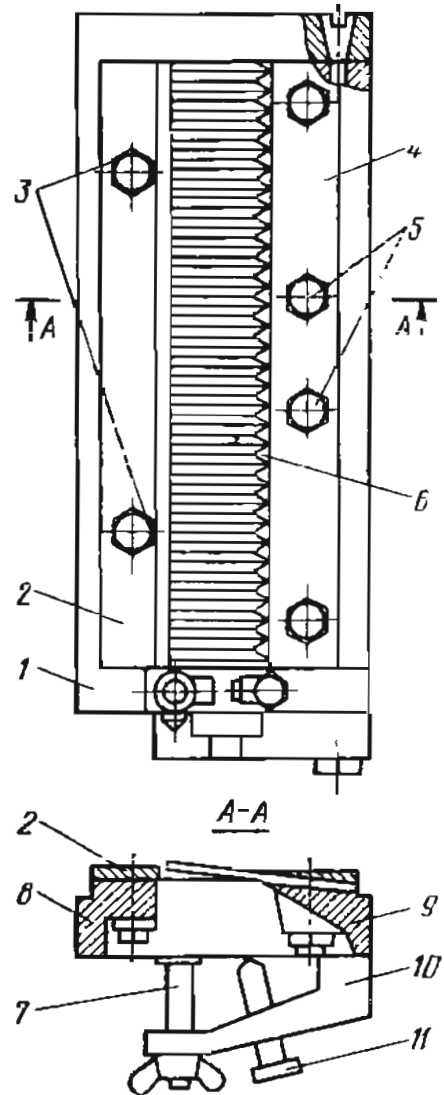


Рис. 29. Поворотная ножевая рама

планки 4 и четырех болтов 5 установлено два ножа 6. Против режущей кромки ножей на корпусе рамы расположена контрольная планка 2, притягиваемая к корпусу болтами 3.

Подвижная часть рамы 9, к которой крепятся ножи, имеет кронштейн 10 с фиксирующим винтом 11, а неподвижная часть рамы 8 снабжена подпружиненным регулировочным винтом 7, соединяющим ее с кронштейном 10 подвижной части. Поворотом винта 7 регулируется подъем ножей над контрольной планкой 9. При достижении необходимой толщины стружки положение ножей фиксируется винтом 11. Для свободного выхода стружки из барабана свеклорезные ножи отодвинуты от контрольной планки параллельно на некоторое расстояние, благодаря чему образуется зазор.

Хорошая стружка получается при подъеме ножей 12—14 мм и зазоре 8—10 мм. Когда перерабатывают волокнистую и засоренную растительными примесями свеклу, зазор увеличивают до 15 мм, при этом ножи легче освобождаются от зависших волокон и застрявших частиц свеклы. При работе с небольшим зазором ножи быстро забиваются волокнами и изнашиваются.

Для очистки свеклорезных ножей на ходу через трубопровод к соплам, расположенным на лопастях вращающейся улитки свеклорезки, подается сжатый воздух или пар под давлением 0,8—1,0 МПа. При очистке ножей паром предусматриваются меры безопасности.

Качество стружки. Для эффективной работы диффузионной установки решающее значение имеет качество свекловичной стружки, которая должна обладать достаточно высокой удельной поверхностью, прочностью на разрыв, изгиб и смятие, хорошей проницаемостью в течение всего процесса экстракции, иметь простую геометрическую форму поперечного сечения.

Геометрическую форму свекловичной стружки выбирают в зависимости от качества свеклы и типа используемых диффузионных аппаратов. Здоровую неподвяленную свеклу изрезают в мелкую ромбовидную, квадратную или желобчатую стружку, замороженную и подгнившую — в толстую ромбовидную, квадратную или пластовидную стружку. Из различных форм поперечного сечения стружки оптимальной считается ромбовидная и квадратная. Такая стружка отличается от наиболее распространенных пластинчатой и желобчатой более высокой скоростью и равномерностью обессахаривания.

Качество свекловичной стружки оценивается длиной 100 г стружки в метрах (число Силина) или отношением массы стружки длиной более 5 см к массе стружки длиной менее 1 см (шведский фактор), а также содержанием в стружке брака. Браком считаются неразрезанные гребешки, а также стружка короче 5 мм или толщиной менее 0,5 мм. Содержание брака в стружке ограничивается 3 %.

В диффузионных аппаратах используется свекловичная стружка, длина 100 г которой составляет 9—15 м. Более тонкая стружка быстро измельчается транспортирующими органами аппарата и превращается в мезгу. Мезга ухудшает проницаемость массы стружки и забивает ситовые поверхности. Величина шведского фактора, характеризующего хорошую проницаемость стружки, должна быть не ниже 8.

При изрезывании свеклы в стружку 5—10 % клеток раскрываются непосредственно ножами и 20—30 % клеток раздавливаются ими в прилегающих слоях. Весь свекловичный сок из этих клеток легко вымывается водой в диффузионном аппарате, а из неповрежденных клеток сок извлекается только диффузией.

ПОЛУЧЕНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СОКА

Основы теории процесса

Цель диффузионного процесса — извлечь из свекловичной стружки максимально возможное количество сахарозы. Для этого стружка нагревается до температуры денатурации белка протоплазмы свекловичных клеток

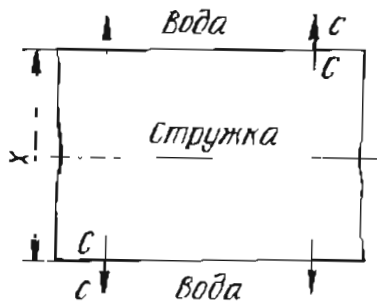


Рис. 30. Схема диффузии сахара из свекловичной стружки

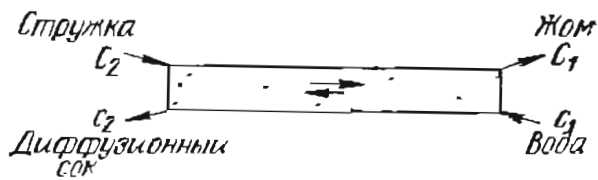


Рис. 31. Схема противоточного обессахаривания свекловичной стружки

(выше 60 °С) и обессахаривается противотоком горячей воды. В результате денатурации белка протоплазмы целостность клеточных стенок нарушается и в них освобождаются щелевидные отверстия, через которые растворенные вещества легко переходят (диффундируют) из свекловичного сока в экстрагирующую жидкость (воду). Этот процесс можно представить схематично (рис. 30).

Сок в клетках находится в абсолютном покое, а перемещаются только молекулы растворенных веществ в соответствии с разностью их концентраций в соке C и воде c , называемой градиентом концентраций.

Диффузионный процесс подчиняется закону Фика, по которому количество растворенного вещества S , продиффундировавшего сквозь некоторый слой растворителя, пропорционально разности концентраций на границах этого слоя $C-c$, времени τ и площади слоя F и обратно пропорционально толщине слоя x .

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

где D — коэффициент диффузии, показывающий, сколько данного вещества продиффундирует в единицу времени через единицу площади на расстояние

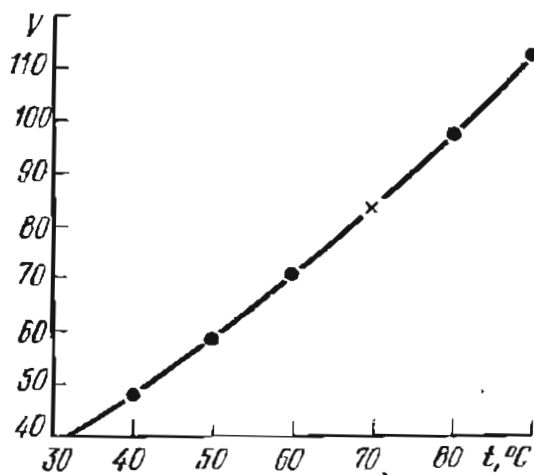


Рис. 32 Зависимость фактора V от температуры диффузии

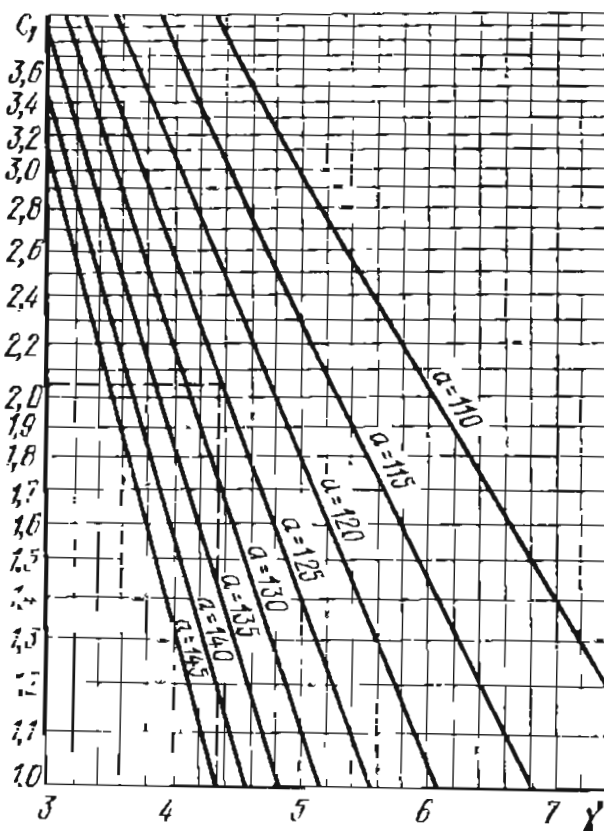


Рис. 33. Номограмма для определения результатов работы диффузионных аппаратов

одной единицы длины при разности концентраций, равной единице. Его величина зависит от размера молекул экстрагируемого вещества и температуры процесса.

Диффузионный процесс на сахарном заводе проводится в противоточных непрерывнодействующих аппаратах. Движение продуктов в нем без возврата жомпрессовой воды можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 31. C_2, C_1, c_2, c_1 — концентрация сахарозы соответственно в стружке, жоме, диффузионном соке и воде.

Значения $S, F, C-c, x$ в уравнении (3) трудно определимы, но их можно выразить через концентрацию сахарозы в стружке C_2 и жоме C_1 , длину 100 г свекловичной стружки l , коэффициент отбора сока n (количество диффузионного сока, отнесенное к массе свекловичного сока в стружке, в %). В результате этой замены и математического преобразования получается уравнение

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{(n-1)C_2 + C_1}{nC_1} = AV/t \quad (4)$$

Коэффициент A в этом уравнении включает все постоянные величины и зависит от конструкции и качества работы диффузионной установки. Величина его определяется экспериментально и для наклонных шнековых и колонных диффузионных установок колеблется в интервале $4 \cdot 10^{-5} - 7 \cdot 10^{-5}$.

В уравнении (4) обобщены все наиболее важные в диффузионном процессе показатели: отбор диффузионного сока (откачка) n , температура (через фактор V), площадь поверхности стружки (через длину l), продолжительность активной диффузии t , потери сахарозы в жоме C_1 .

На рис. 32 дана зависимость фактора температуры и вязкости V от температуры диффузии.

Правую часть уравнения (4) легко вычислить, обозначив ее через γ , а концентрацию сахарозы в свекловичном соке стружки C_2 для упрощения уравнения приравняв единице, тогда в нем останется всего две переменные величины γ и n .

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{n-1 + C_1}{nC_1} = \gamma. \quad (5)$$

В данном уравнении потери сахарозы в жоме C_1 отнесены к 1 кг сахарозы, так как $C_2=1$. Для пересчета потерь в процентах к массе сахарозы их надо умножить на 100.

На практике пользуются номограммой (рис. 33), где на оси абсцисс отложены значения γ , а на оси ординат — в логарифмическом масштабе потери сахарозы в жоме C_1 , вычисленные на 100 кг сахарозы. Верхом показаны кривые, соответствующие величине отбора диффузионного сока (a , в % к массе свеклы).

Пример. Требуется определить потери сахарозы (Π , в %) и жоме при следующих показателях работы наклонного шнекового диффузионного аппарата: длительность и средняя температура активной диффузии соответственно 90 мин и 70°C , отбор диффузионного сока 125%, длина 100 г стружки 12 м, коэффициент $A=4,8 \cdot 10^{-5}$, сахаристость стружки ($CX_{св}$) 16%.

На рис. 32 температуре 70°C соответствует значение $V=84$. Тогда

$$\gamma = AV/t = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 84 \cdot 12 \cdot 90 = 4,35.$$

По номограмме (см. рис. 33) на пересечении $\gamma=4,35$ и $a=125\%$ находим оптимальные при установившемся режиме работы данной диффузионной установки потери сахарозы в жоме $C_1=2,05\%$ к массе сахарозы. А в процентах к массе свеклы они составляют

$$\Pi = \frac{C_1 C X_{св}}{100} = \frac{2,05 \cdot 16}{100} = 0,33.$$

Когда определяют продолжительность активной диффузии [(процесс диффузии при температуре выше 60 °С), т], то время, затраченное на нагревание стружки до температуры денатурации протоплазмы, в том числе и на пребывание стружки в ошпаривателе, не учитывается.

Среднюю температуру процесса вычисляют из суммы температур соко-стружечной смеси на отдельных участках в диффузионном аппарате без учета температур ниже 60 °С.

Проведение диффузии в колонном диффузионном аппарате (КДА)

Аппаратурно-технологическая схема получения диффузионного сока в колонном диффузионном аппарате с наклонным ошпаривателем приведена на рис. 34.

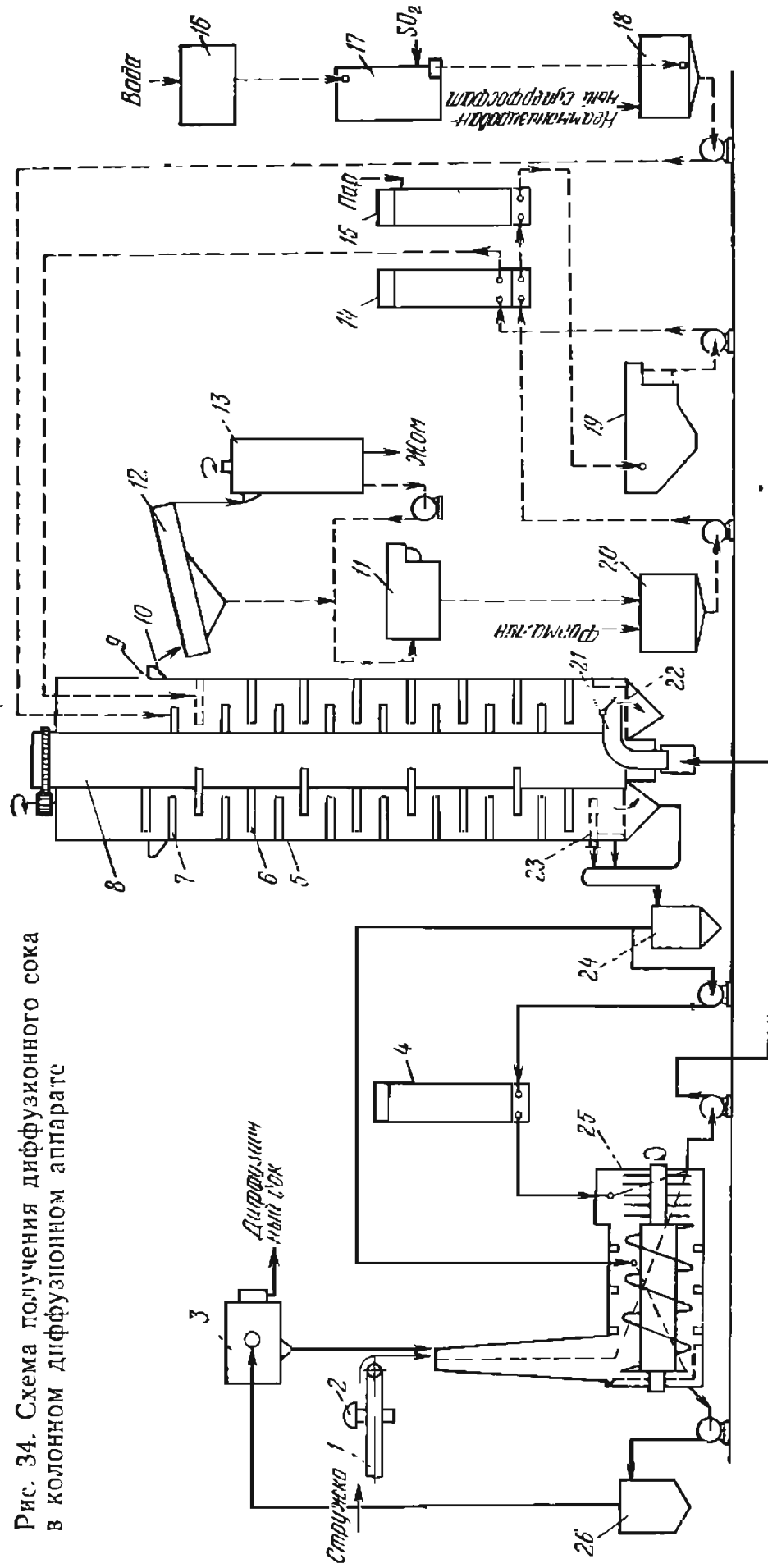
По этой схеме свекловичная стружка подается транспортером 1 через установленные на нем автоматические ленточные весы 2 в теплообменную часть ошпаривателя 25, где нагревается и предварительно ошпаривается диффузионным соком температурой 72 °С (120 % к массе свеклы), который при этом охлаждается до 45—55 °С и отбирается через торцевое сито ошпаривателя в песколовушку 26, работающую по принципу гидроциклона. Из песколовушки диффузионный сок поступает в мезголовушку 3, освобождается от мезги и направляется на очистку известью, а уловленная мезга возвращается в ошпариватель.

В мешалку ошпаривателя подается диффузионный сок (300 % к массе свеклы), нагретый в теплообменнике 4 до 85 °С. Из ошпаривателя сокостружечная смесь (400 % к массе свеклы) температурой 75 °С нагнетается насосом через распределитель 21 в колонный диффузионный аппарат 5, где благодаря совместной работе распределителя и насоса стружка перемещается вверх навстречу воде и перемешивается с помощью вращающегося вала 8 с лопастями 6 и неподвижных лопастей 7.

Диффузионный сок (420 % к массе свеклы) выходит из колонны 5 через горизонтальное сито 22, ситовой пояс, ситчатые контролопасти 23 в песколовушку 24 и далее двумя потоками. Первый поток идет через теплообменник 4 в ошпариватель 25, второй — сразу в ошпариватель, минуя теплообменник 4.

Обессахаренная стружка с содержанием примерно 8 % сухих веществ (жом) кольцевым скребковым транспортером 10 выгружается через окна 9 в шнековый водоотделитель 12, а оттуда в вертикальный пресс 13. Вода, отделенная от обессахаренной стружки в водоотделителе и на прессах, проходит через мезголовушку 11 с прессом и попадает в сборник 20. Из этого сборника она прокачивается через теплообменники 14 и 15, нагревается до 85 °С для стерилизации, в отстойнике 19 освобождается от взвесей и подается в диффузионный аппарат.

Рис. 34. Схема получения диффузионного сока в колонном диффузионном аппарате



Свежая питающая вода поступает из сборника 16 температурой около 70 °С, сульфитируется в аппарате 17 до рН 5,5—6 и направляется через сборник 18 в диффузионный аппарат.

Для улучшения очистки воды в сборник 20 добавляют формалин, а в сборник 18 — неаммонизированный суперфосфат (0,03—0,05 % к массе свеклы). Жомопрессовую и свежую воду можно подавать в диффузионный аппарат отдельно или совместно.

Одной из причин плохого отбора диффузионного сока из колонны диффузионного аппарата является прилипание стружки к ситам и запрессовывание ее в отверстия в результате нарушения оптимального соотношения между твердой и жидкой фазами в сокостружечной смеси над ситом и разрыва струи сока.

Для устранения этого недостатка всасывающая труба насоса, откачивающего сок из колонны, делается с гидрозатвором, устанавливаемым так, чтобы его верхняя часть располагалась на 1—1,5 м выше горизонтального сита. Из верхней точки гидрозатвора в загрузочный бункер ошпаривателя выводится воздушная оттяжка.

Колонные диффузионные аппараты работают значительно лучше, если сок из колонны отбирается через горизонтальное сито и через ситовой пояс и ситчатые контролопасти отдельно и подается в ошпариватель также отдельно.

При переработке спелой здоровой свеклы в колонной диффузионной установке следует придерживаться следующего режима:

Длина 100 г стружки, м	11—13
Отбор диффузионного сока, % к массе свеклы	125—130
Средняя температура сокостружечной смеси по высоте колонны, °С	
в нижней части	74—75
в средней части	73
в верхней части	68—70
Длительность активной диффузии, мин	75—80
Длительность ошпаривания стружки, мин	13—19
Потери сахарозы в жоме, % к массе свеклы	До 0,3
Удельная нагрузка рабочего объема стружкой, т/м ³	
диффузионного аппарата	0,70
ошпаривателя	0,72
Температура, °С	
диффузионного сока	45—55
жома	68
свежей воды	70
жомопрессовой воды	75

Удельную нагрузку рабочего объема аппарата стружкой можно регулировать. Например, при постоянной производительности установки удельная нагрузка увеличивается с уменьшением частоты вращения турбовала, увеличением удельной

длины стружки, повышением температуры процесса и понижением уровня сока в аппарате.

Колонные диффузионные установки имеют некоторые недостатки: высокий отбор сока, отсутствие возможности промежуточного подогрева сокостружечной смеси в аппарате, необходимость использования дополнительных теплообменников диффузионного сока и специальных насосов для перекачки больших масс продукта, повышенную чувствительность к качеству перерабатываемой свеклы и стружки. Однако эти аппараты устойчивы в работе, меньше подвержены коррозии и занимают меньше производственной площади по сравнению с другими типами аппаратов.

Проведение диффузии в наклонном шнековом диффузионном аппарате

Аппаратурно-технологическая схема получения диффузионного сока с использованием наклонного шнекового диффузионного аппарата приведена на рис. 35.

Свекловичная стружка подается из свеклорезок в диффузионный аппарат 5 транспортером 10, на котором установлены автоматические ленточные весы 9. В диффузионный аппарат через сборник 4 возвращается очищенная жомопрессованная вода, а из сборника 3 подаются сульфитированные аммиачные конденсаты или барометрическая вода. Жом от диффузионного аппарата отводится грабельным транспортером 1.

Диффузионный сок подается в мезголовушку 13, освобождается от мезги и через сборник 14 направляется на очистку. Уловленная мезга возвращается в диффузионный аппарат в точке, расположенной на 2—3 м выше ситовой камеры 12.

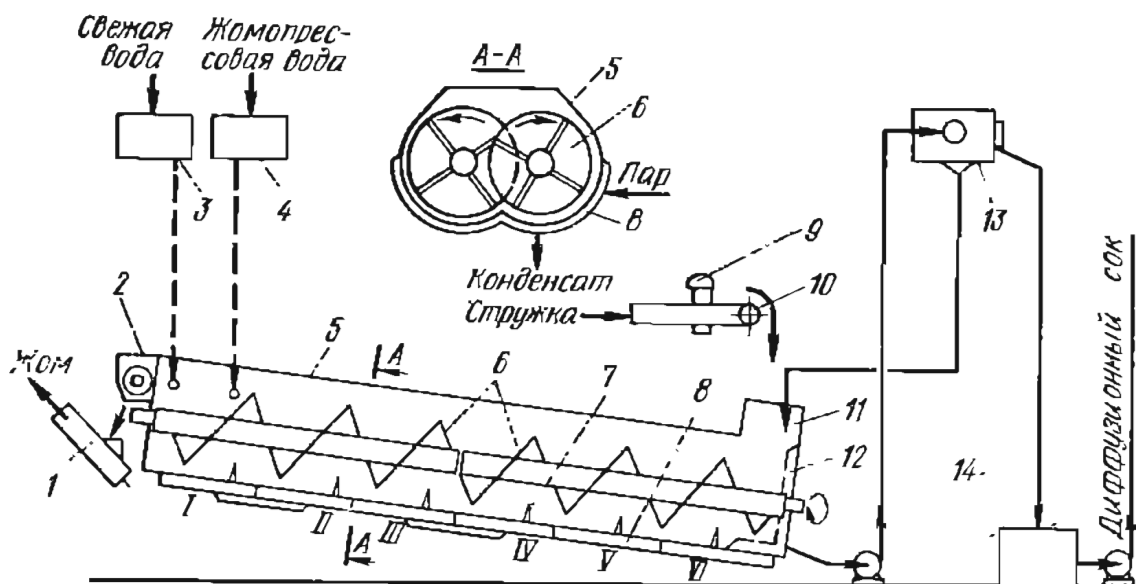


Рис. 35. Схема получения диффузионного сока в наклонном шнековом диффузионном аппарате

На сахарных заводах эксплуатируются наклонные шнековые диффузионные аппараты типа ДДС и ПДС.

Корпус аппарата ПДС устанавливают на фундамент под углом 11° . Аппарат условно разделен на шесть рабочих секций: *I, II, III, IV, V, VI* (нумерация начинается от устройства выгрузки жома). Рабочие секции имеют паровые камеры 8, разделенные на четыре зоны нагревания. Первую зону образует камера *VI* секции, вторую — камера *V* секции, третью — камеры *IV* и *III* секций, соединенные последовательно, четвертую — камеры *II* и *I* секций, также соединенные последовательно. Эти камеры служат для нагревания сокоотружечной смеси непосредственно в аппарате без предварительного ошпаривания стружки. Для обогрева используется вторичный пар из *II* или *III* корпуса выпарной установки. Конденсат отводится через конденсатоотводчики в сборник, неконденсирующиеся газы — в паровую камеру *III* и *IV* корпуса выпарной установки.

Внутри аппарата от нижнего и верхнего приводов синхронно вращаются два продольных шнека 6, перемещающих стружку от нижнего конца аппарата к выгрузочному устройству 2.

Свежая вода подается в *I* секцию аппарата, а жомопрессовая вода — в *I* и *II* секции. При совместном вводе жомопрессовая и свежая вода поступает в *I* секцию.

При отборе диффузионного сока из ситовой камеры 12 насосом в ней создается вакуум (особенно при забивании отверстий сит мезгой), нарушающий ритмичность работы и вызывающий еще большее засорение сит. Поэтому из верхней точки ситовой камеры в загрузочный бункер 11 делается оттяжка в атмосферу в виде гусиной шейки. Верхняя точка оттяжки должна быть выше корпуса аппарата на 1—1,5 м.

Сита очищают с помощью ситоочистительных ножей, набранных из фторопласта или пластин транспортной ленты и закрепленных на валу шнека перед ситом.

При работе диффузионных аппаратов ПДС придерживаются следующего режима:

Длина 100 г стружки, м	15—18
Отбор сока, % к массе свеклы	120—125
Длительность активной диффузии, мин	60—65
Потери сахарозы в жоме, % к массе свеклы	До 0,3
Удельная нагрузка рабочего объема аппарата стружкой, т/м ³	0,6
Температура, °С	
диффузионного сока	30—40
жома	65
свежей воды	70
жомопрессовой воды	75

Оптимальная температура сокоотружечной смеси по зонам нагревания диффузионного аппарата приведена в табл. 4. Она зависит от качества перерабатываемой свеклы.

Таблица 4

Зона нагревания аппарата (нумерация от ситовой камеры)	Оптимальная температура (С) сокоотружечной смеси при переработке свеклы			
	средней полосы нормального качества	южных районов	деревянной стой	ухудшенного качества
I	68	72	76	60
II	73	75	78	65
III	73	75	78	65
IV	65	68	72	55

Диффузионные аппараты типа ДДС отличаются от аппаратов ПДС конструкцией транспортирующих шнеков и устройством для удаления жома. Условия транспортирования стружки в аппаратах ДДС хуже, чем в ПДС, поэтому в них перерабатывается более короткая стружка (7—12 м в 100 г), а продолжительность активной диффузии увеличивается.

При нормальной загрузке наклонного шнекового диффузионного аппарата стружкой придерживаются такого уровня заполнения корыта сокоотружечной смесью, чтобы на поверхности был виден самый отдаленный от ситовой камеры виток шнека. Высота заполнения у верхнего конца аппаратов ПДС регулируется изменением частоты вращения выгрузочных шнеков для жома, а у аппаратов ДДС — поворотом распределительного патрубка свежей воды. Если поток свежей воды направлен к выгрузочному лопастному колесу, то производительность его уменьшается, а загрузка аппарата увеличивается. Когда поток воды направлен в сторону от выгрузочного устройства, то производительность его увеличивается, а загрузка аппарата уменьшается.

Очень важно, чтобы во время работы шнеков не прекращалась подача воды в диффузионный аппарат. Недопустим, так же перегрев стружки, так как при этом ухудшаются условия ее транспортирования и возможно образование местных скоплений (пробок).

При уменьшении или прекращении подачи свежей стружки необходимо снижать частоту вращения шнеков и уменьшать подачу воды. При вынужденных остановках диффузионного аппарата продолжительностью до 1 ч подачу стружки, воды, греющего пара прекращают и часть сока откачивают в сборник. При более длительных остановках удаляют часть стружки, для чего шнеки в аппарате вращаются 5—7 мин без подачи стружки и отбора сока.

К недостаткам наклонных шнековых диффузионных аппаратов можно отнести слабое прогревание стружки в головной части. Поэтому при переработке охлажденной и подморожен-

ной свеклы в диффузионном аппарате не удается достичь оптимальной температуры сокоотружечной смеси обычным путем. В связи с этим на некоторых заводах часть диффузионного сока, отбираемого через ситовую камеру, нагревается в выносном теплообменнике до 85—90 °С и возвращается в диффузионный аппарат в точку, расположенную примерно на 4,4 м выше от лобового сита. Этим достигается необходимая температура процесса. Иногда для более интенсивного подвода тепла наращивают площадь поверхности греющих камер диффузионного аппарата на 300—500 мм с каждой стороны вверх.

При поддержании оптимального температурного режима активное время обессахаривания стружки должно составлять примерно $\frac{4}{5}$ общей продолжительности пребывания ее в аппарате.

Образование пробок, возникающих в средней части диффузионного аппарата, устраняется равномерной подачей воды и однородной по размеру стружки. Для этого при работе одного диффузионного аппарата устанавливается две свеклорезки, одна из которых (с набором хорошо заточенных ножей) снабжена автоматическим регулятором производительности, обеспечивающим ритмичную суммарную подачу.

Практикуемая на сахарных заводах подача в аппарат крупной стружки для ликвидации пробок неэкономична, так как приводит к повышенным потерям сахарозы с жомом.

Влияние различных факторов на процесс диффузии

На обессахаривание стружки существенное влияние оказывают качество свекловичной стружки и питающей воды (экстрагента), температура и рН среды, длительность диффузии, величина отбора сока, жизнедеятельность микроорганизмов и др.

Качество свекловичной стружки и питающей воды. Активная площадь поверхности диффузии тем больше, чем тоньше стружка. При этом укорачивается путь, который молекулы сахарозы должны пройти до выхода из тканей свеклы. Соответственно этому уменьшаются и потери сахарозы в обессахаренной стружке. Но тонкая стружка менее упруга и легче образует в диффузионном аппарате пробки, чем толстая. Она более чувствительна к воздействию высокой температуры, легче измельчается транспортирующими устройствами.

Форма и размер стружки характеризуют ее проницаемость для экстрагирующей жидкости. Особенно затрудняют движение воды кусочки стружки длиной меньше 1 см. Поэтому проницаемость стружки (P_p) в диффузионном аппарате оценивают по величине шведского фактора (Φ), с повышением которого, как видно из графика на рис. 36, проницаемость струж-

ки быстро увеличивается: при $\Phi=8\div 12$ стружка обладает довольно высокой проницаемостью, а при $\Phi=20$ проницаемость достигает предела.

При движении в аппарате и перемешивании стружка измельчается, и шведский фактор снижается от 10—12 на входе до 1—3 на выходе.

Для обессахаривания стружки применяется чистая горячая вода, не содержащая коллоидных веществ и соединений, не удаляемых при очистке сока известью. На диффузионный процесс отрицательно влияет высокая жесткость воды, которая характеризуется содержанием в ней растворенных солей кальция и магния. Для диффузии не применяется щелочная вода, например аммиачные конденсаты без подкисления, так как из-за повышенного растворения пектиновых веществ сахарной свеклы под действием щелочной среды снижается скорость отстаивания сока, увеличиваются объем фильтрационного осадка и масса коллоидных веществ, хуже прессуется жом.

Температура и pH среды. От температуры и продолжительности ее воздействия зависят полнота денатурации протоплазмы в стружке, скорость диффузии сахарозы, жизнедеятельность микроорганизмов, физическое состояние клеточных стенок свеклы. Денатурация протоплазмы происходит при температуре выше 60°C и зависит от продолжительности нагревания. Например, при 70°C полная денатурация белка в клетках паренхимной ткани происходит за 12 мин, а в клетках проводящей ткани — за 26 мин. Температура денатурации выше 80°C не применяется, так как перегретая стружка теряет упругость и слипается.

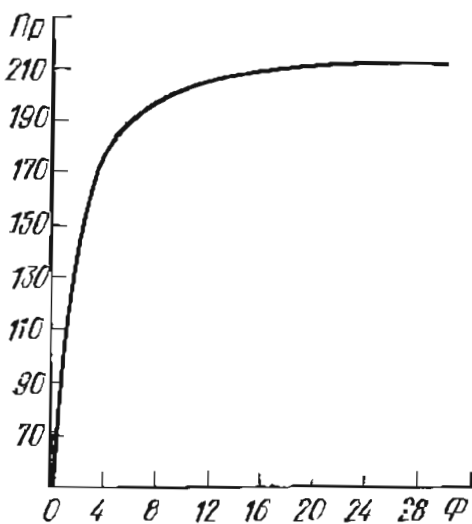


Рис. 36. Зависимость проницаемости стружки (1 кг сока за 30 мин) от шведского фактора

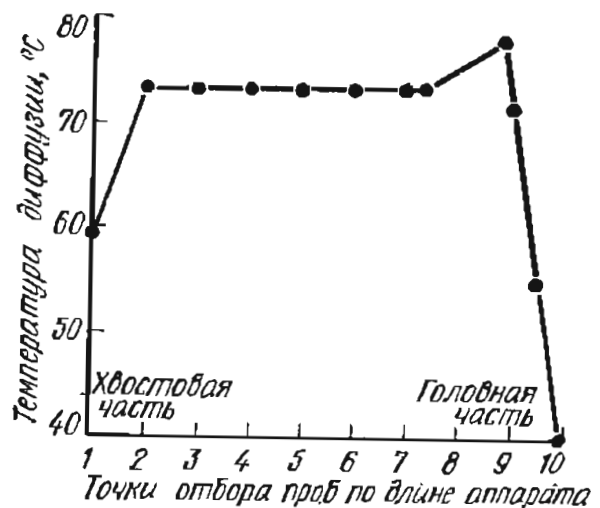


Рис. 37. Рекомендуемая температура сокостружечной смеси в диффузионном аппарате

В определенном интервале температура положительно влияет на диффузию сахарозы: с ростом температуры увеличивается коэффициент диффузии.

Величина коэффициента диффузии сахарозы зависит также и от физического состояния свекловичных тканей. В недоспелой свекле он на 15—20 % ниже, чем в спелой свежесобранной, а в замороженной и оттаявшей на 15—20 % выше.

При переработке спелой здоровой свеклы оптимальной температурой в активной части диффузионного аппарата следует считать 72—75 °С, а нагревание стружки до температуры денатурации надо проводить как можно быстрее, применяя предварительное ее ошпаривание. Примерный рекомендуемый температурный режим приведен на рис. 37. Нумерация точек отбора проб, характеризующих содержание сахарозы в жоме, начинается от хвостовой части аппарата (сторона, откуда выводится жом).

От температуры диффузионного процесса зависят потери сахара с жомом. При повышении средней температуры активной диффузии (от 68 до 73 °С) потери сахарозы в жоме снижаются на 0,1—0,4 % к массе свеклы.

В процессе диффузии важную роль играет рН сокоотружечной смеси.

рН — водородный показатель, т. е. величина, характеризующая концентрацию водородных ионов, численно равную отрицательному десятичному логарифму этой концентрации, выраженной в грамм-ионах на 1 л. Измеряется на рН-метре чаще всего при 20 °С.

Обычно, когда условия процесса близки к стерильным, в активной части аппарата самопроизвольно устанавливается рН 6,2—6,5, что соответствует рН свекловичного сока спелой здоровой свеклы. Но в хвостовой части рН питающей воды может существенно влиять на накопление пектиновых и других веществ в диффузионном соке. Поэтому, используя в качестве экстрагента аммиачные конденсаты или барометрическую воду, перед подачей в диффузионный аппарат их подкисляют до рН 5,5—6,0 и освобождают от нежелательных примесей.

Длительность диффузии. Увеличение длительности диффузии способствует более полному извлечению сахарозы из стружки, но количество извлекаемой сахарозы не прямо пропорционально этой длительности, так как со временем разность концентраций сахарозы в стружке и соке снижается и скорость диффузии уменьшается.

При длительном обессахаривании из стружки в диффузионный сок почти полностью переходят растворенные пектиновые вещества, стружка размягчается, теряет упругость и проницаемость, усиливается жизнедеятельность микроорганизмов, возрастают потери сахарозы. Поэтому с практической точки зрения чрезмерно увеличивать время контакта стружки с соком

нецелесообразно. В современных диффузионных установках достаточно полное обессахаривание стружки из хорошей свеклы достигается за 65—70 мин.

Величина отбора диффузионного сока. Отбор диффузионного сока, необходимый для достижения определенной степени обессахаривания свекловичной стружки, и необходимое для этого количество свежей воды существенно зависят от качества перерабатываемой свеклы, площади поверхности стружки, температуры и длительности диффузии и в меньшей степени от сахаристости свеклы. С увеличением расхода свежей воды снижаются потери сахарозы в жоме, но увеличивается расход топлива на выпаривание избыточной воды.

На практике отбор диффузионного сока поддерживают на уровне 120—130 % к массе свеклы, а потери сахарозы в жоме — 0,3—0,4 % к массе свеклы.

Масса отбираемого диффузионного сока на 100 кг свеклы определяется из уравнения баланса сахарозы

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Сахароза} \\ \text{в стружке} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Сахароза в диф-} \\ \text{фузионном соке} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Сахароза} \\ \text{в жоме} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Неучтенные} \\ \text{потери сахарозы} \end{array}}$$

Пример. Определить количество диффузионного сока (a , в % к массе свеклы), отбираемого при содержании сахарозы в стружке 16 %, в диффузионном соке 12 %, в жоме 0,4 %, неучтенные потери на диффузии составляют 0,2 % к массе свеклы и количество обессахаренной стружки, выходящей из диффузионного аппарата типа ПДС, равно 65 % к массе свеклы. По уравнению баланса сахарозы:

$$16 = \frac{a \cdot 12}{100} + \frac{65 \cdot 0,4}{100} + 0,2; \quad a = 129,5\%$$

Отбор диффузионного сока контролируется с помощью точных расходомеров и регулируется подачей питающей воды. Заданное соотношение воды и свекловичной стружки поддерживается автоматически.

Действие микроорганизмов. Свекловичная стружка и сок являются хорошей питательной средой для развития микроорганизмов, потребляющих в процессе обмена веществ сахарозу. Важным условием для их жизнедеятельности является соответствующая температура и время, необходимое для приспособления к условиям среды (адаптация). После этого микроорганизмы быстро размножаются. Потери сахарозы от действия микроорганизмов относятся к неучтенным.

При переработке здоровой свеклы и соблюдении оптимальной температуры, когда жизнедеятельность микроорганизмов подавлена, неучтенные потери сахарозы в диффузионной установке могут составлять 0,10—0,15 % к массе свеклы, в неблагоприятных условиях достигают 0,3—0,5 % и более. Обычно неучтенные потери сахарозы на диффузии составляют $\frac{1}{3}$ суммы неучтенных потерь по заводу.

Простым и эффективным способом оценки интенсивности жизнедеятельности микроорганизмов является контроль за кислотностью сока. Для этого по длине (высоте) диффузионного аппарата в 8—10 точках отбирают образцы сока, в них определяют рН и по полученным данным строят график. При стерильной работе диффузионной установки на графике будет кривая, не выходящая за пределы рН 6,1—6,3, с плавным подъемом в головной части аппарата (головной частью аппарата называется место, куда подается свежая стружка). Наличие мест резкого падения кривой свидетельствует о наибольшей активности микроорганизмов на этом участке.

По температурной кривой, полученной аналогично, определяют зону аппарата, где протекает активная диффузия. Температура активной диффузии выше 70 °С не обеспечивает полной стерильности процесса, так как в диффузионном соке сохраняются устойчивые формы бактерий — споры. При снижении температуры ниже 70 °С жизнедеятельность этих микроорганизмов возобновляется.

Для подавления микрофлоры в точку, расположенную на $\frac{1}{4}$ длины (высоты) диффузионного аппарата от места ввода свежей питающей воды, через каждые 2 ч подается 40 %-ый раствор технического формалина (10 л на 100 т свеклы или 0,010—0,015 % к массе свеклы). Для достижения стерильности установки достаточно в течение 1 ч при температуре 60—70 °С выдержать в аппарате 0,1 %-ую (в % по объему) концентрацию 40 %-ного формалина.

В диффузионном аппарате в результате деятельности микроорганизмов и наличия в соке сапонины образуются пены, которую подавляют введением 10 %-ной эмульсии, приготовленной из соапстока (антипенного вещества, являющегося отходом маргаринового производства) и хозяйственного мыла. На 1 т антипенной эмульсии расходуется 100 кг соапстока, 10 кг мыла и 890 кг воды. Эти компоненты перед употреблением смешивают и при температуре 80 °С в течение 15—20 мин интенсивно перемешивают. Расход эмульсии составляет около 0,01 % к массе свеклы или 1 кг соапстока на 100 т свеклы.

Прессование жома

Мякоть жома представляет собой сложную капиллярно-пористую массу. Клетки мякоти и межклеточные пространства заполнены водой с небольшим содержанием сахарозы и других растворимых веществ. Около $\frac{1}{5}$ воды в жоме прочно связано с мякотью. Это адсорбционная, гидратная и внутриклеточная вода, она не удаляется механически, остальная вода удаляется при отжатии на прессах.

Для снижения объема транспортных перевозок, расхода топлива на высушивание, сохранения питательных веществ выве-

дениый из диффузионного аппарата жом, предназначенный для скармливания скоту, подвергается прессованию до содержания в нем 12—14 % СВ, а предназначенный для высушивания прессуется до содержания 20—22 % СВ.

Для легкого прессования применяются наклонные шиловые прессы, а для среднего и глубокого — вертикальные шиловые прессы (рис. 38).

В вертикальный пресс, состоящий из приемной воронки 1, цилиндрического сита 6, контрлап 5 с отверстиями для входа пара и конического полого перфорированного шнека 7 сверху подается жом.

При продвижении сверху вниз вода отпрессовывается и отводится через цилиндрическое сито и перфорированную поверхность шнека в мезголовушку. Отпрессованный жом с помощью вращающихся лопастей 9 выводится наружу.

Степень прессования регулируется поднятием ситчатого конуса 8, изменяющего площадь основания для выхода жома.

Необходимыми условиями нормальной работы прессы являются поддержание температуры прессования не ниже 60 °С и оптимальное его заполнение. Эффективность прессования зависит также и от рН жома. Наилучшие результаты получаются при рН 5,5. С уменьшением кислотности вода из жома удаляется хуже и содержание сухих веществ в отпрессованном жоме снижается.

При прессовании свежего жома с жомопрессовой водой теряется часть сухих веществ. Ниже приведены нормы этих потерь в зависимости от глубины прессования.

Содержание сухих веществ в жоме, %	Потери сухих веществ при прессовании, % к их массе в свежем жоме
12	7,68
14	11,98
16	16,23
18	18,83
20	20,73
22	22,04
25	23,73

Жом обладает высокой кормовой ценностью. Например, 100 кг свежего жома с содержанием 15 % СВ эквивалентен 16 кормовым единицам и содержит 0,6 кг переваримого

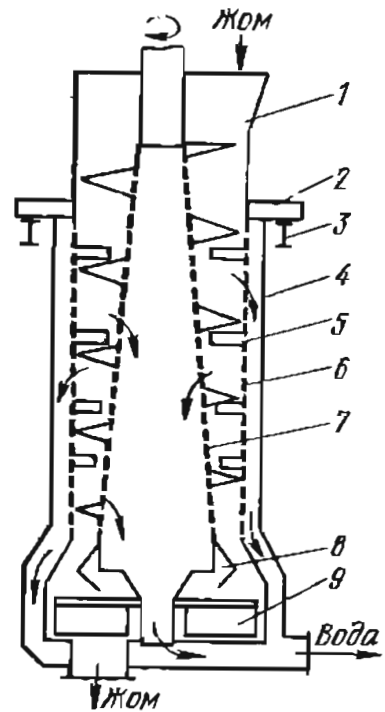


Рис. 38. Вертикальный шнековый пресс для отжатия жома:

1 — приемная воронка; 2 — опорная плита; 3 — опорные балки; 4 — корпус; 5 — контрлапы; 6 — цилиндрическое сито; 7 — конический полый шнек; 8 — ситчатый конус; 9 — вращающиеся лопасти.

белка (протеина), а 100 кг сушеного жома с содержанием 88 % СВ эквивалентен 90 кормовым единицам и содержит 4 кг переваримого белка (за 1 кормовую единицу принят 1 кг овса с содержанием 75 г переваримого белка).

Жом скармливается скоту свежим или кислым после хранения в жомохранилище. Однако в кислом жоме в результате биохимических и микробиологических процессов теряется 25—50 % сухих веществ (в том числе весь сахар и почти все пектиновые вещества), которые превращаются в молочную, уксусную, масляную и другие кислоты, и снижается усвояемость жома. Из 100 кг сухих веществ, содержащихся в свежем жоме, животными усваивается 70 кг, а из 100 кг сухих веществ кислого жома — 56 кг. Поэтому экономически выгодно высушивать свежий отпрессованный жом.

Выход прессованного жома ($V_{\text{пр. ж}}$, в % к массе свеклы) можно определить по формуле

$$V_{\text{пр. ж}} = CB_{\text{св. ж}} g_{\text{св. ж}} (100 - P_{\text{пр}}) / (100 CB_{\text{пр. ж}}), \quad (6)$$

где $CB_{\text{св. ж}}$, $CB_{\text{пр. ж}}$ — содержание сухих веществ соответственно в свежем жоме, выходящем из диффузионного аппарата, и в прессованном, % к массе СВ; $g_{\text{св. ж}}$ — выход свежего жома из диффузионного аппарата, % к массе свеклы; $P_{\text{пр}}$ — потери сухих веществ при прессовании, % к массе СВ в свежем жоме.

Масса жомопрессовой воды ($V_{\text{ж. в}}$, в % к массе свеклы) будет равна

$$V_{\text{ж. в}} = g_{\text{св. ж}} - V_{\text{пр. ж}}. \quad (7)$$

Сахароза, оставшаяся в свежем жоме после диффузии, практически полностью растворена в воде, поэтому для снижения ее потерь жомопрессовая вода очищается от примесей и возвращается в диффузионный аппарат вместо свежей питающей воды.

Например, если свежий жом прессовать до 20 % СВ, то по формуле (6) на 100 кг свеклы получится 22,2 кг прессованного жома:

$$V_{\text{пр. ж}} = [8 \cdot 70 \cdot (100 - 20,73)] / (100 \cdot 20) = 22,2,$$

где 8 — содержание сухих веществ в жоме, кг; 70 — выход жома из диффузионного аппарата на 100 кг свеклы, кг.

Количество жомопрессовой воды ($V_{\text{ж. в}}$, в кг) составит

$$V_{\text{ж. в}} = 70 - 22,2 = 47,8 \text{ кг.}$$

При наличии в 100 кг свеклы 5 кг мякоти масса полученной жомопрессовой воды составит $47,8 \cdot 100 / (70 - 5) = 73,5$ % от содержания воды в свежем жоме. Столько же процентов сахарозы из свежего жома перейдет в жомопрессовую воду и вместе с ней будет возвращено в диффузионный аппарат.

Так как часть питающей воды в диффузионном процессе расходуется на разбавление диффузионного сока и уходит с прессованным жомом, то недостаток ее восполняется свежей

водой. Потребность диффузионной установки в свежей воде определяется из уравнения баланса продуктов на 100 кг стружки.

$$\text{Свекловичная стружка} + W_1 + W_2 = \text{Диффузионный сок} + \text{Жом},$$

где W_1 и W_2 — масса соответственно свежей и жомопрессовой воды, кг.

Пример. Определить количество свежей воды для диффузии по приведенным выше данным и при отборе диффузионного сока 130 %.

$$100 + W_1 + 47,8 = 130 + 70; \quad W_1 = 52,2 \text{ кг.}$$

Подготовка воды для диффузионного процесса

Жомопрессовая вода содержит 1,5—2,0 % СВ (к массе воды), в том числе сахарозу, коллоидные вещества, взвеси и др. Перед возвращением в диффузионный аппарат ее очищают и стерилизуют. При высоком содержании примесей рекомендуется применять очистку с добавлением сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$, в присутствии которого коллоидные частицы легко осаждаются.

В качестве свежей воды чаще всего применяют аммиачные конденсаты (конденсат вторичного пара), сульфитированные до рН 5,5—6,0, из которых следует удалять аммиак, отрицательно влияющий на процесс диффузии и качество сока. Если аммиачные конденсаты при температуре 80—85 °С обработать известковым молоком до рН 11,0—11,5 и пропустить через них в течение 12—15 мин диспергированный воздух, то аммиак удаляется довольно полно.

Высушивание жома

Жом сушат горячими дымовыми газами при температуре 800—850 °С в жомосушильных аппаратах.

В жомосушильный аппарат (рис. 39), представляющий собой горизонтальный барабан 1, вращающийся вокруг своей оси и снабженный индивидуальной топкой, поступают жом и горячие дымовые газы. Пересыпаясь при вращении барабана с помощью крестообразных насадок 3, жом передвигается к противоположному концу, высушивается и высыпается в неподвижную выгрузочную камеру 2. Отработавший газ температурой 130—140 °С отсасывается вентилятором, освобождается от пыли в циклоне и удаляется в атмосферу. При сушке жома с добавлением мелассы температура дымовых газов снижается до 600—650 °С. Прямоточное движение жома и газов исключает воспламенение сушеного жома.

Выход сушеного жома ($V_{с.ж}$, в % к массе свеклы) определяют по формуле

$$V_{с.ж} = [g_{св.ж} C_{св.ж} (100 - P_{пр} - P_{суш})] / (100 C_{св.ж}), \quad (8)$$

где $g_{св.ж}$ — выход свежего жома, % к массе свеклы; $P_{пр}$ — потери СВ жома при прессовании, % к массе СВ в свежем жоме; $P_{суш}$ — потери СВ

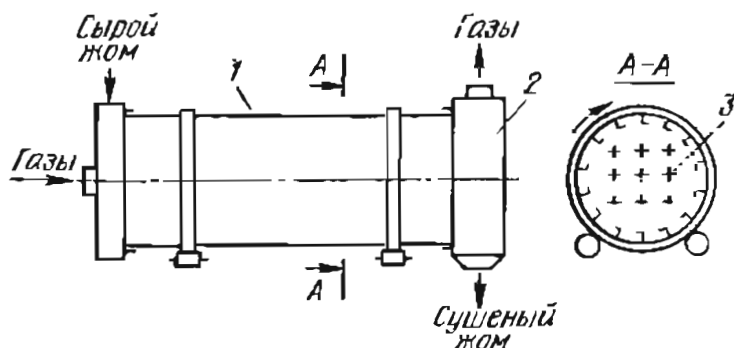


Рис. 39. Жомосушительный аппарат

жоме при высушивании, приняты равными 3 % к массе сухих веществ в жоме; $СВ_{с. ж}$ — содержание сухих веществ в сушеном жоме, принято равным 86 %.

В среднем выход сушеного жома составляет 4,5—5,0 % к массе свеклы.

Плотность сушеного насыпного жома $0,25 \text{ т/м}^3$, он занимает много места. Для уменьшения его объема и улучшения условий хранения сушеный жом гранулируют (брикетируют) прессованием, плотность гранул (насыпью) повышается до $0,60—0,65 \text{ т/м}^3$.

Чтобы повысить кормовые достоинства сушеного жома перед гранулированием, в него добавляют мелассу, обесфторенные фосфаты, карбамид, микроэлементы. Обогащение сушеного жома добавками необходимо потому, что в нем содержится почти в 2 раза меньше протеина и некоторых других компонентов по сравнению с полиоцеиным кормом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте принципиальную технологическую схему переработки свеклы и получения диффузионного сока.
2. Какие Вы знаете типы свеклорезок?
3. По каким показателям оценивается качество свекловичной стружки?
4. Какова аппаратурно-технологическая схема получения диффузионного сока в колонном диффузионном аппарате?
5. Охарактеризуйте режим работы установки КДА.
6. Как получают диффузионный сок в наклонном шнековом диффузионном аппарате? Каков его режим работы?
7. Какие недостатки имеются в работе наклонных диффузионных установок и как их можно устранить?
8. Как влияют температура, pH, длительность процесса, качество стружки на диффузионный процесс?
9. Какова роль микроорганизмов в диффузионном процессе?
10. Как подавляется микрофлора в диффузионном процессе?
11. В чем заключается предварительная подготовка воды для питания диффузионной установки?
12. Какова цель прессования обессахаренной стружки? Укажите содержание сухих веществ в жоме до прессования и после прессования.
13. Как определить потребность свежей воды на диффузию?

Глава 5

ОЧИСТКА ДИФфуЗИОННОГО СОКА

ЦЕЛЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ДИФфуЗИОННОГО СОКА

В диффузионный сок из сахарной свеклы переходит почти вся сахароза и около 80 % растворимых несахаров. В присутствии большого количества несахаров сахароза кристаллизуется медленно, и содержание ее в мела́ссе резко увеличивается. Это обусловлено тем, что одна часть несахаров при кристаллизации способна удерживать в растворе 1,3—1,5 части сахарозы.

Для получения высокого выхода товарного сахара диффузионный сок подвергается очистке с целью удаления из него возможно большего количества несахаров и доведения его до слабощелочной реакции.

Известно много способов очистки диффузионного сока, но в производстве применяется только один — обработка диффузионного сока известью (дефекация) с последующим удалением избытка извести диоксидом углерода (сатурация). При простоте этих технологических операций и дешевизне реагентов этот способ обеспечивает достаточно высокий эффект очистки диффузионного сока, а сахароза при этом почти не разлагается.

Схема очистки диффузионного сока состоит из следующих основных операций: предварительная дефекация (преддефекация); основная дефекация; I сатурация; II сатурация; сульфитация.

На рис. 40 приведена широко применяемая в производстве аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с горячей оптимальной предварительной дефекацией. По этой схеме диффузионный сок нагревается в трубчатых подогревателях 1 до 85—90 °С и подается в преддефекатор 2, куда добавляется 100—150 % (к массе свеклы) нефильтрованного сока I сатурации и 15—30 % (к массе свеклы) дефекованного сока. При этом рН диффузионного сока повышается от 5,5—6,5 до 10,8—11,5, и под действием извести происходят нейтрализация кислот, коагуляция макромолекул веществ в коллоидном состоянии и осаждение органических кислот в виде солей кальция.

Преддефекованный сок поступает в дефекатор 3 на основную дефекацию, куда добавляется 12—15 % (к массе свеклы) известкового молока (2,5—3,0 % СаО), рН сока при этом повышается до 12,2—12,3 (щелочность 1,0—1,8 % СаО), ряд несахаров разлагается, продолжают реакции осаждения солей кальция некоторых органических кислот.

Из дефекатора 3 сок поступает в аппарат 4 на I сатурацию газом, содержащим диоксид углерода. При обработке диокси-

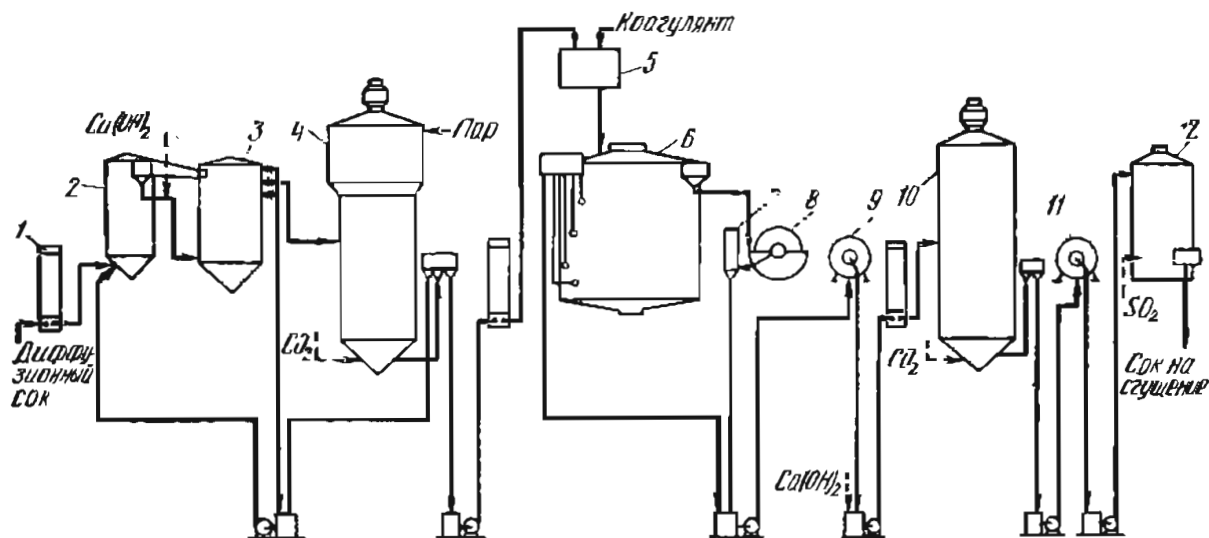


Рис. 40. Аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с горячей оптимальной преддефекацией

дом углерода рН сока снижается до 10,8—11,5 (щелочность 0,08—0,11 % СаО), а на поверхности образующихся кристаллов карбоната кальция адсорбируются несахара. На I сатурации не вся свободная известь связывается диоксидом углерода, часть ее остается в соке, чтобы не допустить растворения осаждаемых на преддефекации несахаров.

Отсатурированный сок нагревается до 85—90 °С и подается в напорный сборник-смеситель 5, куда при необходимости добавляется раствор коагулянта. Из этого сборника сок идет в отстойник 6 (или в фильтры-сгустители) и разделяется на осветленную фракцию (в количестве 75—85 %) и сгущенную суспензию (в количестве 15—25 %).

Сгущенная суспензия сока I сатурации направляется в сборник, а затем в вакуум-фильтр 8. Осадок на фильтре промывается горячим конденсатом и выводится в отходы, а отфильтрованный сок и концентрированные промывные воды отводятся через вакуум-сборник 7, смешиваются с осветленной фракцией сока из отстойника 6 и подаются на контрольные фильтры 9. Разбавленные промывные воды с вакуум-фильтров идут на приготовление известкового молока.

После фильтров 9 фильтрат нагревается до 90—95 °С и направляется на II сатурацию, а фильтрационный осадок смывается фильтрованным соком I сатурации и возвращается в сборник сгущенной суспензии перед вакуум-фильтрами 8.

II сатурация проводится в аппарате 10. Для увеличения адсорбционной поверхности в сок перед II сатурацией добавляют известковое молоко в количестве, эквивалентном 0,25 % СаО к массе свеклы.

Сок II сатурации с рН 9,2—9,3 (щелочность 0,015—0,020 % СаО) пропускают через фильтры 11, обрабатывают диоксидом серы (SO₂) в сульфитаторе 12 до рН 8,5—9,0 (щелочность

0,005—0,01 % CaO) и направляют в выпарную установку на сгущение. Фильтрационный осадок из фильтра 11 смывается фильтрованным соком II сатурации и возвращается в сборник суспензии перед вакуум-фильтрами 8.

Часть отфильтрованного сока II сатурации (около 4,5 % к массе свеклы) расходуется на приготовление сиропа из желтого сахара. Такой сироп называется клеровкой.

Схема очистки диффузионного сока с горячей оптимальной преддефекацией (объяснение понятия см. с. 89) дает хорошие результаты при переработке спелой здоровой свеклы с низким содержанием зеленой массы и других примесей. Когда на завод поступает неспелая, подгнившая или подмороженная свекла с высоким содержанием примесей, очистка диффузионного сока из нее по этой схеме малоэффективна.

С 1978 г. в производство внедряется аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с холодной прогрессивной преддефекацией (постепенное увеличение pH сока) и комбинированной холодно-горячей основной дефекацией (рис. 41).

По этой схеме диффузионный сок без подогрева подается в I секцию преддефекатора I прогрессивного действия (см. стр. 93). В последнюю VI секцию вводится известковое молоко в количестве, обеспечивающем выход сока из него с pH 10,8—11,5. На участке предварительной дефекации, где pH сока достигает 8,5—9,5, вводится весь сатурационный осадок сока II сатурации или 20—30 % сгущенной суспензии сока I сатурации из фильтров-сгустителей. Количество вводимой суспензии зависит от содержания макромолекул и веществ в коллоидном состоянии в диффузионном соке.

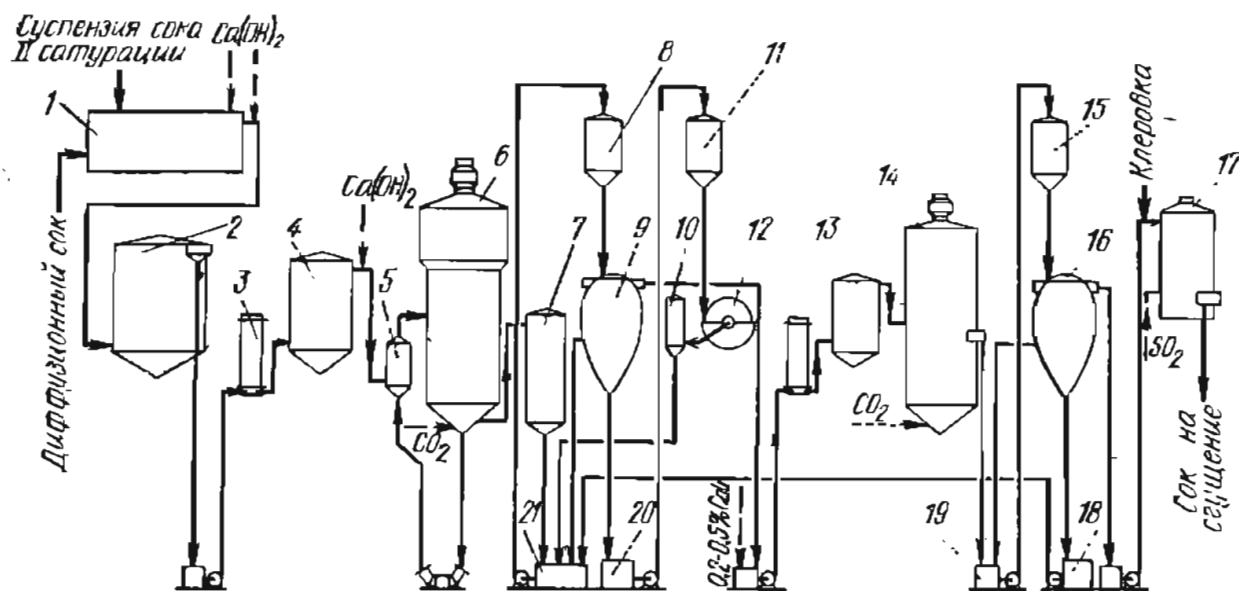


Рис. 41. Типовая аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с холодной прогрессивной преддефекацией и комбинированной холодно-горячей основной дефекацией

Преддефекованный сок немного нагревается небольшим количеством возвращенной сгущенной суспензии и известковым молоком. Если температура этого сока ниже 50 °С, то преддефекация называется холодной, если лежит в интервале 50—60 °С — теплой. Длительность холодной преддефекации 20—30 мин, теплой — 15 мин.

Из преддефекатора сок без подогрева поступает на первую ступень основной дефекации в аппарат 2, где смешивается с известковым молоком (1,0—1,8 % СаО к массе свеклы). Оптимальная длительность холодной дефекации 30 мин, теплой 15 мин. После этого сок нагревается в подогревателе 3 до 85—90 °С и подается в дефекатор 4 на вторую ступень основной дефекации длительностью 10 мин. В переливную коробку дефекатора добавляется известковое молоко (0,5—0,7 % СаО к массе свеклы), предназначенное для повышения фильтрационных свойств осадка сока I сатурации. Из дефекатора 4 сок поступает в циркуляционный сборник 5, где смешивается с 5—7-кратным количеством рециркулирующего сока I сатурации, подвергается в аппарате 6 I сатурации в течение 10 мин, самотеком выливается в сборник 7 и подается в напорный сборник 8, расположенный перед листовыми фильтрами 9.

Вход нефильтованного сока в сборник 7 должен быть свободным, чтобы не нарушался режим работы на I сатурации. Вместимость сборника должна быть равна полной вместимости одного фильтра 9.

Сок I сатурации фильтруется при рабочем давлении около 0,07 МПа, т. е. уровень сока в сборнике 8 на 6,5—7,0 м выше уровня слива фильтрата из фильтра 9. При частичном опорожнении фильтра 9 сок сливается в сборник 21 и возвращается в напорный сборник 8. Сгущенная суспензия из фильтров 9 через мешалку 20 и напорный сборник 11 подается в вакуум-фильтры 12. Часть суспензии из сборника 11 возвращается на преддефекацию. Фильтрат и концентрированные промывные воды отводятся из вакуум-фильтров через вакуум-сборник 10 в сборник 8, а разбавленные используются на приготовление известкового молока. Фильтрационный осадок идет в отходы.

Фильтрованный сок I сатурации, нагретый до 90—95 °С, подается насосом в дефекатор 13 на дефекацию перед II сатурацией. Во всасывающий трубопровод насоса вводится известковое молоко (0,2—0,4 % СаО к массе свеклы). Длительность дефекации 5 мин.

Из дефекатора 13 сок самотеком поступает в аппарат 14 на II сатурацию, обрабатывается там в течение 10 мин диоксидом углерода до оптимальной щелочности 0,015—0,020 % СаО (рН 9,2—9,5) и насосом перекачивается в напорный сборник 15, расположенный над листовыми фильтрами 16 на высоте, обеспечивающей рабочий напор около 0,07 МПа.

После фильтров 16 сок II сатурации сульфитируется диоксидом серы (SO_2) в сульфитаторе 17 до pH 8,5—9,0 (щелочность 0,005—0,010 % CaO) и направляется на сгущение в выпарную установку.

Сгущенная суспензия из фильтров 16 спускается в мешалку 18 и оттуда перекачивается в сборник 21 с последующим фильтрованием в фильтрах 9, а при частичном опорожнении фильтра 16 сок через сборник 19 возвращается в напорный сборник 15.

Преимущества этой схемы перед схемой очистки диффузионного сока с горячей оптимальной преддефекацией состоят в том, что холодная или теплая преддефекация дает возможность избежать местного перещелачивания сока, осадить больше высокомолекулярных веществ и веществ в коллоидном состоянии и получать плотный коагулят. При возврате сгущенной суспензии сока I сатурации (вместо нефильтрованного сока I сатурации) в несколько раз сокращается рециркуляция больших масс сока, что положительно влияет на его термостойчивость и качество.

В процессе холодной или теплой предварительной и основной дефекации в соке растворяется в 3—4 раза больше извести, чем при горячей. А когда сок нагревается перед второй ступенью основной дефекации, то почти вся растворенная известь остается в пересыщенном растворе, что обеспечивает прохождение более глубоких процессов разложения несахаров.

Многokратная рециркуляция сока I сатурации по внешнему контуру и дополнительное введение извести (перед I сатурацией) улучшают его фильтрацию и ускоряют осаждение солей и взвесей, а 5-минутная дефекация сока перед II сатурацией дает возможность разложить несахара, оставшиеся после первой и второй ступеней основной дефекации, и удалить их с осадком сока II сатурации.

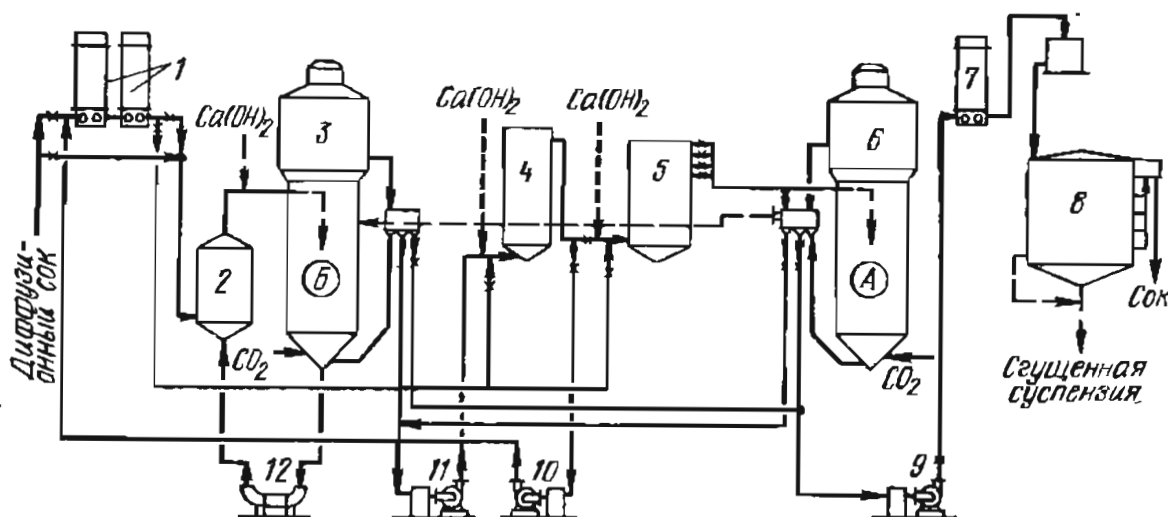


Рис. 42. Универсальная схема очистки диффузионного сока

Для переработки свеклы различного качества во ВНИИСПе разработана универсальная схема очистки диффузионного сока, обобщающая опыт работы отечественных и зарубежных сахарных заводов (рис. 42).

Эта схема внедрена на некоторых предприятиях. В схеме предусмотрена возможность очистки диффузионного сока по 5 вариантам.

Первый вариант — очистка диффузионного сока по схеме с горячей оптимальной преддефекацией и одноступенчатой I сатурацией. По этому варианту преддефекация проводится в течение 4 мин в преддефекаторе 4 дефекованным соком с возвратом нефильтрованного сока I сатурации. Продолжительность основной дефекации в аппарате 5 составляет 5—20 мин. Затем сок сатируется в аппарате 6 и насосом 9 через подогреватель 7 подается в отстойник 8.

Используя цифровое обозначение аппаратов на схеме, приведенной на рис. 42, последовательность операций по очистке диффузионного сока (Д. с.) по первому варианту можно представить как Д. с.—1—4—5—6—9—7—8.

Второй вариант — очистка сока по схеме с двухступенчатой I сатурацией в сатураторах А(6) и Б(3) (см. рис. 42). Последовательность технологических операций можно представить как Д. с.—1—4—5—6—3—9—7—8.

После предварительной и основной дефекации сок сатируется в сатураторе А до рН 9,0—9,5 и поступает в сатуратор Б самотеком (показано пунктиром), где в него добавляется известковое молоко, и сатурация продолжается до оптимального значения рН (10,8—11,5). На предварительную дефекацию можно возвращать недосатурованный сок из сатуратора А или нормально отсатурированный сок из сатуратора Б.

Третий вариант — очистка сока по схеме Дорра с использованием горячей предварительной дефеко-сатурации без основной дефекации: Д. с.—1—2—3—9—7—8.

По этому варианту в работе находится один сатуратор с внешним циркуляционным контуром. Нагретый в подогревателях 1 диффузионный сок, минуя остальные аппараты, поступает в сборник-смеситель 2, где смешивается с 5—7-кратным количеством сока, отбираемого из дефеко-сатуратора 3 насосом 12. Перед дефеко-сатуратором в сок добавляется известковое молоко, и дефеко-сатурация проводится до рН ~ 11,0. Из дефеко-сатуратора сок через подогреватель 7 поступает в отстойник 8.

Очищенный по этому варианту сок хорошо фильтруется и быстро отстаивается, поэтому схема Дорра часто применяется при переработке свеклы низкого качества, когда очистка сока по первому и второму вариантам не может обеспечить нормальной работы фильтрационного оборудования или когда на завод поступает свекла высокого качества с низким содержанием редуцирующих веществ и растворимого азота и ее надо быстро переработать.

Из-за отсутствия дефекации сок, очищаемый по схеме Дорра, не обладает термостойкостью и имеет высокую цветность.

Четвертый вариант — очистка сока с горячей предварительной дефеко-сатурацией и основной дефекацией без возврата сока I сатурации на преддефекацию: Д. с.—1—2—3—11—4—5—6—9—7—8.

Схема представляет собой комбинацию предварительной дефеко-сатурации сока при рН 9,0—9,5 и обычной очистки, состоящей из дефекации и сатурации. По этому варианту нагретый диффузионный сок смешивается в сборнике-смесителе 2 с 5—7-кратным количеством рециркулируемого сока, перед дефеко-сатуратором 3 в него добавляется известковое молоко и сок сатируется до рН 9,0—9,5. Затем сок насосом 11 подается в преддефекатор 4, и далее процесс идет по первому варианту.

5—7-кратная рециркуляция сока, осуществляемая с помощью насоса 12, обеспечивает стабилизацию частиц осадка и предотвращает пенообразование.

Дефекосатурация при низком рН является эффективным средством повышения фильтрационной и седиментационной способности сока I сатурации.

Таким образом, при работе по четвертому варианту дефекосатуратор 3 выполняет роль преддефекатора, а преддефекатор 4 становится дефекатором. Следовательно, основная дефекация будет более длительной, так как осуществляется она последовательно в двух аппаратах. За счет увеличения продолжительности основной дефекации и исключения возврата сока I сатурации на преддефекацию полнее протекают реакции разложения редуцирующих веществ и амидов, что обеспечивает нормальную термоустойчивость и цветность сока.

Таким образом, технологические показатели сока I сатурации, полученного по варианту с горячей преддефекосатурацией, значительно лучше, чем сока, очищенного по первому варианту без преддефекосатурации.

Пятый вариант — очистка по способу ВНИИСПа с холодной преддефекосатурацией и комбинированной холодно-горячей дефекацией: Д. с.— 2—3—11—4—10—1—5—6—9—7—8.

По этому варианту холодный диффузионный сок смешивается в сборнике-смесителе 2 с рециркулируемым соком. Перед входом в дефекосатуратор 3 к нему добавляется известковое молоко и сок сатурруется до оптимального рН (10,8—11,5). Затем сок в течение 5—10 мин подвергается холодной дефекации в аппарате 4, куда добавляется остальное количество известкового молока, предназначенного для очистки. При этом в соке растворяется в 2—3 раза больше оксида кальция (СаО), чем при горячей дефекации. Из дефекатора 4 сок насосом 10 подается через подогреватели 1 в дефекатор 5, где выдерживается 10—15 мин при температуре 85—90 °С. При нагревании сока почти вся растворенная известь остается в пересыщенном растворе, обеспечивая более глубокие процессы разложения несугаров. Далее следует I сатурация до оптимального рН.

В результате комбинированной дефекации, способствующей большей растворимости извести, происходит максимально возможное разложение редуцирующих веществ и амидов, сок обладает большей термоустойчивостью и меньшей цветностью, а холодная преддефекосатурация обеспечивает хорошее отделение фильтрационного осадка.

Для осуществления процесса преддефекосатурации в обычном сатураторе убирают горизонтальные решетки, которые способствуют образованию в верхнем слое сока зоны с повышенной щелочностью, а сатурационный газ распределяется по сечению аппарата через барботер. Обязательным условием внедрения преддефекосатурации является автоматизация процесса.

ДЕФЕКАЦИЯ ДИФфуЗИОННОГО СОКА

Растворимость извести в сахарных растворах

Для очистки диффузионного сока от примесей наиболее важное значение имеет растворимость извести. Чем больше извести растворяется в соке, тем выше активная щелочность и быстрее протекают химические реакции.

В табл. 5 показана растворимость извести (в виде известкового молока) в воде и в сахарных растворах при разных температурах. Известь в воде растворяется плохо. Повышение температуры отрицательно влияет на ее растворимость. Большая растворимость извести в сахарных растворах обусловлена образованием сахараата кальция (полусахарата), в котором на один ион двухвалентного кальция приходится два остатка молекул сахарозы:

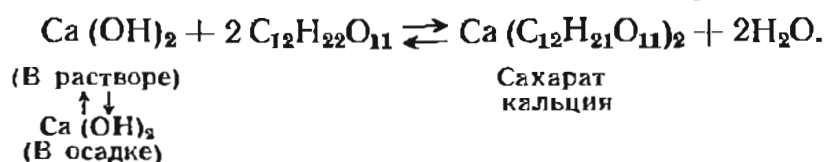


Таблица 5

Содержание сахарозы в растворе, %	Растворимость извести (СаО, %) в воде и сахарных растворах при температуре, °С								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,130	0,124	0,114	0,107	0,097	0,088	0,076	0,068	0,067
5	0,642	0,508	0,389	0,268	0,207	0,172	0,131	0,109	0,092
10	1,455	1,163	0,925	0,725	0,528	0,376	0,272	0,185	0,110
15	2,310	2,632	1,923	1,440	1,052	0,723	0,516	0,300	0,164
20	4,450	3,581	2,917	2,258	1,680	1,174	0,728	0,523	0,360

В образовании сахара кальция участвует лишь часть растворенной сахарозы. Если бы вся сахароза вступила в эту реакцию, то при ее молекулярной массе 342 и эквивалентной массе оксида кальция 28 (молекулярная масса СаО, деленная пополам), например, в 10 %-иом растворе сахарозы при 80 °С растворилось бы $(10 \cdot 28) : 342 = 0,82$ % СаО. В действительности в этих условиях растворяется только 0,185 % СаО (см. табл. 5).

Реакция образования сахара кальция идет неполно, так как является обратной: сахарат кальция легко гидролизуется (присоединяет воду) и вновь дает гидроксид кальция $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ и сахарозу. Поэтому в сахарном растворе всегда находится смесь гидроксида кальция, сахарозы, сахара и воды. Количество каждого из них зависит от соотношения действующих масс и температуры. С повышением температуры гидролиз сахара кальция увеличивается, образуется Са(ОН)₂, в результате чего избыток его выпадает в осадок. Аналогичный процесс протекает и при уменьшении концентрации сахарозы в растворе.

Следовательно, в рассматриваемой системе существует подвижное равновесие между гидроксидом кальция в осадке и в растворе, а также между сахаратом кальция и продуктами его гидролиза — сахарозой и Са(ОН)₂.

Пример. Содержание сахарозы 10 %, температура 80 °С. Вычислить количественное соотношение извести и сахарозы в свободном состоянии и связанном (с сахаратом кальция).

В чистой воде при 80 °С растворено 0,068 % СаО. В насыщенном известью 10 %-иом сахарном растворе в свободном состоянии ее будет столько же, но в общем растворяется 0,185 % СаО.

Следовательно, можно считать, что в растворе в виде сахара кальция находится $0,185 - 0,068 = 0,117$ % извести, которая удерживает $(0,117 \times 342) / 28 = 1,43$ % сахарозы. Тогда не связанной в сахара свободной сахарозы в растворе будет $10 - 1,43 = 8,570$ %.

На дефекации активно действует только свободная, не связанная в сахара известь. Поэтому в растворах различают активную и суммарную щелочность. Активная щелочность характеризуется наличием в растворе свободной извести, т. е. тем количеством, которое растворено в чистой воде. Суммарная щелочность характеризуется суммой свободной извести и извести в виде сахаратов.

Обычно в насыщенных известью растворах независимо от содержания сахарозы рН остается неизменным (12,2—12,3 при 20 °С).

Растворимость извести зависит также от того, в какой форме она растворяется: в виде оксида кальция, гидроксида кальция или известкового молока.

Негашеная известь (СаО), получающаяся при обжиге известняка, имеет губчатую структуру, высокодисперсна и поэтому обладает большей растворимостью по сравнению с другими формами. В известковом молоке содержатся более крупные частицы, а частицы гидроксида кальция занимают среднее положение. Следовательно, с увеличением размера частиц осадка растворимость извести уменьшается.

Максимальная растворимость извести наблюдается в первые 5—10 мин смешивания ее с водой. При более длительном перемешивании смеси происходит перекристаллизация извести (мелкие кристаллы растворяются, а крупные растут за их счет), частицы ее укрупняются и растворимость падает. Но этот процесс протекает довольно медленно.

Если растворять известь при температуре, например, 40 °С и затем нагревать раствор до 80 °С, то извести в нем будет растворено больше, чем при растворении ее в растворе, предварительно нагретом до 80 °С. Это связано с тем, что при нагревании известкового раствора от 40 до 80 °С, хотя растворимость извести и снижается, но избыток ее выпадает в осадок только частично, т. е. образуется пересыщенный раствор.

Поэтому при горячей основной дефекации, когда известковое молоко добавляется к диффузионному соку при 85—90 °С, в растворе удерживается 0,20—0,25 % СаО. А при холодной-горячей дефекации, когда известковое молоко добавляется к соку при 40—45 °С, а затем сок нагревается до 85—90 °С, содержание растворенной извести больше в 2—3 раза.

Предварительная дефекация

Цель предварительной дефекации. Уже при добавлении к диффузионному соку небольшого количества извести проявляется коагулирующее действие ее на такие несакара, как коллоидные вещества и высокомолекулярные соединения. С увеличением щелочности образующийся осадок становится плотнее, а сок прозрачнее. Максимум коагуляции (от латинского *coagulatio* — свертывание) наблюдается в интервале оптимального рН 10,8—11,5 (рис. 43).

При увеличении рН больше оптимального значения происходит частичная пептизация осадка, т. е. переход осадка в раствор, кривая коагуляции опускается вниз.

Поэтому, чтобы наиболее полно осадить коллоидные вещества и не допустить пептизации осадка при последующем нарастании щелочности диффузионного сока, процесс дефекации делится на две стадии. На первой стадии к слабокислому соку добавляется 0,15—0,35 % СаО (к массе свеклы), рН постепенно повышается и значительная часть коллоидных веществ коагулирует (это преддефекация). На второй стадии в преддефекованный сок вводится 2,5—2,8 % СаО (к массе свеклы), рН повышается до 12,2—12,3 и под действием высокой щелочности происходит разложение ряда несакаров (это основная дефекация).

Различают два основных способа преддефекации — оптимальную и прогрессиивую. Обработка диффузионного сока известью в один прием, когда вся масса извести, необходимая для достижения оптимального значения рН, вводится в сок сразу, называется

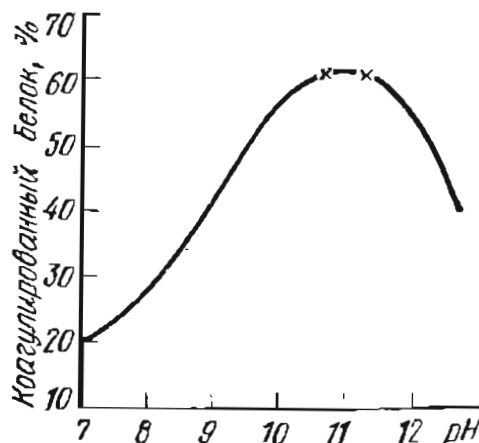


Рис. 43. Коагуляция белковых веществ в зависимости от рН

оптимальной преддефекацией. Постепенное и равномерное (прогрессивное) добавление извести в диффузионный сок в течение 20—40 мин, когда рН плавно повышается до определенного значения, называется прогрессивной преддефекацией.

На сахарных заводах осуществляется как холодная, так и горячая преддефекация. Во время холодной преддефекации диффузионный сок без подогрева смешивается с известью, а при горячей преддефекации сок сначала нагревается до 85—90 °С и потом к нему добавляют известь.

Химические реакции. Коагуляция и осаждение коллоидных веществ. Эти реакции происходят в основном под действием ионов кальция, образующихся при диссоциации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Коллоидные вещества имеют две оптимальные зоны коагуляции: в кислой среде при рН 3—4, в щелочной — при рН 10,8—11,5. В кислой среде они коагулируют в изоэлектрической точке в результате нейтрализации электрического заряда. При этом нейтрально заряженные коллоидные частицы теряют устойчивость и соединяются в крупные агрегаты. В щелочной среде в присутствии извести у коллоидных частиц изоэлектрической точки нет, а коагулируют они в результате образования с кальцием нерастворимых соединений.

В зависимости от состава несугаров диффузионного сока, температуры и продолжительности процесса зона оптимальной коагуляции коллоидных и высокомолекулярных веществ растянута в интервале рН 10,8—11,5 и более. Поэтому преддефекация диффузионного сока проводится при малом количестве извести, а не при избытке ее, когда плавного нарастания щелочности не происходит.

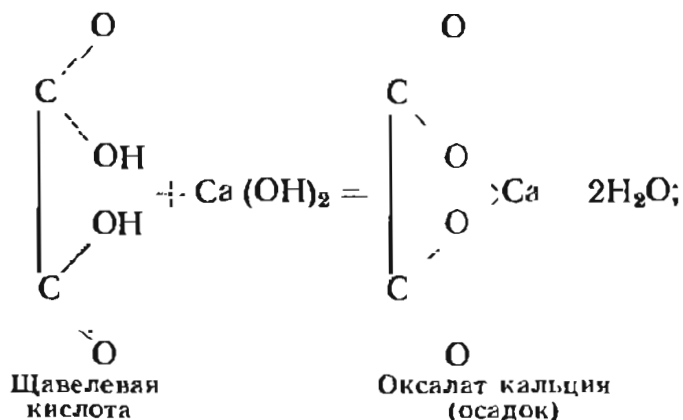
Оптimum коагуляции несугаров определяют в лаборатории завода по скорости осаждения коагулята в диффузионном соке при медленном добавлении извести. Значение рН, при котором установлена максимальная скорость осаждения коагулята, считается оптимальным.

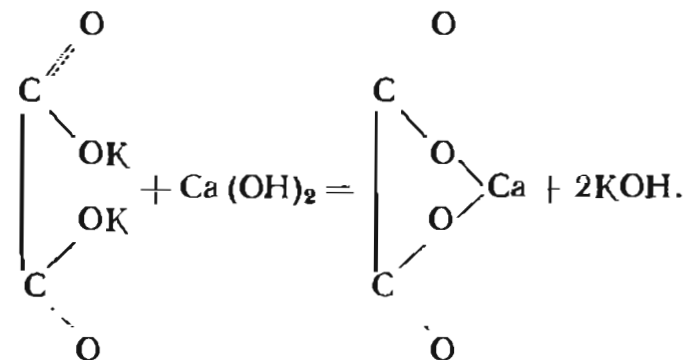
Быстро отстаивающийся преддефекованный сок содержит крупные, плотные частицы осадка, которые легко отделяются при фильтровании.

Всего во время хорошо проведенной преддефекации в осадок переходит около $\frac{1}{3}$ коллоидных и высокомолекулярных веществ.

Нейтрализация кислот и осаждение кристаллоидов. Ионы кальция, вступая в контакт с анионами некоторых кислот, образуют слабо растворимые, выпадающие в осадок соли кальция. Кальцием осаждаются анионы щавелевой, уксусной, лимонной, оксалимонной, яблочной и винной кислот. Другие безазотистые органические кислоты, а также аминокислоты и бетаин известью не осаждаются. Из минеральных кислот почти полностью выпадают в осадок анионы фосфорной и частично серной кислот.

Кислоты, реагирующие с ионами кальция, находятся в диффузионном соке как в свободном состоянии, так и в виде солей калия, натрия и др. Например, реакции нейтрализации и осаждения щавелевой кислоты и ее калиевой соли протекают следующим образом:



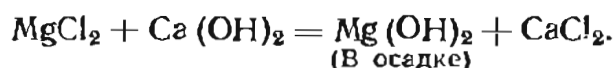
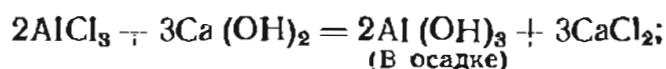


Реакция со свободной щавелевой кислотой называется реакцией нейтрализации. В ней кроме иона кальция участвуют и гидроксильные ионы, которые, связывая водородные ионы щавелевой кислоты, образуют воду.

Реакция с калиевой солью щавелевой кислоты — это реакция осаждения. В результате этой реакции в соке после преддефекации вместо Ca(OH)_2 появляется KOH в количестве, эквивалентном концентрации анионов, дающих осадок с кальцием, т. е. образование свободной щелочи (KOH) возможно только в том случае, когда анион кислоты образует с катионом кальция нерастворимую соль. Чем выше доля осаждаемых на преддефекации анионов к общему содержанию их в диффузионном соке, тем больше будет образовываться на сатурации карбонатов щелочных металлов (K_2CO_3 , Na_2CO_3), характеризующих натуральную щелочность сока.

Реакции осаждения анионов кислот не успевают полностью завершиться на преддефекации и продолжают на основной дефекации.

Кроме ионов кальция осаждающим действием обладают и гидроксильные ионы, вызывающие осаждение из диффузионного сока солей магния, алюминия, железа. Например:



Проведение оптимальной преддефекации. Оптимальная преддефекация осуществляется при $85\text{--}90^\circ\text{C}$ нормально отсатурированным нефильтрованным соком I сатурации в количестве $100\text{--}150\%$ к массе свеклы и дефекованным соком в количестве $15\text{--}30\%$ к массе свеклы. После смешивания соков в соотношении, определенном заранее заводской лабораторией, достигается оптимальное значение pH.

При возврате нефильтрованного сока I сатурации в диффузионный сок вводятся положительно заряженные частицы CaCO_3 , которые служат центрами коагуляции для отрицательно заряженных органических несахаров (белков, пектиновых и коллоидных веществ). В дальнейшем в процессе сатурации на образовавшихся конгломератах кристаллизуется CaCO_3 , и таким образом органические несахара оказываются внутри кристаллов карбоната кальция, что улучшает фильтрационные свойства осадка.

Чем больше возвращается сока I сатурации на преддефекацию, тем больше образуется крупных и быстрооседающих ча-

стиц. Но возврат большой массы сока I сатурации приводит к ухудшению качества и снижению термоустойчивости очищенного сока (термоустойчивость — способность сока при нагревании длительное время сохранять свои технологические качества почти неизменными). Это объясняется тем, что значительная часть сока, нагретого до высокой температуры, длительное время циркулирует по замкнутому контуру, в результате чего образуется большое количество продуктов распада.

Если в схеме очистки сока имеются отстойники для отстаивания сока I сатурации, то на преддефекацию возвращается нефильтрованный сок I сатурации.

При замене отстойников листовыми фильтрами (ФилС) на преддефекацию возвращается сгущенная суспензия сока I сатурации.

Некоторые заводы, где хорошо работают отстойники, вместо сока I сатурации возвращают на преддефекацию примерно половину сгущенной суспензии сока I сатурации.

Вместо сгущенной суспензии сока I сатурации на преддефекацию можно возвращать весь фильтрационный осадок сока II сатурации, поверхность которого мало загрязнена сахарами и поэтому заряжена положительно. Однако возврат необходимого количества фильтрационного осадка сока II сатурации возможен только при проведении дефекации перед II сатурацией, когда на II сатурации образуется достаточное количество карбоната кальция.

Возврат сгущенной суспензии сока I сатурации или фильтрационного осадка сока II сатурации будет иметь положительный эффект только в том случае, если на очистку диффузионного сока расходуется не менее 100 % CaO к массе несугаров диффузионного сока. Тогда сатурационный осадок (CaCO_3) будет иметь положительный электрический заряд.

При расходе CaO меньше 80 % к массе несугаров сатурационный осадок приобретает отрицательный электрический заряд и возврат его приводит, наоборот, к ухудшению процесса преддефекации и качества очищенного сока.

Оптимальную преддефекацию проводят в вертикальном преддефекторе (рис. 44).

Диффузионный сок, сок I сатурации и дефекованный сок по отдельным патрубкам поступают в нижнюю часть преддефектора,

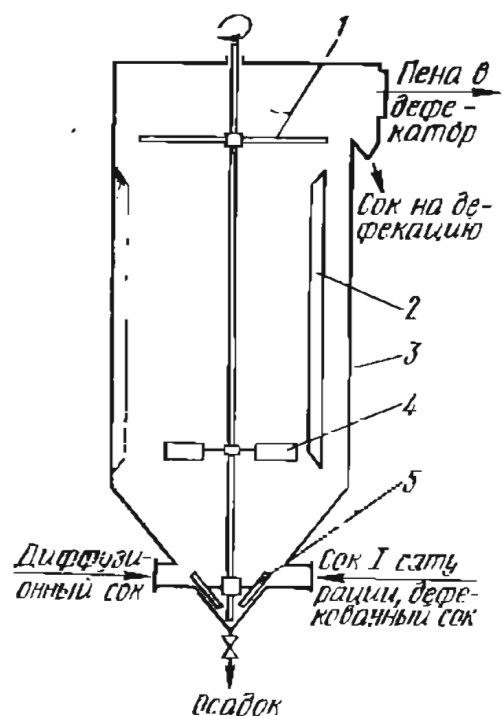


Рис. 44. Аппарат для оптимальной преддефекации

состоящего из цилиндрического корпуса 3, лопастной мешалки 4, пеносбрасывателя 1 и мешалки 5 для взмучивания осадка. Контрлопасти 2 препятствуют круговому движению сока. Преддефекованный сок отводится через переливную коробку в аппарат основной дефекации.

Проведение прогрессивной преддефекации. Смешивая при оптимальной преддефекации резко отличающиеся между собой значениями рН соки, не удастся избежать местного перещелачивания смеси, что снижает эффект осаждения коллоидных веществ. Поэтому на многих заводах применяется прогрессивная преддефекация, когда известь добавляется с такой скоростью, чтобы величина ее пересыщения не приводила к появлению новых частиц коагулята, а росли только первоначально образовавшиеся частицы. Это способствует получению крупнозернистого осадка.

При проведении прогрессивной преддефекации нет необходимости, как во время оптимальной, строго контролировать оптимальное значение рН среды, поэтому в преддефекатор добавляется больше извести на 20—30 %, чем требуется для достижения оптимального рН. Прогрессивную преддефекацию проводят в преддефекаторе (рис. 45).

Диффузионный сок поступает в I секцию аппарата, а известковое молоко с помощью дозатора — в VI в количестве, обеспечивающем выходящему из нее дефекованному соку оптимальный рН. Через щели, образованные шиберами 4 и корпусом аппарата, часть более щелочного сока из одной секции переливается в другую навстречу потоку диффузионного сока. Щелочность сока при этом увеличивается равномерно от первой до последней секции.

Количество возвращаемого сока регулируется изменением частоты вращения мешалки и размера щелей между кромками шибера 4 и корпусом аппарата так, что рН сока в секциях нарастает примерно следующим образом: I — 7,8 до 8,2; II — 8,3 до 8,8; III — 9,0 до 9,5; IV — 9,7 до 10,0; V — 10,4 до 10,8; VI — 11,0 до 11,5.

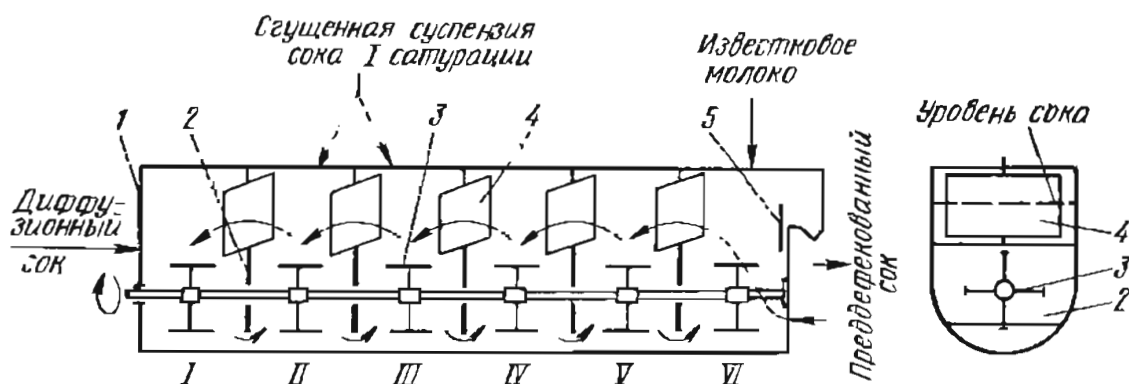


Рис. 45. Аппарат для прогрессивной преддефекации:

1 — корпус; 2 — поперечные перегородки; 3 — перемешивающие лопасти; 4 — шибер; 5 — регулирующая перегородка

В первых секциях концентрация гидроксильных ионов в соке нарастает медленнее, чем в последних, что необходимо для создания зоны стабилизации коллоидных частиц. В этой зоне при определенном значении рН, зависящем от технологических качеств свеклы (в интервале рН 8,3—9,5), коллоидные частицы проходят через метастабильную (неустойчивую) фазу — «ста-реют» (образуется стабилизированный золь), что предшествует их массовой коагуляции. При введении в сок в конце зоны стабилизации (во II или III секцию преддефекатора) центров коагуляции — кристаллов карбоната кальция (с соком I сатурации, сгущенной суспензией сока I сатурации или фильтрационным осадком сока II сатурации) — коллоидные частицы легко осаждаются на поверхность кристаллов, образуя коагломераты.

Оптимальное значение рН метастабильной фазы коллоидных веществ определяется в заводской лаборатории для каждой партии перерабатываемой свеклы.

Основным условием успешного осуществления прогрессивной преддефекации является равномерность движения сокового потока при неизменном количестве возвращаемой сгущенной суспензии или сока I сатурации.

В процессе преддефекации перемешиваемый сок сильно пенится. Для гашения пены применяются растительные жиры или отходы их производства в виде эмульсии.

Основная дефекация

Цель основной дефекации. Основная дефекация проводится сразу же за преддефекацией без промежуточного фильтрования. Различают холодную, теплую и горячую основную дефекацию, т. е. обработку сока известковым молоком при температуре соответственно ниже 50, 50—60 и 85—90° С.

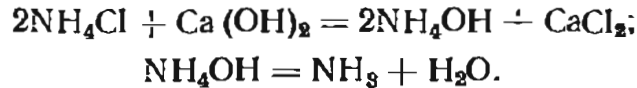
На преддефекации полностью заканчиваются реакции нейтрализации диффузионного сока, коагуляции и осаждения коллоидных веществ, а также реакции осаждения большей части анионов фосфорной, щавелевой, уксусной, лимонной, оксалимонной, яблочной, винной кислот и катионов солей магния, алюминия, железа. Но реакции разложения ряда органических несахаров, содержащихся в диффузионном соке, из-за недостаточной концентрации гидроксильных ионов только начинаются, и для их завершения требуются длительное время, высокие значения рН и температуры.

Если реакции разложения не будут завершены в сокоочистительном отделении, то, продолжаясь на следующих стадиях технологической схемы, они будут снижать качество сиропа и сахара. Главной задачей основной дефекации является разложение амидов кислот, солей аммония, пектина, редуцирующих веществ, омыление жиров, доосаждение анионов кислот, а также

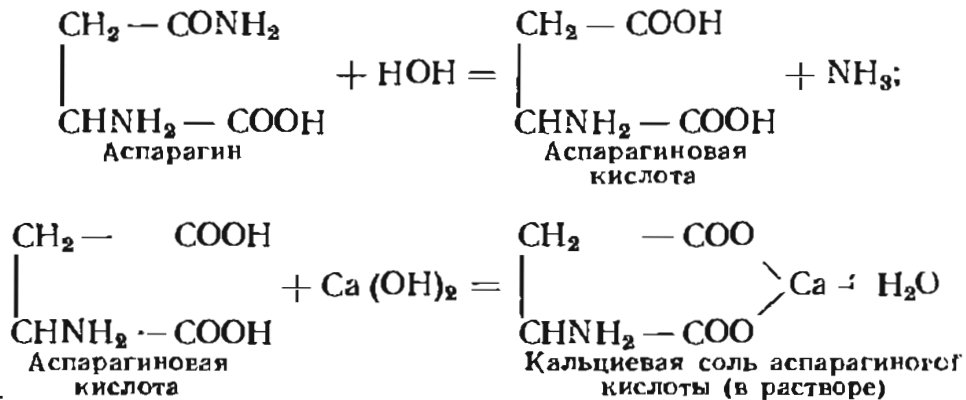
создание избытка извести, необходимой для получения достаточного количества CaCO_3 на I сатурации.

Химические реакции. Разложение органических несугаров диффузионного сока на основной дефекации происходит под действием высокой концентрации гидроксильных ионов извести.

Соли аммония, например NH_4Cl , при разложении выделяют аммиак, а в растворе остается эквивалентная масса солей кальция:

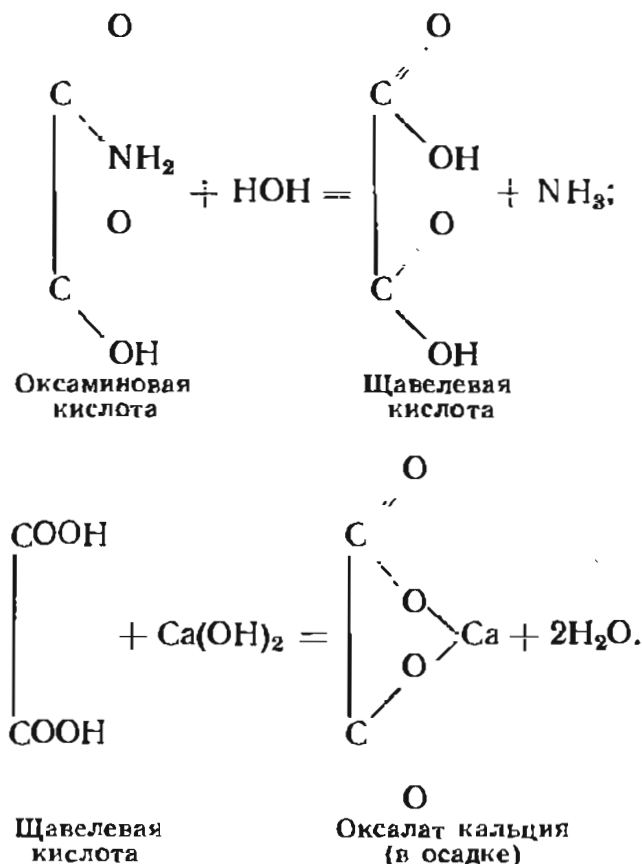


Разложение амидов кислот (аспарагина, глутамина, оксаминной кислоты) идет по схеме:



Аналогичная реакция идет и с глутамином, только он гидролизуется с большей скоростью, чем аспарагин.

Оксаминная кислота разлагается очень медленно с выделением аммиака и кальциевой соли щавелевой кислоты (оксалат кальция), выпадающей в осадок:



На основной дефекации разложение оксаминовой кислоты не заканчивается и продолжается в выпарной установке с выделением осадка щавелево-кальциевой соли на поверхности нагрева.

Редуцирующие сахара в сильно щелочной среде разрушаются довольно быстро, образуя молочную, муравьиную, уксусную, изосахариновую и другие кислоты.

Часть продуктов распада редуцирующих сахаров и аминокислот расходуется на образование различных красящих веществ. Интенсивность этих реакций зависит от щелочности сока: чем выше щелочность, тем меньше образуется красящих веществ из одного и того же количества исходных реагентов.

Жиры свеклы в щелочной среде омыляются (происходит их гидролиз), образуя глицерин и нерастворимые кальциевые соли высших карбоновых кислот (мыла).

При коротком контакте с известью пектин, как кислота, образует легко отфильтровываемый осадок пектина кальция и неразложившегося пектина. А при длительном действии извести, характерном для основной дефекации, пектин разлагается с образованием метилового спирта, уксусной и пектиновой (полигалактуроновой) кислот. Метилловый спирт при выпаривании сока улетучивается, уксусная кислота остается в растворе в виде уксуснокальциевой соли, а пектовая кислота дает слизистый трудно отфильтровываемый осадок пектата кальция.

Белки под действием извести частично расщепляются, образуя смесь растворимых полипептидов — веществ с более короткой, чем у белков, цепью и имеющих больше концевых аминных групп.

Следовательно, на основной дефекации известь отрицательно действует на осадок белков, пектиновых и других высокомолекулярных и коллоидных веществ, в результате чего снижается качество очищенного сока, так как сахара, перешедшие в раствор, образуют трудно отфильтровываемые соли кальция и участвуют в образовании красящих веществ.

Почти все органические кислоты, образовавшиеся в процессе щелочного разложения редуцирующих сахаров, а также некоторые аминокислоты и амиды дают с известью растворимые соли кальция, которые можно представить общим символом CaA_2 , где A — анион кислоты. С этими солями в растворе находится до 60 % CaO к массе редуцирующих сахаров.

Следовательно, чем больше в диффузионном соке редуцирующих сахаров, тем выше в дефекованном соке будет концентрация растворимых солей кальция.

Дефекованный сок имеет высокую щелочность, обусловленную присутствием растворенных $Ca(OH)_2$, а также KOH и $NaOH$, содержит сахарозу, растворимые соли вида CaA_2 и нерастворившиеся $Ca(OH)_2$ и соли щавелевой, фосфорной и других кислот (условно обозначаемые CaX_2), коагулят белковых, пектиновых веществ и сапонинов. Состав такого сока можно представить схемой

В растворе: $Ca(OH)_2$, KOH , $NaOH$, CaA_2 , сахароза

В осадке: $Ca(OH)_2$, CaX_2 , коагулят

Проведение основной дефекации. На основной дефекации добавляется такое количество известкового молока плотностью 1,19—1,20, чтобы по CaO оно было эквивалентно 100—120 % массы сахаров диффузионного сока, т. е. примерно 3% CaO к массе свеклы.

Основную дефекацию проводят в дефекаторе (рис. 46), представляющем собой вертикальный корпус 1 с лопастью мешалкой 4 на валу, мешалкой 5 для взмучивания осадка и контрол-лопастями 3. Сок поступает в аппарат снизу вместе с извест-

ковым молоком, масса которого регулируется дозатором пропорционально массе сока, и удаляется через верхний патрубок, прикрытый переливным карманом 2. Длительность основной дефекации регулируется изменением уровня сока в аппарате.

Периодически дефекация освобождается от осадка через нижний патрубок.

Осадок направляется в преддефекацию.

Основная дефекация диффузионного сока тесно связана с процессом I сатурации, поэтому для обеспечения устойчивой работы сатураторов в дефекованном соке автоматически поддерживается постоянная концентрация извести.

Температуру, длительность основной дефекации и дозировку известкового молока периодически определяют сотрудники заводской лаборатории в зависимости от качества перерабатываемой свеклы с таким условием, чтобы на дефекации достигалось наиболее полное разложение несахаров.

При переработке порченной (подгнившей, подмороженной, подвяленной) свеклы основная дефекация может оказывать вредное влияние на седиментационные свойства сока I сатурации (уменьшается скорость отстаивания и фильтрования соков). В этом случае процесс дефекации выключают из схемы очистки и преддефекованный сок по обводному трубопроводу сразу направляется на I сатурацию, куда добавляется необходимое количество известкового молока, а на преддефекацию возвращается максимально возможное количество сока или сгущенной суспензии сока I сатурации и добавляется известковое молоко.

Выключение процесса основной дефекации из схемы очистки приводит к значительному повышению цветности сока, поэтому данный способ применяется только тогда, когда введение формалина в диффузионный аппарат, увеличение массы извести на очистку и возвращаемого на преддефекацию нефильтрованного сока I сатурации и другие операции не дают положительных результатов.

Если на сахарном заводе имеется многовариантная (универсальная) схема очистки диффузионного сока, то порченная свекла перерабатывается по способу с горячей преддефекацией.

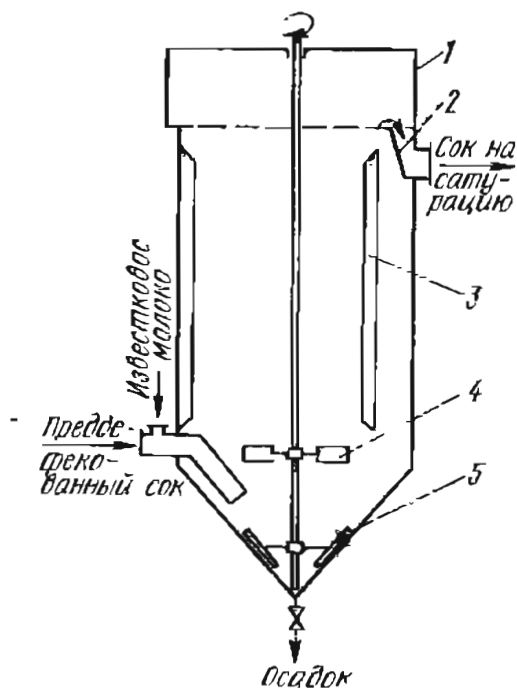


Рис. 46. Аппарат основной дефекации

САТУРАЦИЯ СОКА

I сатурация

Цель I сатурации. Очистка сока адсорбцией является основной целью I сатурации. Кроме того, образующийся кристаллический осадок CaCO_3 служит основой для создания фильтрующего слоя при последующем фильтровании соков.

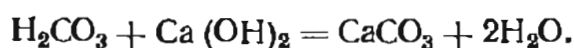
Процесс сатурации разделен на I и II стадии, I сатурация дефекованного сока прекращается в той же точке рН, при которой на преддефекации была достигнута оптимальная коагуляция коллоидных веществ. Образовавшийся осадок CaCO_3 с адсорбированными на нем сахарами отфильтровывается, а чистый сок подвергается II сатурации, во время которой он освобождается от оставшегося на I сатурации Ca(OH)_2 и значительной части солей кальция.

Перед преддефекацией или основной дефекацией диффузионный сок нагревают, но в процессе основной дефекации и I сатурации часть тепла теряется и на выходе из сатуратора температура сока снижается до 80—82°C. При такой температуре в соке образуются гели и золи карбоната кальция, увеличивается вязкость сока, появляется много пены (гель — состояние коллоидного раствора, при котором частицы связаны между собой и образуют пространственную сетку, ячейки которой заполнены жидкой средой; золь — коллоидный раствор), поэтому перед подачей в отстойники сок снова нагревают до 90°C.

Количество избыточной извести, прибавляемой к диффузионному соку на основной дефекации, зависит от результатов очистки сока, получаемых на I сатурации. Если перерабатывают свеклу низкого качества и на I сатурации образуется плохо фильтрующийся слизистый осадок, то на основной дефекации увеличивают дозу вводимой извести, для того чтобы на I сатурации можно было получить больше кристаллического осадка CaCO_3 , способного удерживать на своей поверхности осадок сахаров и сохранять проницаемость фильтрующего слоя. Но такая мера применяется не так часто, так как на заводах стараются работать с минимальным расходом извести.

Химические реакции. В нефилтрованном дефекованном соке, поступающем на I сатурацию, содержится около $\frac{1}{10}$ извести в растворе и $\frac{9}{10}$ в осадке. Общая титруемая щелочность его, обусловленная наличием Ca(OH)_2 , КОН и NaOH, составляет 1,0—1,8% СаО на 100 мл сока (щелочность соков характеризуется различными химическими соединениями, но условию ее принято выражать в процентах СаО, эквивалентных данной щелочности; щелочность определяют титрованием сока раствором HCl в присутствии фенолфталеина).

При продувании диоксида углерода в соке вначале образуется угольная кислота $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$, которая затем реагирует с растворенным гидроксидом кальция.



Вместо прореагировавшего $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из осадка в раствор переходят новые порции его, и, таким образом, реакция идет почти до полного превращения известня в CaCO_3 .

Дефековаинный сок содержит в растворе около 0,25 % CaO , в начале сатурации эта щелочность быстро снижается примерно до 0,15 % CaO и держится на таком уровне, пока в осадке имеется гидроксид кальция. Образующийся CaCO_3 в иачальной стадии представляет собой слизистый гель — комплексные соединения CaCO_3 с сахарозой и избытком CaO , называемые углекальциевыми сахаратами, их можно выразить формулой $(\text{CaCO}_3)_x \times (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})_y \cdot (\text{CaO})_z$. В процессе сатурирования значения y и z уменьшаются, гель становится нестойким и выпадает в осадок, в котором CaCO_3 связан с меньшим количеством адсорбированного сахара кальция.

К концу I сатурации, когда $\text{Ca}(\text{OH})_2$ почти полностью превратится в CaCO_3 , щелочность сока начинает быстро снижаться, осадок CaCO_3 из слизистого становится кристаллическим и хорошо фильтруется. I сатурация прекращается, когда в растворе остается небольшое количество растворенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а рН становится равным 10,8—11,5, при этом в осадке гидроксида кальция не остается.

Превращения гидроксида кальция происходят по следующей схеме:

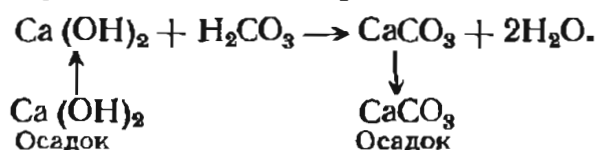


Схема распределения $\text{Ca}(\text{OH})_2$, других щелочей, сахарозы и солей кальция между раствором и осадком в соке I сатурации имеет вид

Раствор: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH , NaOH , CaA_2 , сахароза

Осадок: CaCO_3 + Адсорбированные иесахара, CaA_2 , коагулят

Натуральная щелочность. В соке I сатурации часть щелочности обусловлена присутствием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и часть — присутствием гидроксидов щелочных металлов (KOH , NaOH). Натуральной щелочностью сока I сатурации называется та часть его щелочности, которая соответствует содержанию гидроксидов щелочных металлов. Она является важным показателем, характеризующим технологические качества перерабатываемой свеклы. Чем выше натуральная щелочность, т. е. чем больше в соке гидроксидов щелочных металлов, тем больше на II сатурации будет образовываться карбонатов (K_2CO_3 , Na_2CO_3), которые осаждают соли кальция. Следовательно, при высокой натуральной щелочности сока I сатурации содержание солей кальция в соке II сатурации и сиропе будет незначительным. Это облегчает проведение кристаллизации сахарозы и снижает ее содержание в мелассе.

Карбонаты калия и натрия образуются из KOH и NaOH , которые в свою очередь появляются на дефекации в результате реакций осаждения. А соли кальция на дефекации возникают при взаимодействии гидроксида кальция и продуктов разложения редуцирующих веществ, амидов и других соединений. Если продуктов распада редуцирующих и других веществ в соке будет мало, то и концентрация солей кальция невелика, тогда реакции осаждения преобладают над другими реакциями и карбонаты калия и натрия окажутся в среде в большом

избытке, т. е. создастся высокая натуральная щелочность. С увеличением концентрации амидов, пектина, редуцирующих веществ, а также кислотности диффузионного сока натуральная щелочность сока уменьшается.

Сок, полученный из свеклы, выращенной в засушливые годы на почвах, чрезмерно удобренных азотистыми удобрениями, или долго хранившейся на складе, обычно имеет низкую натуральную щелочность, величина которой может быть даже отрицательной. При отрицательной натуральной щелочности сока I сатурации на II сатурации не будет доставать карбонатов калия и натрия для осаждения солей кальция. В таком случае недостаток натуральной щелочности компенсируют добавлением в сок перед II сатурацией 10—15 кг тринатрийфосфата ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) из расчета на 100 т перерабатываемой свеклы, если натуральная щелочность сока выше 0,01% CaO. При натуральной щелочности ниже 0,01% CaO на каждую сотую долю процента снижения натуральной щелочности в сок добавляется 20 кг тринатрийфосфата и 10 кг кальцинированной соды (Na_2CO_3) на 100 т свеклы. Кроме того, в клеровку сахаров II и III кристаллизаций на каждые 100 т свеклы дают 8—10 кг тринатрийфосфата и 5—7 кг кальцинированной соды. Вместе с осадком фосфата натрия из сока удаляются азотистые соединения, не осаждаемые известью и кальцинированной содой (если она добавляется без тринатрийфосфата).

Натуральная щелочность, определенная по разности между общей щелочностью сока I сатурации и содержанием солей кальция (в % CaO), называется теоретической натуральной щелочностью.

Проведение I сатурации. Обычно I сатурацию прекращают тогда, когда в соке в растворенном состоянии остается небольшое количество гидроксида кальция — 0,08—0,11% CaO (рН 10,8—11,5). Это нормально отсатурированный сок. При более полном удалении гидроксида кальция сатурацией (до 0,05% CaO и ниже) получается пересатурированный сок, который хорошо фильтруется, так как в нем отсутствуют углекальциевые сахара, но из-за частичной пептизации коагулята он имеет повышенные цветность и содержание солей кальция.

В недосатурированном соке со щелочностью выше 0,11% CaO остается некоторое количество углекальциевых сахаров, обладающих высокой дисперсностью, а следовательно, и повышенной адсорбционной способностью по сравнению с кристаллическим карбонатом кальция. Поэтому доброкачественность такого сока выше, чем нормально отсатурированного, но фильтруется он хуже.

На доброкачественность и фильтрационную способность сока I сатурации значительное влияние оказывает скорость сатураций, т. е. чем больше диоксида углерода прореагирует в единицу времени в единице объема сока, тем выше будет дисперс-

ность, а следовательно, и адсорбционная поверхность карбоната кальция. Уменьшение размера кристаллов CaCO_3 не оказывает заметного влияния на скорость фильтрования сока, так как мелкокристаллический осадок, имея развитую площадь поверхности частиц с положительным зарядом, больше адсорбирует отрицательно заряженных коллоидных частиц, сохраняя хорошую пористость фильтрующего слоя, тогда как нефиксированные (не закрепленные на CaCO_3) гели закупоривают каналы между кристаллами CaCO_3 и задерживают фильтрование сока.

Но при наличии в схеме очистки сока отстойников, чтобы получить крупные, хорошо осаждающиеся, кристаллы CaCO_3 , сок на I сатурации сатурруется не менее 10 мин. А при работе с фильтрами-сгустителями (без отстойников) скорость сатурации можно увеличивать, получая осадок с мелкими кристаллами.

I сатурация проводится в противоточном решетчатом сатураторе (рис. 47), представляющем собой вертикальный цилиндрический сосуд, расширенный в верхней части. Это сделано для улавливания пены, образующейся в процессе сатурации. В нижней части корпуса 1 на равном расстоянии друг от друга по высоте установлены три решетчатые перегородки 2, предназначенные для равномерного распределения пузырьков сатурационного газа в соке.

Дефектованный сок поступает в сатуратор сверху на неподвижную распределительную тарелку 3, а сатурационный газ нагнетается компрессором снизу. Газовый компрессор располагается ниже сатуратора, поэтому газ подается в сатуратор через V-образное колено, образующее гидравлический затвор, что препятствует вытеканию сока из сатуратора через компрессор при его остановках.

Отработавший сатурационный газ выводится в атмосферу, а капли сока задерживаются зонтом 5 и сепаратором 4.

Отсатурованный сок поступает в среднее отделение контрольного ящика 8, где с помощью подвижного щитка 7 поток делится на две части: одна часть возвращается на преддефектацию, вторая идет на фильтрование и последующую переработку.

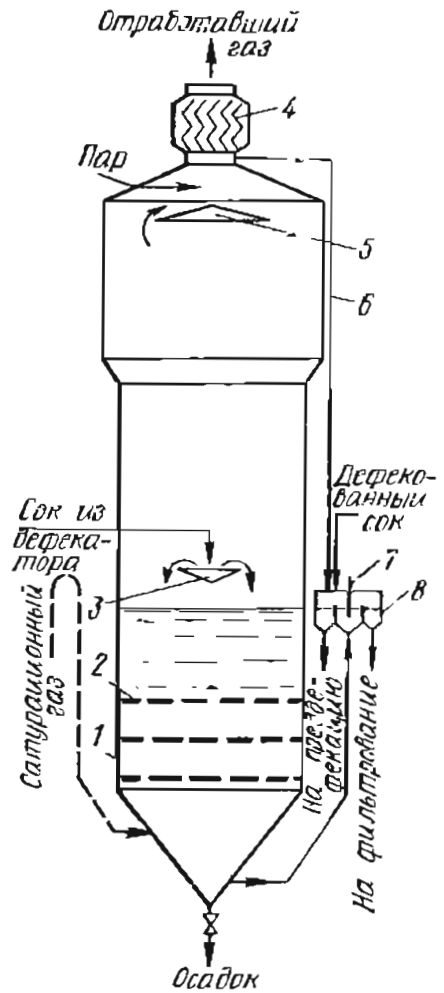


Рис. 47. Противоточный решетчатый сатуратор

Высота столба сока в сатураторе поддерживается примерно 4,3 м. Предельный уровень пены контролируется с помощью трубки 6: если из нее в контрольный ящик вытекает сок, то для гашения пены в верхнюю часть сатуратора подается пар.

Оптимальное значение рН сока I сатурации контролируется автоматически. Готовность сока определяется по скорости осветления образца, взятого из контрольного ящика.

Количество использованного диоксида углерода в сатураторе (в %) можно вычислить по концентрации CO_2 в поступающем сатурационном газе (C_1) и в выходящем из сатуратора газе (C_2) по уравнению

$$x = 100 \cdot 100 (C_1 - C_2) / [C_1 (100 - C_2)]. \quad (9)$$

Пример. $C_1 = 32\%$, $C_2 = 13\%$. Определить количество использованного CO_2 на I сатурации (в %).

$$x = \frac{100 (32 - 13) 100}{32 (100 - 13)} = 68,2.$$

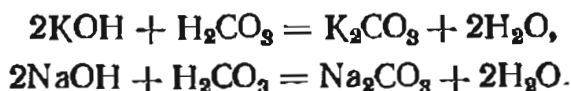
Эффект от использования диоксида углерода в решетчатых сатураторах при продолжительности процесса 10 мин, обычно не превышает 70 %.

II сатурация

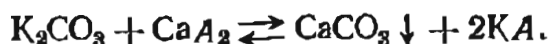
Цель II сатурации. Повторную обработку сока диоксидом углерода проводят для того, чтобы перевести оставшиеся после I сатурации свободные гидроксиды кальция, калия и натрия в углекислые соли, и вывести в осадок кальций, связанный с органическими кислотами и комплексами. Неполное удаление из сока кальциевых солей и гидроксидов кальция, калия и натрия приводит к быстрому образованию накипи на поверхностях теплообмена выпарной установки и к увеличению потерь сахарозы.

На I сатурации в соке оставляют избыток извести, для того чтобы избежать перехода в раствор уже осажденных коллоидных частиц и солей кальция, а на II сатурации такого препятствия для полного удаления извести нет, так как все осадки, выпавшие на I сатурации, уже отфильтрованы.

Химические реакции. На II сатурации при контакте оставшейся в соке I сатурации извести с диоксидом углерода происходит образование $CaCO_3$, т. е. осаждение свободного гидроксида кальция и связанное с этим понижение титруемой щелочности сока. После осаждения гидроксида кальция угольная кислота реагирует с KOH и $NaOH$, превращая их в карбонаты:

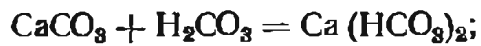


При этом титруемая щелочность (по фенолфталеину) продолжает снижаться до оптимальной величины 0,02—0,03 % CaO (рН 9,2—9,3). Образовавшиеся карбонаты калия и натрия называют осаждающим реактивом, который реагирует с растворимыми солями кальция (CaA_2), в результате чего происходит осаждение карбоната кальция



Данная реакция имеет важное значение для II сатурации, так как способствует снижению в соке концентрации растворимых солей кальция, что и является главной ее целью.

В хорошо отсатурированном соке II сатурации не должно оставаться свободного гидроксида кальция. Если же после превращения $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH и NaOH в CaCO_3 , K_2CO_3 и Na_2CO_3 продолжать сатурацию, то сок окажется пересатурированным, т. е. в нем повысится содержание растворимых солей кальция, которые появляются в результате превращения нерастворимого карбоната кальция в слабо растворимый бикарбонат и осаждающего реактива (карбонаты калия и натрия) — в бикарбонаты, которые не реагируют с растворимыми солями кальция:



Оптимальная щелочность. При правильно проведенной II сатурации щелочность сока обусловлена только присутствием в нем карбонатов щелочных металлов (K_2CO_3 , Na_2CO_3) и небольшого количества CaCO_3 . В этих условиях в соке остается минимальное количество солей кальция. Такая щелочность сока II сатурации, соответствующая наиболее низкому практически достижимому содержанию солей кальция в растворе, называется оптимальной щелочностью.

Если солей кальция в соке оказывается больше, чем при оптимальной щелочности, так как осаждение их не закончено, то сок недосатурирован. Если щелочность ниже оптимальной (сок пересатурирован), то концентрация солей кальция также будет больше, потому что карбонат кальция (CaCO_3) превращается в частично растворимый бикарбонат [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$].

В зависимости от состава несахаров и качества перерабатываемой свеклы величина оптимальной щелочности колеблется в интервале 0,01—0,02% CaO . Оптимальная щелочность определяется в заводской лаборатории сатурацией 1 л сока I сатурации при 90°C. Отбираемые (по 100 мл) с различной щелочностью образцы фильтруют и в интервале щелочности 0,04—0,005% CaO определяют их щелочность и содержание в них солей кальция. Минимальному содержанию солей кальция соответствует и оптимальная щелочность. Сравнивая действительное содержание солей кальция в соке II сатурации с этой контрольной величиной, оценивают качество очистки сока после II сатурации.

Проведение II сатурации. Образующийся на II сатурации (при пересатурации) бикарбонат кальция, попадая в выпарную установку, разлагается под действием высокой температуры с выделением CaCO_3 и CO_2 , которые способствуют образованию на поверхностях нагрева плотного осадка (накипи), снижающего коэффициент теплопередачи и производительность выпарной установки. Во избежание этого сок перед II сатурацией обычно нагревается до кипения (102°C). Однако сохра-

нить такую высокую температуру не удастся, так как при продувании газа сок охлаждается до 93—95 °С, т. е. II сатурация фактически проходит при температуре ниже температуры кипения сока. Учитывая это, на ряде сахарных заводов в целях экономии тепла сок перед II сатурацией нагревают только до 85—90 °С. Понижение температуры практически не увеличивает растворимости бикарбоната кальция.

Для II сатурации применяется такой же решетчатый сатуратор, как и для I сатурации, но с меньшим объемом надсокового пространства, так как пенится сок на II сатурации незначительно.

Уровень сока в аппарате II сатурации поддерживается на высоте примерно 3,4 м. Коэффициент использования CO₂ в нем не превышает 50%, что обусловлено более низкой щелочностью среды. Оптимальная продолжительность II сатурации принята 10 мин.

В соке II сатурации растворено небольшое количество карбонатов калия и натрия, солей кальция, сахароза, а в осадке находятся CaCO₃ и адсорбированные несахара.

Схема распределения веществ в растворе и в осадке приведена ниже.

В растворе: K₂CO₃, Na₂CO₃, CaA₂, сахароза

В осадке: CaCO₃ + адсорбированные несахара

Эффект очистки, состав очищенного сока и потери сахарозы

Эффект очистки. В результате очистки диффузионного сока на преддефекации, дефекации и сатурации удаляется 25—30% несахаров, на II сатурации — 3—5%. Из них почти полностью удаляются белки, аммиачный и амидный азот, 5—8% аминного азота, 40—45% безазотистых органических веществ и 10—12% зольных элементов.

Процент удаленных несахаров из диффузионного сока по отношению к первоначальной их массе называется эффектом очистки сока (*Эф*).

Общий эффект очистки сока определяют по доброкачественности диффузионного сока (*Дб₁*) и фильтрованного сока II сатурации (*Дб₂*).

$$\text{Эф} = 100 \{ 1 - [Дб_1 (100 - Дб_2)] / [(Дб_2 (100 - Дб_1))] \}. \quad (10)$$

Пример. Доброкачественность диффузионного сока *Дб₁* = 86%, фильтрованного сока II сатурации *Дб₂* = 90%. Определить общий эффект очистки (в %).

$$\text{Эф} = 100 \{ 1 - [(100 - 90) 86] / [(100 - 86) 90] \} = 31,75.$$

Состав очищенного сока. Средний состав (в %) очищенного сока, поступающего на выпаривание, следующий: сухих веществ

12—14; сахарозы 10—12; азотистых веществ 0,5—0,7; безазотистых органических веществ 0,4—0,5; чистой золы 0,5; доброкачественность 86—92 %; цветность 15—25 усл. ед.; содержание солей кальция около 0,015 %.

Масса очищенного сока определяется из уравнения баланса сахарозы. Например, содержание сахарозы в соке II сатурации 11,5 % к массе сока, сахаристость свеклы 16 %. Потери сахарозы: общие на диффузии 0,5 %, неучтенные в сокоочистительном отделении 0,1 % к массе свеклы, в фильтрационном осадке 1 % к массе осадка. Масса фильтрационного осадка составляет 12 % к массе свеклы. Находим массу очищенного сока (x , в % к массе свеклы):

$$16 = \frac{x \cdot 11,5}{100} + \frac{12 \cdot 1}{100} + 0,5 + 0,1; \quad x = 133.$$

Основные потери сахарозы на дефекации и сатурации складываются из учтенных потерь с фильтрационным осадком и неучтенных потерь, обусловленных разложением сахарозы в сильнощелочной среде, уносом с отработавшим сатурационным газом, разливом сока.

Учтенные потери сахарозы — это сумма массы сахарозы, содержащейся в жоме и фильтрационном осадке, которую можно определить лабораторными анализами. Выражают их в % к массе свеклы.

Неучтенные потери сахарозы — разность между общими и учтенными потерями, выраженная в процентах к массе свеклы.

Величина учтенных потерь сахарозы с фильтрационным осадком зависит от схемы очистки сока, качества сырья и составляет примерно 0,1 % к массе свеклы. Неучтенные потери сахарозы от разложения в процессе очистки сока могут колебаться от 0,02 до 0,10 % к массе свеклы.

СУЛЬФИТАЦИЯ СОКА (СИРОПА)

Цель сульфитации и химизм процесса. Сульфитацией называется обработка сахарных растворов диоксидом серы. По технологической схеме сульфитации подвергаются фильтровальный сок II сатурации, смесь сиропа с клеровкой и вода, подаваемая на диффузию.

Диоксид серы на сахарном заводе получают сжиганием серы на воздухе. Реакция эта экзотермическая, т. е. протекает с выделением тепла: $S + O_2 \rightarrow SO_2, \quad +297 \text{ кДж/моль}$.

Серу сжигают в печи. Отбираемый из нее так называемый сульфитационный газ представляет собой смесь диоксида серы (10—15 %) и воздуха (85—90 %).

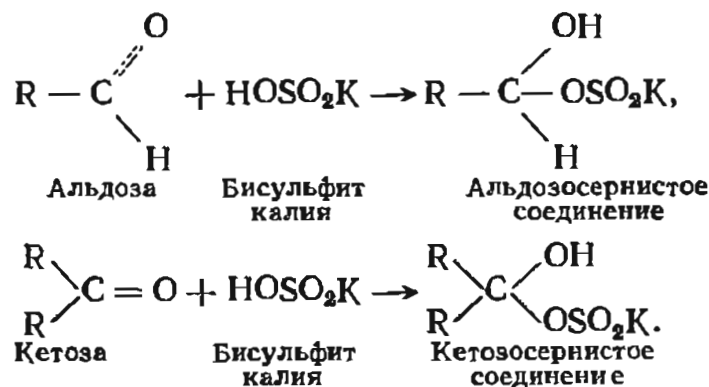
В сульфитационном газе всегда содержится некоторое количество триоксида серы (SO_3), образующегося при взаимодействии диоксида серы с кислородом воздуха ($2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$).

Для сульфитации триоксид серы непригоден, так как в соке образует сульфаты щелочей, повышая тем самым содержание золы, и вызывает коррозию металлов.

Диоксид серы — бесцветный газ с резким запахом, ядовит, вызывает удушье, хорошо растворим в воде. В 1 объеме воды при 20°C растворяется 40 объемов диоксида серы, но только небольшая часть растворенного SO₂ реагирует с водой, образуя сернистую кислоту.

Сернистая кислота является слабой кислотой, существует лишь в водных растворах, при нагревании разлагается, образуя диоксид серы и воду. Восстанавливает низкомолекулярные красящие вещества и превращает их в бесцветные соединения. Цветность сока II сатурации, или сиропа после сульфитации, снижается на 20—30 %, но при этом снижается и pH. При доведении pH до первоначального значения часть цветности восстанавливается и действительное обесцвечивание сульфитацией не превышает 10—12 %. Доброкачественность сока при сульфитации не изменяется, поскольку обесцвеченные вещества остаются в растворе. На этом основании сульфитация не считается элементом схемы очистки сока.

Основное положительное действие сульфитации на сок II сатурации заключается в способности сернистой кислоты и ее солей блокировать карбонильные группы (C=O) редуцирующих соединений (глюкоза, фруктоза, манноза) и тем самым препятствовать их участию в реакциях образования красящих веществ:

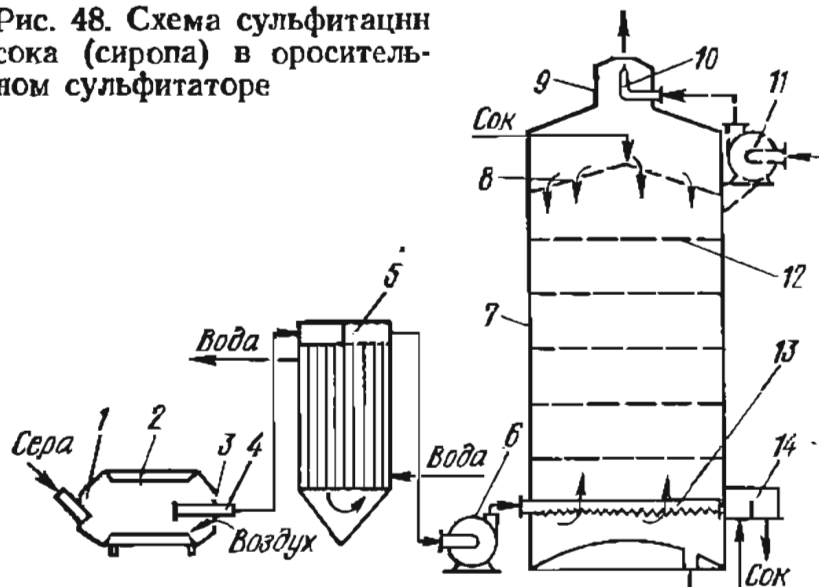


При наличии в соке сернистой кислоты или ее солей в соотношении примерно 0,5 моля диоксида серы на 1 моль редуцирующих сахаров красящие вещества практически не образуются.

Сок II сатурации следует сульфитировать только после достижения оптимальной щелочности. В недосатурированном соке II сатурации имеется свободная известь, которая при контакте с диоксидом серы дает плохо растворимый сульфит кальция, оседающий на поверхностях нагрева теплообменников.

При переработке высококачественной свеклы со значительной натуральной щелочностью оптимальная щелочность сока II сатурации остается высокой и может вызвать затруднения при кристаллизации сахарозы. Поэтому сульфитация является един-

Рис. 48. Схема сульфитации сока (сиропа) в оросительном сульфитаторе



ственным способом снизить оптимальную щелочность сока, превращая щелочные карбонаты калия и натрия в нейтральные сульфиты.

Соки с низкой натуральной щелочностью после сульфитации становятся слабокислыми, в них под действием водородных ионов происходит частичная инверсия сахарозы. Чтобы избежать этого, сок II сатурации иногда недосатурируют, оставляя щелочность 0,03—0,04 % СаО, что приводит к быстрому образованию накипи на поверхности нагрева выпарной установки. Более правильно в этом случае сатурировать сок на II сатурации до оптимальной щелочности, а затем заменять или дополнять газовую сульфитацию солевой сульфитацией, вводя в сок сульфит или бисульфит калия, натрия (0,02—0,03 % к массе свеклы). Сульфиты и бисульфиты, являясь солями слабой кислоты и сильного основания, в водных растворах дают щелочную реакцию, стабилизируют рН.

Проведение сульфитации. На сахарных заводах пока еще наиболее распространена сульфитация в оросительных сульфитаторах.

Аппаратурно-технологическая схема сульфитации под давлением приведена на рис. 48.

Сульфитационный газ получается в печи 1, состоящей из вращающегося чугунного барабана с продольными ребрами 2 и неподвижной трубы 4 для отбора сульфитационного газа. Дioxid серы на выходе из печи разбавляется воздухом, поступающим через отверстия 3 с регулируемым сечением.

После печи горячий сульфитационный газ охлаждается и освобождается от взвешенных примесей в трубчатом теплообменнике (золоотделителе) 5 и вентилятором 6 нагнетается в сульфитатор 7 через корытообразный барботер 13 с зазубренными краями стенок.

В верхней части сульфитатора, представляющего собой чугунный цилиндр с вогнутым днищем, расположена сокораспределительная сетчатая тарелка 8. Между барботером и сетчатой тарелкой установлено пять чугунных распределительных решеток 12 со щелевидными отверстиями трапецеидального сечения (меньшее основание трапеции обращено вниз).

Сок, поступающий в сульфитатор на обработку, разбрызгивается через сетчатую тарелку, насыщается диоксидом серы и выводится через гидравлический затвор в контрольный ящик 14. Отработавший газ освобождается от капель в сепараторе 9 и выводится в атмосферу.

Для более полного использования диоксида серы уровень сока в сульфитаторе поддерживается немного выше уровня газового барботера.

При работе сульфитатора под давлением меньше расходуется энергия на подачу сульфитационного газа, но от коррозии быстро изнашивается вентилятор, нагнетательный трубопровод засоряется несгоревшими частицами серы, а часть газа через неплотности в трубопроводах попадает в помещение завода, ухудшая условия труда работающих.

Для устранения этих недостатков вместо сульфитации под давлением применяется сульфитация под разрежением, для чего на вытяжной трубе сульфитатора после сепаратора 9 устанавливается чугунный эжектор 10, в который вентилятором 11 с большой скоростью подается воздух. На выходе из эжектора создается небольшое разрежение, распространяющееся на всю систему сульфитации и достаточное для исключения проникновения диоксида серы в помещение, при этом вентилятор 6 не нужен. Эффект использования диоксида серы в оросительном сульфитаторе при сульфитации сока составляет 70—80%.

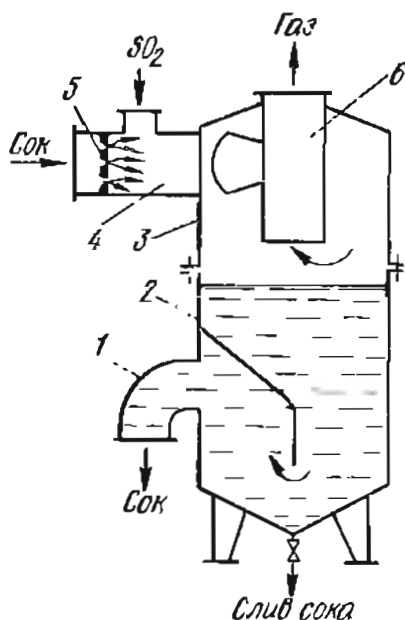


Рис. 49. Схема сульфитации сока (сиропа) в жидкостно-струйном сульфитаторе

В последнее время вместо оросительных сульфитаторов внедряются жидкостно-струйные сульфитаторы, в которых эффект использования диоксида серы приближается к 100%.

Жидкостно-струйный сульфитатор (рис. 49) имеет цилиндрический корпус 2, выполняющий роль гидравлического затвора, предотвращающего попадание сульфитационного газа в сливной трубопровод 1. Сверху к корпусу соосно прикреплен сепаратор 3, представляющий собой циклон с внутренним пилондом 6, предназначенный для отделения жидкости от отработавшего газа. Тангенциально к сепаратору присоединена горизонтальная труба 4 с патрубком для

подвода сульфитационного газа, выполняющая роль камеры смешения. На входе в трубу 4 установлен диск 5 с отверстиями, через которые в камеру смешения под давлением поступает продукт и распыляется там, создавая разрежение. Под действием разрежения в камеру смешения засасывается сульфитационный газ и смешивается с продуктом. Для получения оптимального эффекта давление продукта перед диском должно быть не ниже 0,1 МПа.

Заданное значение рН продукта, выходящего из сульфитатора, поддерживается автоматически путем изменения степени открытия заслонки на трубопроводе подачи сульфитационного газа. Эффект использования диоксида серы при сульфитации сока и питающей воды на диффузию составляет около 98 %.

В камеру смешения сульфитатора вместо сульфитационного газа можно подавать сжиженный диоксид серы. В этом случае исключается контакт его с кислородом воздуха, что положительно сказывается на качестве сульфитированного продукта.

Жидкостно-струйные сульфитаторы для сока, сиропа, питающей воды на диффузию соединены между собой через общий золотоделитель. В этом случае при полном прекращении подачи продукта на какой-то сульфитатор (когда тяга в соответствующей сернистой печи резко снижается и возможен выхлоп газа из нее) отсутствие тяги в нем будет компенсироваться тягой в других сульфитаторах и все печи будут находиться под разрежением.

Оптимальное значение рН сульфитированного сока принимается 8,5—8,8 (щелочность 0,005—0,010 % СаО), сиропа 8,0—8,3, питающей воды — 5,5—6,0.

Для снижения щелочности сока II сатурации на 0,01 % СаО расходуется 9,5 кг серы на 100 т свеклы. На практике расход серы на сульфитацию сока, сиропа и питающей воды для диффузионной установки составляет соответственно (% к массе свеклы: 0,015, 0,010 и 0,015, или всего около 40 кг на 100 т свеклы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем объясняется необходимость очистки диффузионного сока?
2. Из каких основных стадий состоит аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с горячей оптимальной преддефекацией?
3. Из каких основных стадий состоит типовая аппаратурно-технологическая схема очистки диффузионного сока с холодной прогрессивной преддефекацией и комбинированной холодно-горячей дефекацией?
4. Как растворяется известь в воде и сахарных растворах и каково при этом влияние температуры?
5. Что такое активная и суммарная щелочность сока?
6. В чем суть предварительной дефекации сока? В какой аппаратуре и при каком режиме она осуществляется?
7. Какие химические реакции протекают при предварительной дефекации сока?
8. В чем различие оптимальной и прогрессивной предварительной дефекации сока?
9. В чем заключается основная дефекация сока?

10. Какие химические реакции протекают при основной дефекации сока?
11. Как проводится основная дефекация сока?
12. Что такое I сатурация и какие химические реакции протекают при этом?
13. Дайте определение натуральной щелочности. Как компенсируется ее недостаток в соке?
14. Как проводится I сатурация?
15. Как определить количество использованного CO_2 при I сатурации сока?
16. Что такое оптимальная щелочность сока II сатурации?
17. Как определяется эффект очистки диффузионного сока?
18. Как вычислить массу очищенного сока?
19. Объясните, что такое учтенные и неучтенные потери сахарозы.
20. Зачем процесс дефекации разделен на предварительный и основной, а процесс сатурации — на I и II стадии?
21. Какие изменения происходят в соке при его сульфитации?
22. В чем отличие сульфитационного газа от диоксида серы?
23. Каковы устройство и принцип действия оросительного и жидкостно-струйного сульфитаторов?

Глава 6

ФИЛЬТРОВАНИЕ СОКОВ (СИРОПА)

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ

Цель фильтрации — удаление максимально возможного количества взвешенных частиц из сока.

Технологической схемой свеклосахарного производства предусматривается фильтрация сока I сатурации (основное и контрольное), сока II сатурации, сиропа с клеровкой.

Фильтрация сока I сатурации для повышения производительности вакуум-фильтров проводится в две стадии: сначала сок в отстойниках или фильтрах-сгустителях разделяется на декантат (осветленная часть сока) и гущенную суспензию (жидкая среда со взвешенными в ней твердыми частицами). Затем гущенную суспензию направляют в вакуум-фильтры. Фильтрат из вакуум-фильтров и декантат из отстойников смешивают и еще раз пропускают через контрольные фильтры.

В качестве опорных фильтрующих перегородок в фильтрах используются перфорированные листы, металлические сетки из коррозионностойкой стали или цветных металлов, ткани из синтетических материалов и хлопка. Для предотвращения закупоривания пор фильтрующей перегородки и сохранения высокой скорости фильтрации применяются намываемые на них фильтрующие вещества: диатомит (кизельгур), фильтроперлит, волокно целлюлозы и др.

Производительность фильтра определяется скоростью фильтрации, т. е. массой фильтрата, проходящего через 1 м^2 фильтрующей перегородки в единицу времени. Скорость фильтра-

ния прямо пропорциональна разности давлений, создаваемых по обеим сторонам фильтрующей перегородки, и обратно пропорциональна сопротивлению, испытываемому жидкостью при ее движении через поры перегородки и слой образовавшегося осадка.

Различают два вида осадков: несжимаемые, состоящие в основном из кристаллических частиц, и сжимаемые, представленные главным образом аморфными деформируемыми частицами.

С изменением давления в несжимаемых осадках взаимное расположение частиц не меняется, а следовательно, не меняются и размеры пор, через которые проходит жидкость. Скорость фильтрования суспензий в этих условиях растет с увеличением давления на жидкость, а при постоянном давлении зависит только от толщины слоя осадка.

Подвергаемые фильтрованию соки I и II сатураций являются суспензиями с низкой вязкостью и значительным содержанием твердой фазы, которая по химическому составу представляет собой почти чистый кристаллический карбонат кальция, образующий несжимаемый осадок. Поэтому фильтрование хорошо отсатурированных соков подчиняется закономерностям процесса с образованием несжимаемого осадка на несжимаемой фильтровальной перегородке.

При переработке порченой свеклы или нарушении технологии очистки получают соки со слизистыми осадками. Под давлением они частично сжимаются, в результате чего уменьшается их объем и сужаются капиллярные каналы в фильтрующем слое.

Следствие этого — снижение скорости фильтрования, которая в данных условиях с повышением давления увеличивается непропорционально.

Давление, при котором достигается максимальная скорость фильтрования, называется критическим. Для соков I и II сатураций оно составляет 0,3—0,4 МПа. С повышенном длительности фильтрования на фильтрующей перегородке увеличивается слой осадка и растет его сопротивление, в результате чего процесс фильтрования замедляется.

В зависимости от характера осадка определяется предельно допустимая толщина слоя и на основании этого для периодически действующих фильтров составляется график очистки фильтрующей перегородки. В непрерывнодействующих вакуум-фильтрах слой фильтрационного осадка снимается непрерывно, а оптимальная толщина его регулируется изменением частоты вращения барабана.

При высокой температуре вязкость сахарных растворов значительно меньше и они быстрее фильтруются. Поэтому перед фильтрованием соки и сироп нагревают до заданной температуры.

ФИЛЬТРОВАНИЕ СОКА I САТУРАЦИИ

Разделение сока I сатурации на осветленную фракцию и сгущенную суспензию. Для получения прозрачного сока и сгущенной суспензии нефильтрованный сок I сатурации, содержащий 4—5 % твердых частиц, направляют в многоярусный отстойник, где под действием силы тяжести осаждаются частицы твердой фазы, т. е. происходит седиментация.

Пятиярусный отстойник (рис. 50) представляет собой вертикальный цилиндрический корпус 1, разделенный по высоте наклонными коническими перегородками 4 на одну верхнюю подготовительную секцию и пять рабочих секций. В центре отстойника вращается полый вал 7 со скребками 8.

Нефильтованный сок I сатурации сначала поступает в верхнюю подготовительную секцию, где от него отделяется пена, затем через окна 6 проходит внутрь вала 7 и с помощью закрепленных на валу патрубков 9 распределяется по секциям.

Отстоявшийся в секциях сок через кольцевые барботеры 2 (диаметром 100 мм) и наружные кольцевые сборники 3 отводится в контрольный переливной сборник 5, а осадок скребками 8 к центру секции и разбавленный соком отводится по трубам 10 в сборник сгущенной суспензии.

Средняя скорость осаждения (седиментации) частиц в сатурационном соке составляет 1 см/мин. Чем больше содержание осадка в соке, тем меньше скорость осаждения. Для обеспечения нормальной работы отстойника подача сока в него и отбор сгущенной суспензии осуществляются равномерно. Из отстойника выходит 75—80 % декантата и 20—25 % сгущенной суспензии. Прозрачность сока регулируется скоростью его отбора из секций.

При переработке свеклы хорошего качества и типовых параметрах сока I сатурации (рН 10,8—11,0, температура 85 °С) нормальная продолжительность отстаивания составляет 90—120 мин, а неучтенные потери сахарозы в отстойнике — примерно 0,03 % к массе свеклы. При поступлении некондиционной свеклы, содержащей много редуцирующих веществ, перед отстаиванием приходится увеличивать рН сока I сатурации до 11,5—11,6 и температуру до 96—98 °С. Продолжительность отстаивания при этом возрастает до 180—240 мин, а неучтенные потери сахарозы — до 0,1 % к массе свеклы. Для интенсификации отстаивания добавляют флокулянты: диффузионный или свекловичный сок, полиакриламид, активную кремниевую кислоту и др.

Для сгущения осадка сока I сатурации применяются листовые фильтры-сгустители периодического действия с площадью поверхности фильтрования 60 и 100 м² (рис. 51).

Фильтры имеют существенные преимущества перед отстойниками, так как отделение осадка в них происходит под давлением 0,07 МПа и скорость сгущения осадка от этого резко уве-

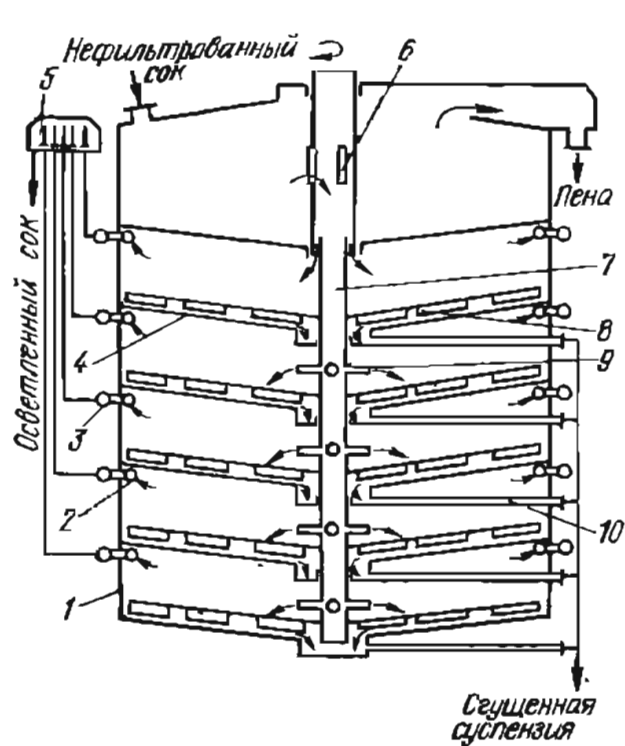


Рис. 50. Пятирусный отстойник сока I сатурации

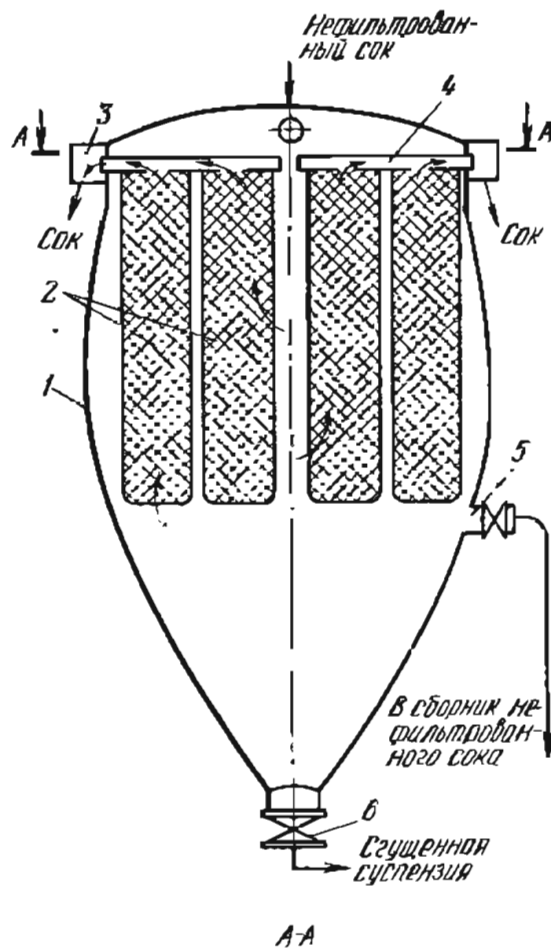


Рис. 51. Листовой фильтр-сгуститель:
1 — корпус; 2 — фильтровальный лист;
3 — сокоприемная коробка; 4 — сокоотводящие трубки; 5 — задвижка частичного опорожнения; 6 — задвижка полного опорожнения



личивается. На выходе из фильтра поддерживается более высокая, чем в отстойниках, плотность сгущенной суспензии, что создает благоприятные условия для работы вакуум-фильтров. Сок I сатурации фильтруется в листовых фильтрах 10—12 мин, поэтому выходит с более низкой цветностью и меньшим содержанием солей кальция, чем из отстойника. Сокращаются неучтенные потери сахарозы, отпадает надобность в контрольном фильтровании сока.

Нефилтрованный сок I сатурации из напорного сборника, установленного примерно на 7 м выше фильтров, поступит через наборную задвижку в верхнюю часть листового фильтра и равномерно распределяется между листами. Для того чтобы тканевые стенки не слипались, рамки внутри заполнены спиральной проволочной сеткой. Под давлением столба жидкости сок проходит внутрь рамок и через сокоотводящие трубки 4 выливается в коробки 3. В фильтрате содержится не более 1 г/л твердой

фазы, и он без контрольного фильтрования направляется на II сатурацию.

В процессе фильтрования толщина осадка на фильтровальных листах постепенно увеличивается, а скорость фильтрования уменьшается. Когда толщина осадка достигнет 20—25 мм, фильтрование сока прекращается. Для этого наборная задвижка закрывается, а задвижка частичного опорожнения 5 открывается. Через нее сок быстро выливается в сборник нефильтованного сока до уровня этой задвижки.

В результате быстрого удаления сока внутри фильтра создается разрежение. Под действием перепада давления внутри и снаружи рамок осадок отслаивается с фильтрующей поверхности и опускается в коническую часть фильтра. На этом заканчивается первый полуцикл фильтрования.

Затем задвижка 5 закрывается, а наборная задвижка открывается, и фильтрование продолжается до накопления новой порции осадка. После повторного сброса осадка коническая часть фильтра оказывается заполненной до уровня задвижки 5. Это второй полуцикл фильтрования.

Через задвижку полного опорожнения 6 сгущенная суспензия выгружается в мешалку и оттуда подается в корыто вакуум-фильтра.

Полный цикл работы фильтра длится около 40 мин, из них на вспомогательные операции затрачивается около 8 мин.

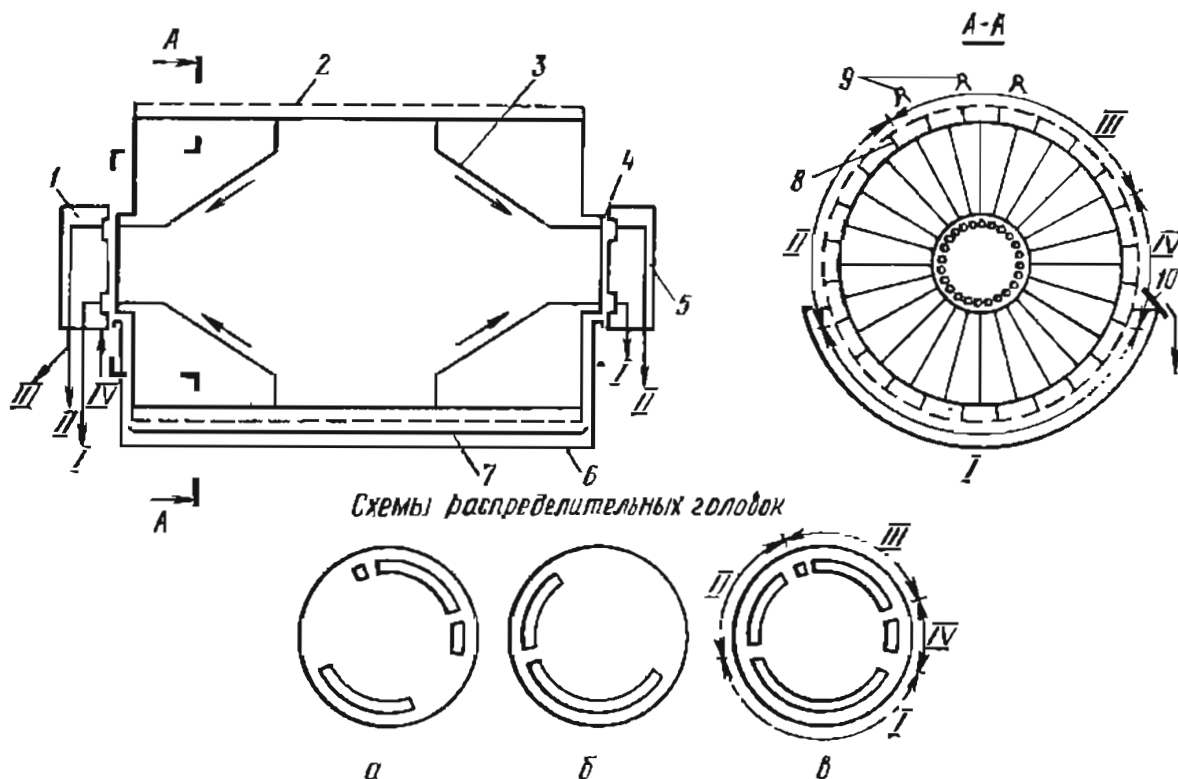


Рис. 52. Схема работы камерного вакуум-фильтра:

1 — левая распределительная головка; 2 — барабан; 3 — сокоотводящие трубки; 4 — торцевая шайба; 5 — правая распределительная головка; 6 — корыто; 7 — качающаяся мешалка; 8 — продольная перегородка; 9 — форсунки; 10 — нож для приема осадка; а — левая; б — правая; в — условно совмещенная левая и правая головки

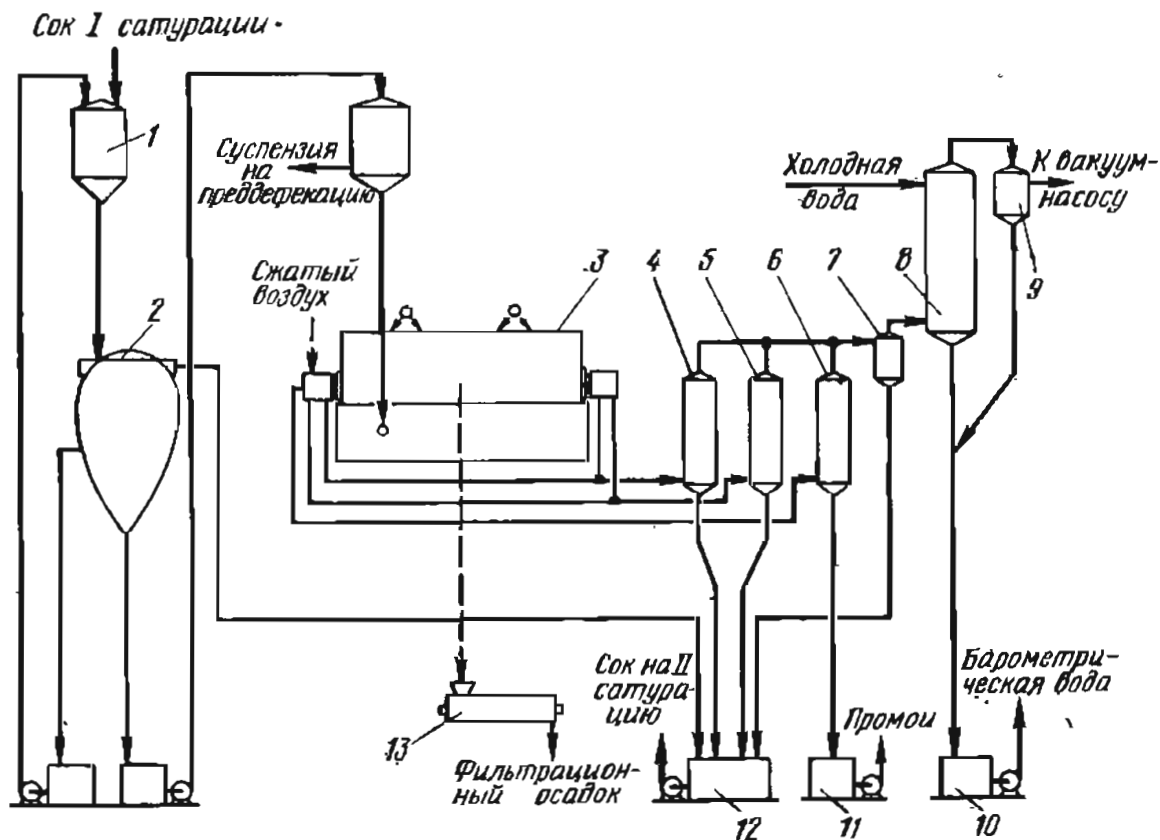


Рис. 53. Схема фильтрования сгущенной суспензии сока I сатурации

Скорость активного фильтрования сока I сатурации, исключая время на вспомогательные операции, составляет примерно $8,4 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$, общая скорость — $7,5 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$.

Фильтры-сгустители на заводах устанавливаются группами, работа их полностью автоматизирована.

Фильтрование сгущенной суспензии. Сгущенная суспензия сока I сатурации фильтруется в камерных вакуум-фильтрах с поверхностью фильтрования 40 м^2 (рис. 52).

На рис. 53 приведена схема фильтрования сгущенной суспензии сока I сатурации.

Перед пуском вакуум-фильтра 3 в работу корыто заполняется сгущенной суспензией, полученной в фильтрах-сгустителях 2, в которые сок поступает из сборника 1. Затем включается электропривод барабана, и с помощью вакуум-компрессора в системе создается разрежение. Вращаясь по часовой стрелке, фильтрующая поверхность барабана погружается в зону фильтрования I с углом 112° (см. рис. 52, вид А—А), где под действием разрежения в правой распределительной головке сок отсасывается внутрь камер, а на поверхности барабана осаждаются частицы осадка. При дальнейшем погружении в корыто слой осадка, а следовательно, и его сопротивление увеличиваются, и в определенный момент подключается также и левая распределительная головка, усиливающая разрежение в камерах фильтра. Отсасываемый фильтрат через обе распределительные головки и вакуум-сборник 4 (см. рис. 53) поступает в емкость

12. При выходе фильтрующей поверхности из корыта фильтрование прекращается.

Далее слой фильтрационного осадка толщиной 8—12 мм поступает в зону первой подсушки и промывки II (см. рис. 52) с углом 105° , где орошается горячим аммиачным конденсатом, распыливаемым через форсунки. Концентрированная промывная вода отбирается через вакуум-сборник 5.

В зоне III с углом 87° происходит повторная промывка и подсушка фильтрационного осадка и отбирается разбавленная промывная вода через вакуум-сборник 6 в емкость 11.

В зоне IV с углом 56° паром или сжатым воздухом, подаваемым через левую головку, проводится отдувка фильтрационного слоя и регенерация ткани. На этом цикл фильтрования, равный полному обороту барабана, заканчивается.

При медленном вращении барабана все его камеры последовательно проходят все зоны фильтрования, в результате чего достигается непрерывность процесса.

Фильтрационный осадок шнеком 13 выводится из завода.

Воздух и пар из верхней части вакуум-сборников 4, 5, 6 (см. рис. 53) откачивается вакуум-компрессором через ловушку 7 в барометрический конденсатор 8, где пар при контакте с холодной водой конденсируется, образуя при этом барометрическую воду с растворенными в ней аммиаком и другими соединениями. Барометрическая вода стекает из конденсатора в сборник 10, а неконденсирующиеся газы, после осушительной ловушки 9, удаляются в атмосферу.

В результате отсоса газов из вакуум-сборников в них создается разрежение, которое передается затем через распределительные головки в камеры барабана вакуум-фильтра.

Уровень сока в вакуум-сборнике 4 должен быть примерно на 0,5 м ниже уровня пола второго этажа сахарного завода, где установлены вакуум-фильтры. Это нужно для создания уклона в 15—20 мм на 1 м длины от вакуум-фильтров к вакуум-сборникам, что обеспечивает хороший отвод сока и предотвращает его выброс из вакуум-сборников в барометрический конденсатор.

Одним из эффективных способов ликвидации перебросов сока в конденсатор и накопления его в спускных трубах вакуум-сборников является установка закрытой емкости 12 вместимостью из расчета 0,8—1,0 м³ на 100 т перерабатываемой в сутки свеклы. Верхняя часть ее соединяется с барометрическим конденсатором через спускную трубу ловушки 7, в результате чего в емкости создается разрежение, даже несколько большее, чем в вакуум-сборниках 4, 5 и 6, что и обеспечивает их нормальную работу.

Скорость активного фильтрования суспензии сока I сатурации в вакуум-фильтрах принята 15 л/(м²·мин).

На потери сахарозы в фильтрационном осадке значительно

влияет величина остаточного давления в зоне фильтрования, зависящая от надежности работы вакуум-конденсационной установки, исправности головок вакуум-фильтров, качества регенерации ткаии, сопротивления в трубопроводах и других факторов. Большое значение имеют также отсутствие трещин в слое фильтрационного осадка и качество его промывки горячим конденсатом, распыливаемым в виде тумана.

Во избежание пептизации несахаров из слоя фильтрационного осадка промывную воду подщелачивают до рН сока I сатурации. При нормальном остаточном давлении (0,030—0,035 МПа) потери сахарозы в фильтрационном осадке составляют 0,10—0,11 % к массе свеклы, при увеличении остаточного давления до 0,040—0,047 МПа они повышаются до 0,15—0,20 % к массе свеклы, а, например, при 0,067 МПа из-за плохой промывки осадка потери сахарозы возрастают до 0,3—0,5 %.

На промывку фильтрационного осадка расходуется 105—110 % аммиачных конденсатов к массе осадка.

У вакуум-фильтров с ножевым съемом осадка плохо регенерируется ткаий, а при отдувке не весь осадок удаляется с поверхности барабана, тем самым снижается производительность. Поэтому для таких фильтров разработана приставка — устройство, состоящее из системы роликов, по которым непрерывно движется сходящая с барабана фильтровальная ткань.

На рис. 54 приведена схема вакуум-фильтра с устройством для схода ткани с осадком.

При переходе ткани 1 со слоем осадка через ролики 2 и 3 она переламывается и освобождается от осадка, который падает в бункер 4. Ткань промывается конденсатом из форсунок и в зону фильтрования поступает чистой. В результате полного отделения осадка и хорошей промывки ткаии производительность вакуум-фильтра с такой приставкой увеличивается примерно в 1,5 раза.

Состав и удаление фильтрационного осадка. В фильтрационном осадке содержится 75—80 % CaCO_3 и 20—25 % органических и минеральных несахаров, в том числе азотистых и безазотистых органических соединений (белка, пектиновых веществ, кальциевых солей щавелевой, лимонной, яблочной и других кислот, сапонины, минеральных веществ и др.). Влажность фильтрационного осадка около 50 %.

Выход фильтрационного осадка зависит от массы вводимой извести. При расходе 3 кг СаО на 100 кг свеклы на сатурации образуется $3 \times 100 / 56 = 5,36$ кг карбоната кальция, где 56 — мо-

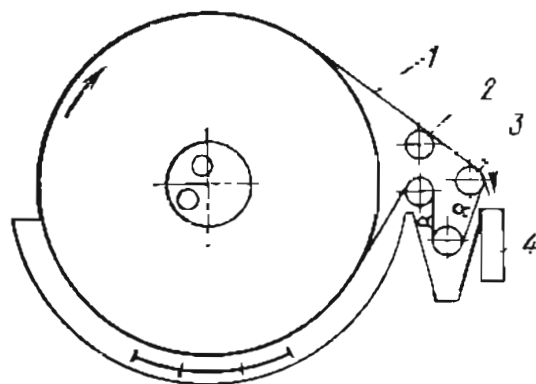


Рис. 54. Схема вакуум-фильтра с устройством для схода фильтрующей ткани с осадком

лекулярная масса СаО. При влажности 50 % масса осадка увеличивается вдвое, а с учетом иесахаров, осаждаемых с СаСО₃, ее можно принять 12—13 кг на 100 т свеклы, т. е. равной примерно четырехкратному расходу извести на очистку. При содержании в фильтрационном осадке 1 % сахарозы потери ее к массе свеклы составят $12 \times 1/100 = 0,12$ %.

На ряде сахарных заводов фильтрационный осадок сока I сатурации разбавляют 5-кратным количеством воды и откачивают в отходы. При выходе 12 % осадка к массе свеклы на его разбавление расходуется 60 % воды к массе свеклы, которую затем нужно подвергать очистке. Чтобы снизить массу сточных вод, необходимо применять пневматический способ удаления осадка (без разбавления водой) на специальные площадки с дренажными трайшеями. Для этого осадок спускают в горизонтальный шнек с растирателем на конце и карманами для улавливания камией. Растиратель представляет собой цилиндрическое сито с отверстиями 20×20 мм. Из шнека осадок с помощью насоса и сжатого воздуха транспортируется по пневмотрубопроводу к месту выгрузки. При поворотах в пневмотрубопроводе через сопла подается сжатый воздух под давлением 0,35—0,40 МПа.

Фильтрационный осадок чаще всего используется в сельском хозяйстве как удобрение для известкования кислых почв. Иногда его применяют в смеси с известковым молоком для ускорения отстаивания транспортерно-мочных вод в отстойниках.

ФИЛЬТРОВАНИЕ СОКА II САТУРАЦИИ (СИРОПА)

Для контрольного фильтрования сока I сатурации и фильтрования сока II сатурации применяют дисковые фильтры (ФД) с площадью поверхности 80 и 100 м², работающие под избыточным давлением 0,15—0,20 МПа (рис. 55).

Нефильтрованный сок поступает в корпус 3 дискового фильтра через желоб шнека 6, фильтруется под давлением через ткань внутри дисков 4 и выводится через сокоотводящие трубки 1 в приемник 2. На поверхности фильтрующей ткани постепенно оседает осадок.

При достижении определенной толщины слоя или резком повышении давления подача нефильтрованного сока прекращается и оставшийся сок спускается в сборник перед насосом нефильтрованного сока.

Фильтрационный осадок смывается с поверхности вращающихся дисков фильтрованным соком I или II сатурации, поступающим через форсунки соплового аппарата 9 в пространство между дисками, и противотоком — в диски. Виизу фильтрационный осадок проходит через поперечные щели в корпусе фильтра в желоб шнека и выводится в сборник сгущенной суспензии перед вакуум-фильтрами.

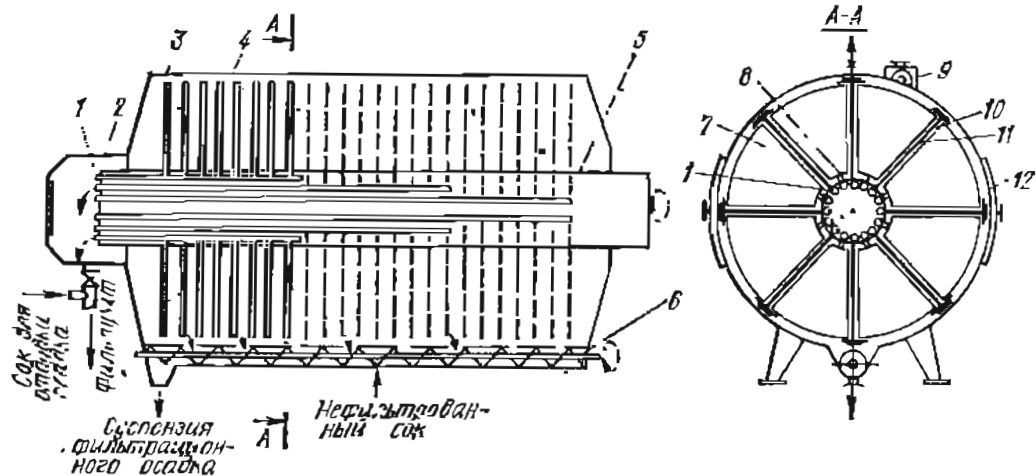


Рис. 55. Дискový фильтр:

1 — сокоотводящая трубка; 2 — приемник сока; 3 — корпус фильтра; 4 — фильтрующий диск; 5 — полый вал; 6 — шнек; 7 — сектор диска; 8 — штуцер; 9 — сопловой аппарат; 10 — накладка; 11 — шпилька; 12 — крышка люка

На смыв осадка расходуется около 1 % фильтрованного сока к его массе.

Цикл активного фильтрования на дисковых фильтрах определяется заранее и выгрузка осадка проводится по графику. Вспомогательные операции в цикле занимают около 30 мин.

Обычно цикл фильтрования сока II сатурации составляет 12—16 ч, контрольного фильтрования сока I сатурации — 8 ч, средняя скорость фильтрования этих соков — соответственно 8 и 6 л/(м²·мин).

Для фильтрования сиропа с клеровкой, содержащего небольшое количество высокодисперсного осадка, применяются дисковые фильтры с площадью поверхности 146 м² (модернизированный дисковый фильтр на 80 м², в корпусе которого вместо 24 дисков размещено 46). Перед фильтрованием на поверхность дисков намывается слой фильтроперлита (0,3 кг на 1 м²). Средняя скорость фильтрования сиропа с клеровкой 2 л/(м² × мин). Фильтрационный осадок смывается противотоком фильтрованного сока II сатурации.

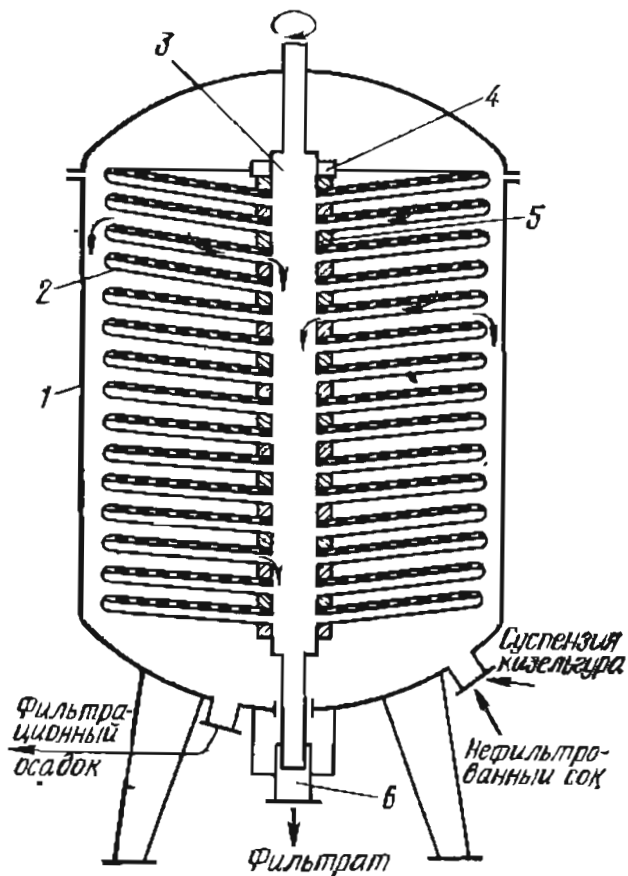


Рис. 56. Фильтр с центробежной выгрузкой осадка:

1 — корпус фильтра; 2 — фильтрующая тарелка; 3 — полый вал; 4 — стяжная гайка; 5 — распорное кольцо; 6 — патрубок

Кроме дисковых фильтров для фильтрования сока II сатурации и сиропа с клеровкой применяются тарельчатые фильтры с центробежной выгрузкой осадка (ФЦВО) с площадью поверхности фильтрования 40 м^2 (рис. 56).

Цикл фильтрования начинается с того, что на фильтрующую поверхность тарелки 2 намывается слой фильтроперлита ($0,3 \text{ кг}$ на 1 м^2). Затем по этому же трубопроводу под давлением $0,10—0,15 \text{ МПа}$ подается сок II сатурации (или сироп с клеровкой). Взвеси задерживаются в слое фильтроперлита, а фильтрат проходит через полости тарелок внутрь полого вала 3 и отбирается через патрубок 6 снизу. Во время фильтрования тарелки неподвижны.

Цикл фильтрования заканчивается, когда избыточное давление в фильтре повысится до $0,30—0,35 \text{ МПа}$.

Для удаления фильтрационного осадка через вал в тарелки противотоком подается фильтровальный сок II сатурации и приводится во вращение вал с пакетом тарелок (частота вращения 270 об/мин).

С помощью противотока сока и возникающей центробежной силы осадок сползает с тарелок, опускается вниз и направляется в сборник суспензии перед вакуум-фильтрами.

Средняя скорость фильтрования сока II сатурации $20 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$, сиропа с клеровкой плотностью 60% сухих веществ $5 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$.

Цикл фильтрования сока II сатурации $4—6 \text{ ч}$, сиропа около 8 ч .

Преимущество фильтров ФЦВО состоит в том, что горизонтальное расположение осадка на тарелках обеспечивает равномерную и эффективную работу всей фильтрующей поверхности. В слое осадка не образуется трещин или утолщенных участков, как это бывает при изменении давления в фильтрах с вертикальными фильтрующими элементами, когда слой осадка сползает вниз.

Для увеличения производительности фильтров при фильтровании сиропа с клеровкой в него насосом-дозатором добавляют фильтровальный порошок.

Фильтровальная сетка регенерируется последовательной обработкой $4—5 \%$ -ным раствором NaOH и $2—3 \%$ -ным раствором HCl .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните значение процесса фильтрования в сахарном производстве. Как зависит скорость фильтрования сахарных растворов от температуры?
2. Перечислите и дайте краткую характеристику оборудования, применяемого для отстаивания и фильтрования сока I сатурации.
3. Из каких основных операций складывается процесс фильтрования сгущенной суспензии сока I сатурации в вакуум-фильтре?
4. Как определить массу фильтрационного осадка?
5. Назовите фильтры, в которых фильтруется сок II сатурации и объясните принцип их действия.

Глава 7

СГУЩЕНИЕ СОКА ВЫПАРИВАНИЕМ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СГУЩЕНИИ СОКА ВЫПАРИВАНИЕМ

Цель сгущения сока. Очищенный сульфитированный сок представляет собой ненасыщенный раствор сахарозы и несахаров. Если сок сгустить до пересыщения сахарозы, то ее можно выделить кристаллизацией.

Сгущение сока осуществляется в два этапа: вначале сок сгущается в выпарной установке, а затем в вакуум-аппарате. При сгущении сиропа в вакуум-аппарате, когда наступает пересыщение, часть сахарозы выкристаллизовывается, образуя смесь кристаллов сахарозы и межкристалльной жидкости, называемую утфелем. Всего из очищенного сока выпаривается 110—115 % воды к массе свеклы.

Разделение процесса сгущения сока выпариванием на два этапа обусловлено тем, что на первом этапе вязкость сока еще небольшая и имеется возможность проводить сгущение его в многокорпусных выпарных установках, снабженных развитой теплообменной поверхностью. Это дает возможность снизить удельный расход топлива примерно в 2,5 раза по сравнению с однократным сгущением, отбирая при этом часть вторичного пара на технологические нужды. Кроме того, с увеличением концентрации сухих веществ в соке происходит уменьшение растворимости солей кальция и выпадение осадка, бикарбонаты кальция превращаются в карбонаты, нарастают цветность и содержание редуцирующих веществ. Поэтому перед подачей сиропа в вакуум-аппараты его необходимо сульфитировать и фильтровать, то возможно только при концентрации сухих веществ до 70 %, т. е. когда сироп обладает хорошей текучестью.

На втором этапе, когда сгущается вязкий сироп, проводится однократное выпаривание в вакуум-аппаратах.

Масса выпариваемой воды W . Величина W зависит от содержания сухих веществ в очищенном соке CB_1 и в сиропе CB_2 . Ее можно вычислить, используя уравнение баланса сухих веществ.

$$Q_1 CB_1 / 100 = Q_2 CB_2 / 100, \quad (11)$$

Сухие вещества Сухие вещества
сока сиропа

где Q_1 и Q_2 — масса соответственно очищенного сока и сиропа, % к массе свеклы.

Q_1 определяется по уравнению баланса сахарозы в свекле и очищенном соке. Затем вычисляется Q_2 .

$$Q_2 = Q_1 CB_1 / CB_2, \quad (12)$$

тогда

$$W = Q_1 - Q_2 = Q_1 - (Q_1 CB_1 / CB_2) = Q_1 (1 - CB_1 / CB_2). \quad (13)$$

Пример. Содержание сахарозы в свекле 16,3 %, в очищенном соке 12 %, сухих веществ в соке 13,3 %, в сиропе 61,8 %. Общие потери сахарозы до выпарной установки 0,7 % к массе свеклы. На растворение сахара II и III кристаллизаций расходуется 4,5 % очищенного сока к массе свеклы. Вычислить Q_1 , Q_2 и W (в % к массе свеклы).

Масса очищенного сока, поступающего на выпаривание,

$$Q_1 = \frac{(16,3 - 0,7) 100}{12} - 4,5 = 125,5.$$

Масса сиропа

$$Q_2 = 125,5 \frac{13,3}{61,8} = 27.$$

Масса выпариваемой воды

$$W = 125,5 - 27 = 98,5.$$

Принцип многократного использования пара и общие понятия о выпаривании сока. Сок сгущается в выпарных аппаратах, представляющих собой трубчатые теплообменники, обогреваемые водяным паром с более высокой температурой, чем кипящий сок, поэтому теплота пара через поверхность нагрева передается соку. Сок кипит, выделяя вторичный пар, а греющий пар конденсируется в воду. Здесь происходит как бы обмен теплотой за счет скрытой теплоты парообразования (количества теплоты, затрачиваемой при данной температуре на выпаривание единицы массы жидкости), т. е. греющий пар отдает свою скрытую теплоту парообразования и удаляется в виде конденсатной воды, а вода из сока, получив эту теплоту, выводится в виде пара.

Скрытая теплота парообразования для греющего и вторичного паров примерно одинаковая, поэтому 1 кг греющего пара, поступающего в выпарной аппарат, из сока выпаривает 1 кг воды (при условии, что сок заранее нагрет до кипения). Если выпаривать сок в одном аппарате, то на удаление 98,5 кг воды будет израсходовано столько же греющего пара и еще на нагревание промежуточных продуктов — около 50 кг пара, всего 148,5 кг на 100 кг переработанной свеклы.

При сжигании 1 кг условного топлива с теплотворной способностью 29310 кДж (7000 ккал) из воды образуется 8 кг пара. Следовательно, расход условного топлива составит $148,5/8 = 18,5$ кг, или 18,5 %. Это очень большая величина, и чтобы снизить ее, на заводах применяется принцип многократного использования теплоты греющего пара. Многократное испарение проводится в выпарной установке, состоящей из нескольких, чаще всего из четырех, последовательно соединенных между собой выпарных аппаратов (корпусов) и концентратора.

Сок поступает в I корпус, обогреваемый отработавшим в турбогенераторе паром. Здесь из сока выпаривается часть

воды и образуется вторичный пар. Сгущенный сок перетекает во II корпус, где выпаривается из него еще часть воды, и так до последнего корпуса или концентратора, откуда выходит уже сироп. Вторичный пар, образовавшийся в I корпусе, направляется на обогрев II корпуса, вторичный пар из II корпуса — на обогрев III корпуса, из III — на обогрев IV. В четырехкорпусной выпарной установке без отбора вторичных паров теплом 1 кг отработавшего пара можно выпарить 4 кг воды (кратность испарения 4). При отборе вторичных паров на нагревание различных продуктов кратность испарения снижается до 2,5.

В результате многократного использования пара в выпарной установке и рационального потребления вторичного тепла (утфельных паров, конденсатов и др.) расход условного топлива на сахарном заводе снижается до 6—6,5 % к массе свеклы (на передовых заводах до 5—5,5 %).

Вторичные пары в выпарной установке образуются в кипящем соке, температура кипения которого всегда выше температуры кипения воды и зависит от концентрации в нем сухих веществ и доброкачественности, а также от давления в выпарных аппаратах.

Повышение температуры кипения сахарных растворов относительно температуры кипения воды называется температурной депрессией (от латинского depression — подавление).

Температурная депрессия снижает полезную разность температур между температурой пара, греющего данный корпус, и температурой кипения сока.

Суммарная полезная разность температур является основной движущей силой теплообмена в выпарной установке.

Существует еще и гидродинамическая температурная депрессия, которая представляет собой понижение температуры и давления в паропроводах, соединяющих смежные корпуса выпарной установки, и в сепарирующих устройствах вследствие гидродинамического сопротивления и потерь тепла в окружающее пространство. Величина ее на одну ступень выпаривания не превышает 1 °С.

В четырехкорпусной выпарной установке при температуре греющего пара в I корпусе 132 °С и температуре вторичного пара в последнем IV корпусе 85 °С суммарная полезная разность температур (Δt) с учетом температурной и гидродинамической депрессии составит

$$\Delta t = (132 - 85) - (0,5 + 1 + 2,5 + 4) - (4 - 1) = 36^\circ \text{C},$$

где 0,5; 1; 2,5 и 4 — температурная депрессия соответственно в I, II, III и IV корпусах; (4—1) — гидродинамическая температурная депрессия.

Таким образом, при условии равномерного распределения температуры на каждую ступень выпарной установки приходится 9 °С полезной используемой теплоты. На практике суммарная полезная разность температур распределяется между ступенями выпаривания с учетом температуры вторичных паров, отбираемых на нагревание промежуточных продуктов в производстве. При этом для обеспечения устойчивого теплообмена температура вторичного пара должна быть выше конечной температуры продукта на 6—7 °С.

СТУЩЕНИЕ СОКА В ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ

Технология и режим сгущения сока. От работы выпарной установки зависят производительность завода, расход топлива, потери сахарозы, качество товарного сахара.

Многокорпусные выпарные установки, применяемые на сахарных заводах, классифицируются по числу ступеней (корпусов) выпаривания на трех-, четырех- и пятикорпусные. В настоящее время в качестве типовой на сахарных заводах применяется тепловая схема с четырехкорпусной выпарной установкой и концентратором. Последний корпус работает под разрежением.

В XI пятилетке планируется внедрение более экономичной тепловой схемы с пятикорпусной выпарной установкой без концентратора с повышенным температурным режимом.

В выпарных аппаратах (рис. 57), которыми укомплектована такая выпарная установка, осуществляется многократная естественная циркуляция сока. Выпариваемый сок подается под нижнюю трубную решетку выпарного аппарата и частично заполняет кипяtilьные трубы греющей камеры 1. При кипении (в результате образования пузырьков пара) объем сока увеличивается, он заполняет кипяtilьные трубы полностью и выливается над верхней трубной решеткой, пузырьки лопаются, пар скапливается в надсоковом пространстве 7 корпуса 2, а сок по циркуляционной трубе 10 опускается вниз. Часть сгущенного сока вместе со свежим вновь поступает в кипяtilьные трубы, а часть выводится в следующий выпарной аппарат.

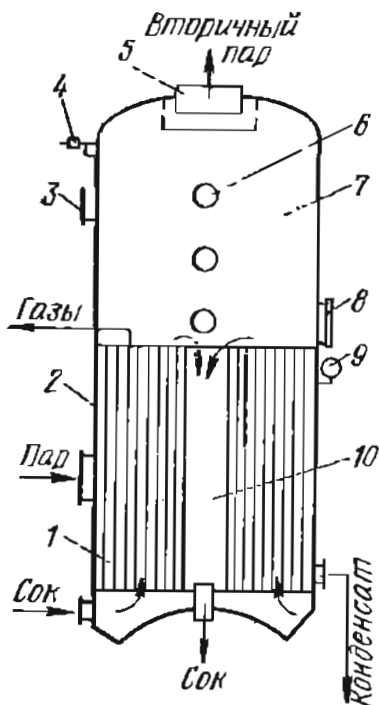


Рис. 57. Выпарной аппарат с многократной естественной циркуляцией сока

Естественная циркуляция сока происходит вследствие разницы плотностей столба паросоковой смеси в кипяtilьных трубах и столба сока в циркуляционной трубе. Плотность паросоковой смеси всегда меньше плотности некипящего сока и зависит от содержания в ней пара.

Высота уровня сока в кипяtilьных трубах имеет важное значение для нормальной работы выпарных аппаратов и поддерживается на таком уровне, чтобы верхняя трубная решетка только омывалась кипящим соком. Оптимальный уровень некипящего сока в аппаратах четырехкорпусной выпарной установки должен быть (в % к общей высоте кипяtilьных труб): в I 30—35, во II 35—40, в III 40—45, в IV 45—50, в концентраторе 50—55. При меньшем уровне сока верхняя часть поверхности на-

грева не будет омываться соком, что приведет к снижению производительности аппаратов и пригоранию сиропа на стенках. Если уровень сока в трубах превышает оптимальный, то снижается интенсивность теплопередачи, ухудшается циркуляция сока и становится возможным переброс продукта в греющую камеру следующего корпуса.

Вторичный пар из надсокового пространства отводится через щелевой сепаратор 5, а уловленные капли возвращаются в сок.

Выпарные аппараты работают непрерывно, т. е. в них непрерывно поступает жидкий сок на сгущение и непрерывно из них отводится сгущенный сироп.

Для контроля и регулирования режима работы выпарной аппарат снабжен термометром 3, предохранительным клапаном 4, смотровыми стеклами 6, указателем уровня сока 8, манометром 9. IV корпус установки и концентратор снабжены еще и мановакуумметрами.

Для снижения потерь тепла наружную поверхность выпарных аппаратов покрывают теплоизоляционным слоем.

На рис. 58 приведена схема четырехкорпусной выпарной установки с концентратором.

Перед сгущением сульфитированный сок нагревается под давлением в многоходовых теплообменниках 13 до кипения (126°C) и направляется в I корпус 6 выпарной установки, где из него выпаривается часть воды, образуя вторичный пар. Из I корпуса сок последовательно проходит в II, III, IV корпуса и концентратор K, сгущаясь до определенной плотности.

Отработавший в турбогенераторе пар подается только в паровую камеру I корпуса, следующий корпус обогревается вто-

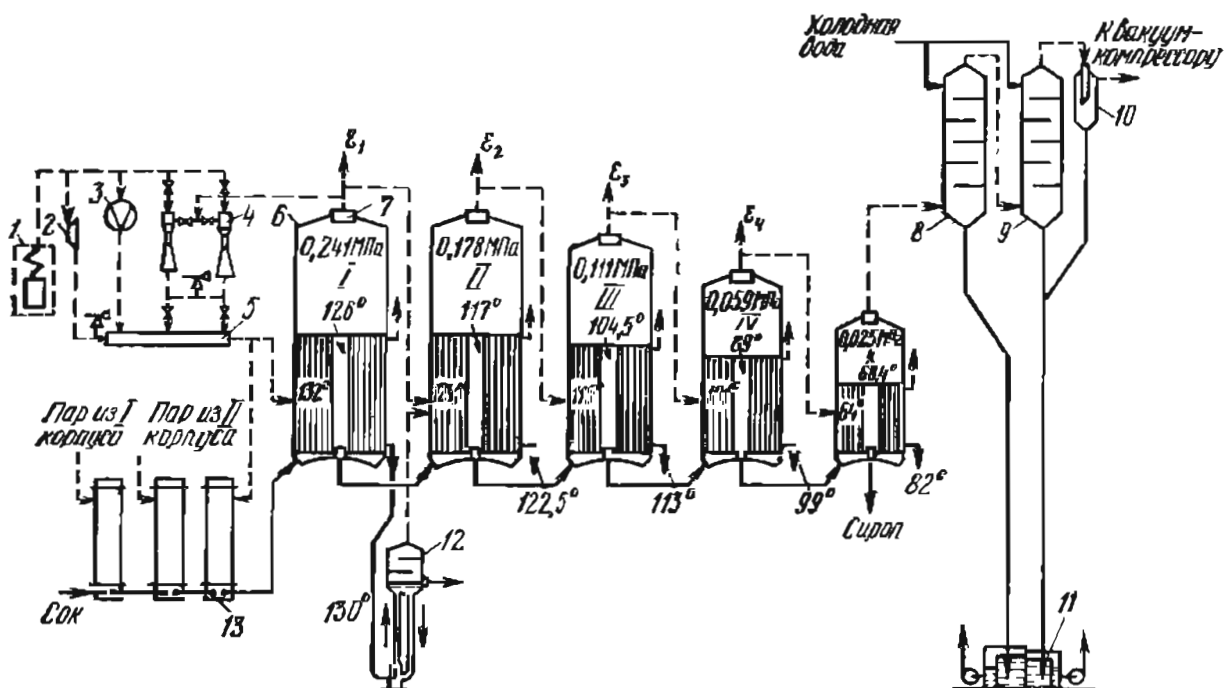


Рис. 58. Схема четырехкорпусной выпарной установки с концентратором

ричным паром предшествующего корпуса, предварительно освобождаясь в сепараторе 7 от капель сока. Концентратор не обогревается паром, в нем происходит только самонспарение воды за счет перепада давления. При избытке вторичного пара в IV корпусе, по каким-либо причинам не израсходованного на другие технологические нужды, предусмотрена подача его в греющую камеру концентратора. Часть вторичного пара из I корпуса может возвращаться с помощью теплового насоса 4 в паросборник 5.

Многokратное использование теплоты пара в выпарной установке возможно лишь при условии, что температура кипения сока, а следовательно, и давление в корпусах будут понижаться от первого до последнего. Для создания разности давления I корпус обогревается отработавшим паром с избыточным давлением около 0,3 МПа и температурой 132°C, а концентратор через конденсаторы смешения соединяется с вакуум-компрессором.

В результате конденсации вторичного пара в конденсаторах смешения создается остаточное давление 0,017—0,021 МПа, что и обеспечивает кипение сока в IV корпусе выпарной установки при температуре 89°C и в концентраторе при 68,4°C.

Примерное распределение давления греющего пара и вторичного по корпусам выпарной установки и рекомендуемый температурный режим в них приведены в табл. 6.

Температура и давление в промежуточных корпусах этой установки не регулируются, они устанавливаются сами собой на определенном уровне в зависимости от соотношения размеров площади поверхности нагрева этих корпусов и пароотбора на технологические нужды.

Полезная разность температур в I и II корпусах принимается не менее 6°C, в последующих — 10—12°C. Увеличение по-

Т а б л и ц а 6

Параметры пара и сока	Корпуса выпарной установки				Концентратор
	I	II	III	IV	
Температура, °C					
греющего пара	132	124,5	115	101	84
кипения сока	126	117	104,5	89	68,4
вторичного пара	125,5	116	102	85	65
конденсата	130	122,5	113	99	82
Полезная разность температур, °C	6	7,5	10,5	12	15,6
Температурная депрессия, °C	0,5	1	2,5	4	3,4
Давление пара, МПа					
греющего	0,292	0,233	0,172	0,107	0,057
вторичного	0,241	0,178	0,111	0,059	0,0255

лезной разности температур в последних корпусах вызвано повышенем вязкости сгущаемого сока и уменьшением вследствие этого коэффициента теплопередачи. Чем больше в выпарном аппарате с многократной естественной циркуляцией температурный перепад между греющим паром и кипящим соком, тем выше скорость циркуляции сока и коэффициент теплопередачи, меньше накипеобразование и размеры аппарата, а также длительность пребывания в нем сока.

Однако во избежание интенсивного разложения сахарозы температура кипения сока в I корпусе ограничивается 126—128 °С, а температура кипения сока в последнем корпусе не может быть ниже 60 °С.

Конденсация вторичных паров. В комплекте с четырехкорпусной выпарной установкой с концентратом работает двухступенчатая вакуум-конденсационная установка (см. рис. 58). Она состоит из предконденсатора 8, основного конденсатора смешения 9, каплеловушки 10, сборника барометрической воды 11 и вакуум-компрессора.

На сахарных заводах используется противоточный полочный конденсатор смешения, представляющий собой вертикальный цилиндрический сосуд с горизонтальными полками. Снизу в него поступает вторичный пар, а на верхнюю полку — холодная вода. Переливаясь с полки на полку, вода каскадами стекает вниз навстречу пару. При контакте с водой пар конденсируется, создавая в аппарате сильное разрежение, так как 1 кг пара занимает объем, примерно в 1600 раз больший, чем 1 кг конденсата. Неконденсирующиеся газы освобождаются в каплеловушке от капель и непрерывно отсасываются вакуум-компрессором.

Смесь конденсата с охлаждающей водой (барометрическая вода) по вертикальной трубе стекает в сборник 11. В трубе поддерживается уровень воды, соответствующий остаточному давлению в конденсаторе 0,017—0,021 МПа. Излишняя против этой уравнивающей высоты вода через открытый нижний конец трубы выливается в сборник. Высота барометрической трубы должна быть не менее 11 м, чтобы предотвратить попадание через нее воздуха в конденсатор.

Вторичный пар из концентрата выпарной установки подведен сначала к предконденсатору 8, куда холодная вода подается в недостаточном количестве, вследствие чего пар конденсируется не полностью, но зато в сборник 11 выводится горячая вода, пригодная для технологических целей. Несконденсировавшийся пар из предконденсатора переходит в основной конденсатор 9, где полностью конденсируется. Барометрическая вода выходит из него во второй отсек сборника 11 температурой 40—45 °С.

Кроме полочного конденсатора смешения применяются также поверхностные конденсаторы с площадью поверх-

ности теплообмена 1000 м². Для завода мощностью 3 тыс. т свеклы в сутки достаточно одного такого аппарата.

Кондиционирование отработавшего пара. Источником греющего пара для I корпуса выпарной установки и некоторых других потребителей является теплоэлектроцентраль (ТЭЦ). В котлах высокого давления образуется перегретый пар, называемый острым из-за своих высоких параметров. Например, из паровых котлов, эксплуатируемых на новых свеклосахарных заводах, выходит острый пар с избыточным давлением 3,5 или 4,0 МПа, температурой 435 или 450 °С, который нельзя использовать для технологических нужд непосредственно. Поэтому сначала острый пар, образовавшийся в паровом котле 1 (см. рис. 58), направляется для выработки электроэнергии в турбогенератор 2, работающий с противодавлением, откуда отработавший (ретурный) пар выходит с избыточным давлением 0,35 или 0,40 МПа и температурой до 143 °С.

В тепловой схеме предусмотрено, что во время наибольшего потребления пара, отработавшего в турбогенераторе, когда его не хватает на технологические нужды, к этому пару нужно добавлять острый пар из паровых котлов. Эта добавка пара называется регулирующей, величина ее (к общему расходу пара на технологические нужды по заводу) составляет 10—15 %. При пропускании через дроссельный (редукционный) клапан 3 острого пара давление его снижается до давления отработавшего пара. Это редуцированный пар.

Отработавший пар и редуцированный перегреты и ненасыщены, поэтому перед использованием в выпарной установке их охлаждают и насыщают водой в редуциционно-охладительной установке (РОУ) до необходимых параметров и подают в паросборник 5 перед I корпусом выпарной установки. Охлаждение и насыщение пара, называемое кондиционированием, осуществляется автоматически.

Отвод конденсата. Образующийся в выпарных аппаратах и других теплообменниках конденсат препятствует доступу пара к поверхности нагрева, поэтому с помощью конденсатоотводчиков его систематически отводят в сборники. Конденсат отработавшего греющего пара используется для питания паровых котлов, а вторичных паров (аммиачный конденсат) — для нагревания различных промежуточных продуктов.

В качестве конденсатоотводчиков применяются гидравлические колонки 12 с наружным циркуляционным контуром (см. рис. 58), устанавливаемые по одной на каждом корпусе выпарной установки. Принцип их работы основан на создании гидравлического затвора в виде водяного столба достаточной высоты. Это позволяет непрерывно отводить из паровых камер конденсат, не допуская прорыва пара в сборники конденсатных вод. Столб конденсата в гидравлической колонке компенсирует разность давлений до и после нее.

Конденсат из выпарного аппарата, а также от других теплообменных аппаратов, обогреваемых паром с примерно одинаковой температурой, подводится в гидравлическую колонку, поднимается вверх и через воронку свободно выливается в сепаратор. В результате пониженного давления в сепараторе происходит самоиспарение конденсата и отделение прорвавшихся с ним пузырьков пара. Часть конденсата отводится через патрубок в сборник, а часть по циркуляционной трубе возвращается в сепаратор. Пар самоиспарения, огибая полки в сепараторе, освобождается от капель и выводится в паровую камеру следующего выпарного аппарата. Например, пар самоиспарения, выделенный из конденсата I корпуса выпарной установки, добавляется к вторичному пару этого же корпуса и используется для обогрева II корпуса.

Гидравлическая колонка снабжена термометром, манометром и водомерным стеклом.

Отвод неконденсирующихся газов. Из паровых камер выпарных аппаратов, теплообменников, вакуум-аппаратов, конденсатных колонок непрерывно отводятся неконденсирующиеся газы (аммиак, диоксид углерода и др.), содержащиеся во вторичных парах. Наличие газов в греющем паре сильно снижает теплоотдачу при конденсации, так как, накапливаясь в верхней части паровых камер, они препятствуют притоку пара к поверхности теплообмена.

Неконденсирующиеся газы выводятся из верхней части паровых камер по трубам (оттяжкам) в пространство с давлением пара на одну ступень ниже, чем давление греющего пара, т. е. из паровой камеры I корпуса в паровую камеру II, из паровой камеры II корпуса в паровую камеру III корпуса и т. д. до конденсатора смешения. При таких условиях отводимый с газами пар не теряется бесполезно, кроме того, вследствие разности давлений создается непрерывное движение газа от I корпуса к конденсатору смешения.

Из паровых камер теплообменников и вакуум-аппаратов газы выводятся в паровую камеру корпуса выпарной установки, следующего за тем корпусом, паром которого обогревается данная паровая камера. Газовые (аммиачные) оттяжки устанавливаются в самой верхней части паровых камер, где скапливаются неконденсирующиеся газы. На газовой оттяжке должен быть регулирующий вентиль. Дополнительно можно ставить диафрагму с отверстием диаметром 3—5 мм.

При нормальной работе вентили аммиачных оттяжек должны быть приоткрыты настолько, чтобы труба, отводящая газы, была теплой на ощупь. Тогда потери пара с газами будут минимальными.

Иногда неконденсирующиеся газы из паровых камер с избыточным давлением выпускаются в атмосферу, а из камер, где давление ниже атмосферного, отводятся в барометрический

конденсатор. При этом конденсатор и вакуум-компрессор несколько разгружаются, но потери пара увеличиваются.

Неконденсирующиеся газы из паровых камер нельзя вывести в надсоковое пространство выпарных аппаратов, так как это приводит к разжижению сока конденсатом, прорывающимся вместе с газами, и к увеличению его цветности под действием аммиака, содержащегося в неконденсирующихся газах. Попадая из паровой камеры в надсоковое пространство, часть аммиака растворяется в каплях сока и конденсирующегося пара, возвращается в сок и интенсифицирует реакции образования красящих веществ.

ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В СОКЕ ПРИ СГУЩЕНИИ ЕГО ВЫПАРИВАНИЕМ

При сгущении в соке происходят некоторые химические превращения: изменение рН, разложение сахарозы и моносахаридов, образование красящих веществ и выпадание осадков. Эти изменения особенно интенсивно протекают при выпаривании неустойчивых к температурному воздействию соков.

Изменение рН. Обычно при сгущении сока разлагается 0,04—0,06% сахарозы и около 30% редуцирующих сахаров к их массе, образуются органические кислоты, снижающие рН сока. Это снижение не заканчивается в выпарной установке, а продолжается в продуктивном отделении. Наблюдаемое на практике чрезмерное понижение рН сока при выпаривании объясняется незавершенностью химических реакций на дефекации, связанной с малой ее продолжительностью, низкой температурой процесса или переработкой свеклы с высоким содержанием амидов и редуцирующих веществ.

Для поддержания в выпарной установке оптимального значения рН сока (около 8) перед сгущением в него вводят кальцинированную соду, сульфит натрия или калия, тринатрийфосфат.

Увеличение рН сока при выпаривании бывает редко, только когда сок обладает высокой натуральной щелочностью. Если его пересатурировать на II сатурации, то щелочные карбонаты калия или натрия переходят в бикарбонаты. Когда такой сок сгущается в выпарной установке, бикарбонаты вновь превращаются в щелочные карбонаты и рН увеличивается.

Если при сгущении сока происходит повышение рН, то необходимо в заводской лаборатории определить его оптимальное значение на II сатурации и не допускать пересатуривания сока.

Наращение цветности. Цветность в соке при выпаривании нарастает в результате разложения редуцирующих веществ и их взаимодействия с аминосоединениями, а также из-за карамелизации сахарозы. Интенсивность образования красящих ве-

ществ зависит от рН, температуры, концентрации реагентов, продолжительности процесса, наличия ионов железа и др. Например, наиболее интенсивно красящие вещества образуются при рН около 8. Увеличение концентрации исходных реагентов (аминосоединений и редуцирующих веществ) в соке в n раз приводит к повышению цветности в n^2 раз. Ионы железа ускоряют реакции образования красящих веществ в 2—3 раза и т. д.

Одним из наиболее эффективных способов торможения реакций образования красящих веществ в выпарной установке является полное разложение редуцирующих сахаров в процессе очистки сока и минимальное разложение сахарозы при выпаривании.

Немаловажное значение имеет также поддержание оптимального уровня сока в кипятильных трубах и равномерное распределение греющего пара в паровых камерах выпарных аппаратов, что предохраняет поверхность нагрева от пригорания сахара.

Образование осадка. Осадок при сгущении сока выпариванием может образоваться по следующим причинам.

В сиропе (по сравнению с соком) уменьшается растворимость многих солей кальция, и они, находясь в пересыщенном состоянии, выпадают в осадок. В выпарной установке могут продолжаться реакции разложения органических кислот, в том числе оксаминовой кислоты, не закончившиеся в сокоочистительном отделении, с образованием щавелевокальциевой соли. При сгущении сока, пересатурированного на II сатурации, бикарбонат кальция, разлагаясь, образует нерастворимый CaCO_3 . Продолжаются реакции обмена между растворимыми солями кальция и карбонатом калия или натрия с образованием нерастворимого карбоната кальция.

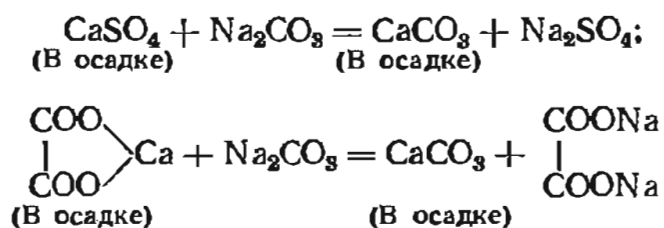
Небольшая часть образующихся осадков (до 20 %) остается в сиропе в виде взвесей, а остальная отлагается на поверхностях нагрева (накипь). Наличие в I корпусе накипи, состоящей преимущественно из CaCO_3 , свидетельствует о нарушении технологического режима на II сатурации.

По корпусам выпарной установки накипь распределяется следующим образом (в % к ее общей массе): I—15; II—25—30; III—40—50; IV—10. Верхняя часть кипятильных труб выпарных аппаратов покрывается накипью быстрее, чем нижняя.

В составе накипи содержится до 60 % кальциевых солей органических кислот (в основном щавелевой). Имеются кальциевые соли кремниевой кислоты, карбонаты кальция и магния, небольшое количество фосфатов, сульфатов и др. Наиболее плотный слой накипи образуют кальциевые соли кремниевой кислоты. Эти соли почти не растворяются в растворах соляной кислоты.

По мере увеличения слоя накипи на поверхностях нагрева производительность выпарной установки снижается. Это приводит к получению более жидкого сиропа. Когда слой накипи в I корпусе достигнет толщины 0,1—0,5 мм, а в последних — 2—3 мм, производят ее удаление с помощью химических реагентов (выварка выпарной установки). Для этого выпарные аппараты поочередно отключают от соковых коммуникаций (порядок движения пара по корпусам остается неизменным), освобождают от сока, заполняют на $\frac{1}{3}$ высоты кипяtilьных труб 6—12%-ным раствором кальцинированной соды и раствор кипятят 150—240 мин.

В результате реакции с кальцинированной содой труднорастворимый в разбавленном растворе соляной кислоты сульфат кальция и другие его соли превращаются в легко растворимые соли (карбонат кальция и др.).



По истечении времени кипячения раствора соды выпарной аппарат освобождают от него, промывают водой, заполняют 1—2,5%-ным раствором соляной кислоты и кипятят 20—50 мин. Образовавшийся при обработке содой карбонат кальция легко растворяется в соляной кислоте, образуя хлорат кальция.

Отработавший раствор соляной кислоты с растворенной в ней накипью сливают, выпарной аппарат тщательно промывают водой до нейтральной реакции и включают в рабочую схему.

Очистку выпарных аппаратов от накипи производят на ходу: сначала обрабатывают последний корпус, затем предпоследний и так до первого. Концентрация соды и кислоты в растворах, применяемых для очистки, начиная от I корпуса до последнего, увеличивается: 6%-ный раствор соды для I корпуса, 12%-ный — для IV корпуса, 0,8%-ный раствор кислоты для I корпуса, 2,5%-ный — для IV корпуса.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит аппаратурно-технологическая схема выпарной установки?
2. Каковы конструкция и принцип действия выпарного аппарата?
3. Как вычислить массу воды, выпариваемой в установке?
4. Объясните принцип действия многокорпусной выпарной установки с многократным использованием пара.
5. Дайте определение понятиям: острый пар, отработавший пар, вторичный пар, редуцированный пар.
6. Что такое температурная депрессия и как она влияет на полезную разность температур?

7. Назовите оптимальный уровень некипящего сока в кипятильных трубах выпарного аппарата.
8. Приведите рекомендуемый температурный режим работы типовой четырехкорпусной выпарной установки с концентратом.
9. Как создается разрежение в последних корпусах выпарной установки?
10. Как отводятся конденсат и неконденсирующиеся газы из выпарных аппаратов?
11. Назовите причины нарастания цветности и образования осадка в соке при его сгущении выпариванием.
12. Как производят удаление накипи из выпарной установки?

Глава 8

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ САХАРА

ЦЕЛЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Кристаллизация сахара — завершающий этап производства. На этом этапе выделяют практически чистую сахарозу.

В сокоочистительном отделении из диффузионного сока удаляется около $\frac{1}{3}$ несахаров, остальные несахара вместе с сахарозой поступают в продуктивное отделение, где почти вся сахароза выкристаллизовывается, а несахара остаются в межкристальном растворе.

Кристаллизация сахарозы проводится из пересыщенных растворов в вакуум-аппаратах при низкой температуре (под разрежением) для уменьшения разложения (инверсии) сахарозы, инвертного сахара и образования красящих веществ.

Рациональная технологическая схема продуктового отделения должна иметь столько ступеней кристаллизации, чтобы суммарный эффект кристаллизации (разность доброкачественности исходного сиропа с клеровкой и мелассы) составлял 30—33 %, а коэффициент завода (процентное отношение масс сахарозы в сахаре-песке и переработанной свекле) при среднем качестве свеклы был 75—80 %.

Однако рационализация технологии кристаллизации должна идти не только по пути максимального извлечения сахарозы из свеклы, но и с учетом разработки мероприятий, направленных на снижение расхода пара, а следовательно, и расхода топлива, учитывая, что вакуум-аппараты являются основными потребителями технологического пара.

При современной технологии этим требованиям наиболее полно соответствует трехкристаллизационная схема (рис. 59).

По этой схеме сироп с клеровкой из сборника 1 поступает в вакуум-аппарат 2 на уваривание до содержания 92,5 % сухих веществ. Готовый утфель 1 спускается в утфелемешалку 30, где к нему добавляют немного воды температурой 75 °С для снижения пересыщения межкристального раствора.

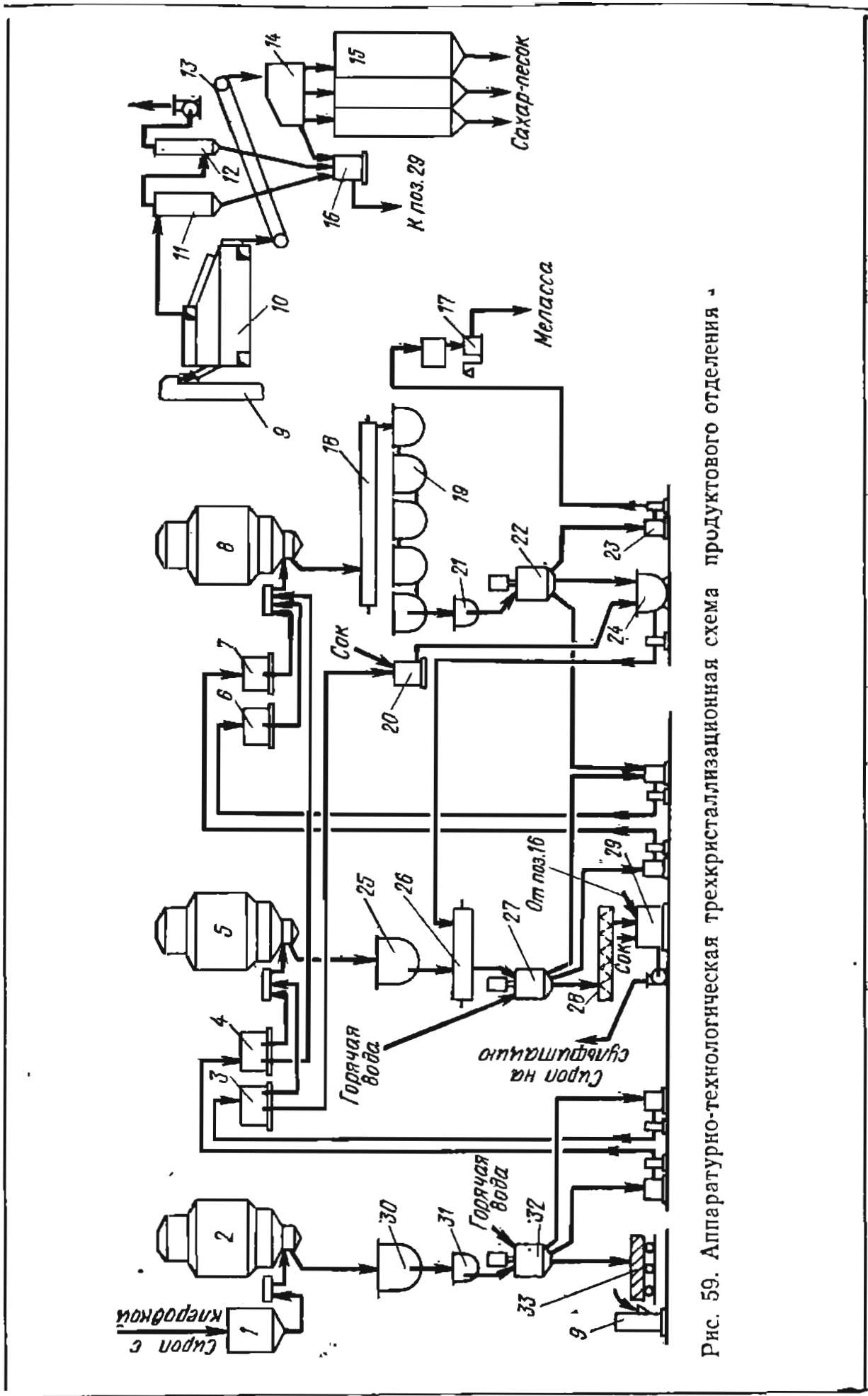


Рис. 59. Аппаратурно-технологическая трехкристаллизационная схема продуктового отделения

Освободившийся вакуум-аппарат обрабатывают паром из I корпуса выпарной установки и образовавшийся раствор присоединяют к утфелю I.

Из мешалки 30 утфель поступает через распределитель 31 в центрифуги 32, где центрифугируется с отбором двух оттеков: первого (межкристального раствора утфеля) и второго, полученного в результате промывания (пробеливания) кристаллов сахара-песка горячей артезианской водой. Разность оттеков по доброкачественности должна быть 5—7%. На пробеливание расходуется 3,0—3,5% воды к массе загружаемого утфеля. Пробеленный сахар-песок влажностью 0,8—1,2% выгружается на вибротранспортер 33 и элеватором 9 поднимается в сушильно-охладительную установку 10, где высушивается до влажности 0,14% или 0,02—0,03% при бестарном хранении в силосах.

Сахар-песок представляет собой смесь кристаллов различной величины, содержащих комки и ферромагнитные примеси. Последние удаляются электромагнитным сепаратором, установленным над ленточным транспортером 13, а комки отделяются в сортировочной установке 14. В этой же установке сахар-песок разделяется по размеру кристаллов на три фракции и поступает в бункера 15, расположенные в упаковочном помещении.

Воздух, отсасываемый вентилятором из сушильно-охладительной установки, очищается от сахарной пыли в циклоне сухой очистки 11, а затем — в циклоне влажной очистки 12. Уловленную сахарную пудру вместе с комками сахара растворяют соком II сатурации в мешалке 16 и подают в клеровочный аппарат 29.

Оттеки, полученные при центрифугировании утфеля I кристаллизации (утфель I), перекачивают в сборник 3 для первого оттека и сборник 4 для второго оттека.

Утфель II кристаллизации (утфель II) уваривают в вакуум-аппарате 5 до 93% сухих веществ, спускают в приемную утфелемешалку 25, куда добавляют немного горячей воды и через утфелераспределитель 26 подают в центрифуги 27. Сироп после пропарки вакуум-аппаратов отводится в утфелемешалку 25. При центрифугировании утфеля II получают два оттека с разностью по доброкачественности 4—5% и направляют первый оттек в сборник 6, второй в сборник 7. На пробеливание расходуется 1% горячей воды к массе утфеля.

Для уваривания утфеля III кристаллизации (утфель III) в вакуум-аппараты 8 последовательно забирают второй и первый оттеки утфеля II. Содержание сухих веществ в готовом утфеле доводят до 93,5—94,0% и через приемную утфелемешалку 18 его спускают в кристаллизационную установку 19. Здесь в течение 24—28 ч происходит дополнительная кристаллизация сахара охлаждением от 63—67 до 35—40°C. В утфеле-

распределителе 21 утфель подогревают до 45—50°C и центрифугируют в центрифугах 22 без пробеливания сахара водой. Отбираемый в сборник 23 оттек (меласса) взвешивают на весах 17 и перекачивают в емкость на хранение. Сироп, полученный от промывки сит в центрифугах, соединяют с первым оттеком утфеля II.

Сахар III кристаллизации направляют в аффинатор 24, где он смешивается с ненагретым первым оттеком утфеля I, разбавленным очищенным соком в мешалке 20 до содержания 74—76 % сухих веществ, и образует аффинационный утфель с содержанием 89—90 % сухих веществ. В процессе перемешивания утфеля (в течение 20 мин) в аффинаторе часть несугаров из пленки на кристаллах сахара переходит (диффундирует) в более чистый межкристальный раствор. Такой способ повышения доброкачественности сахара III кристаллизации называется аффинацией (очисткой). Из аффинатора утфель подается в утфелераспределитель 26 и центрифугируется вместе с утфелем II в центрифугах 27.

После этого сахар II и III кристаллизаций подается шнеком 28 в клеровочный аппарат 29, где растворяется (клеруется) в соке II сатурации до содержания 65—70 % сухих веществ. Клеровка вместе с сиропом из выпарной установки направляется на сульфитацию.

На ряде заводов применяется двухкристаллизационная схема (рис. 60), по которой утфель I уваривают до 92,5—93,5 % сухих веществ из смеси сиропа с клеровкой аффинированного сахара II кристаллизации и второго оттека утфеля I. При спуске в мешалку утфель опрыскивают горячей водой. Вакуум-аппарат пропаривают паром из I корпуса выпарной установки, пропарку (растворенные остатки утфеля) направляют в ту же утфелемешалку, что и утфель I.

Утфель I центрифугируют немедленно после спуска в утфелемешалку, сахар-песок пробеливают горячей артезианской водой. При центрифугировании получается два оттека с разностью по доброкачественности 7—8 %; первый оттек представляет собой межкристальный раствор утфеля; второй оттек образуется при пробеливании сахара водой.

Сахар-песок из центрифуг поступает в сушильно-охлаждающую установку, где высушивается до влажности 0,14 или 0,02—0,03 % (для бестарного хранения), очищается от ферромагнитных примесей, комков, сахарной пудры, затем его сортируют на фракции и упаковывают в мешки массой по 50 кг или направляют в силосы для бестарного хранения.

Часть первого оттека утфеля I забирают на аффинацию сахара II кристаллизации, другую часть используют на уваривание утфеля II. На последние подкачки берут аффинационный оттек и оттек, образованный при промывке сит в центрифугах утфеля II. Утфель II уваривают до содержания 94—95 % су-

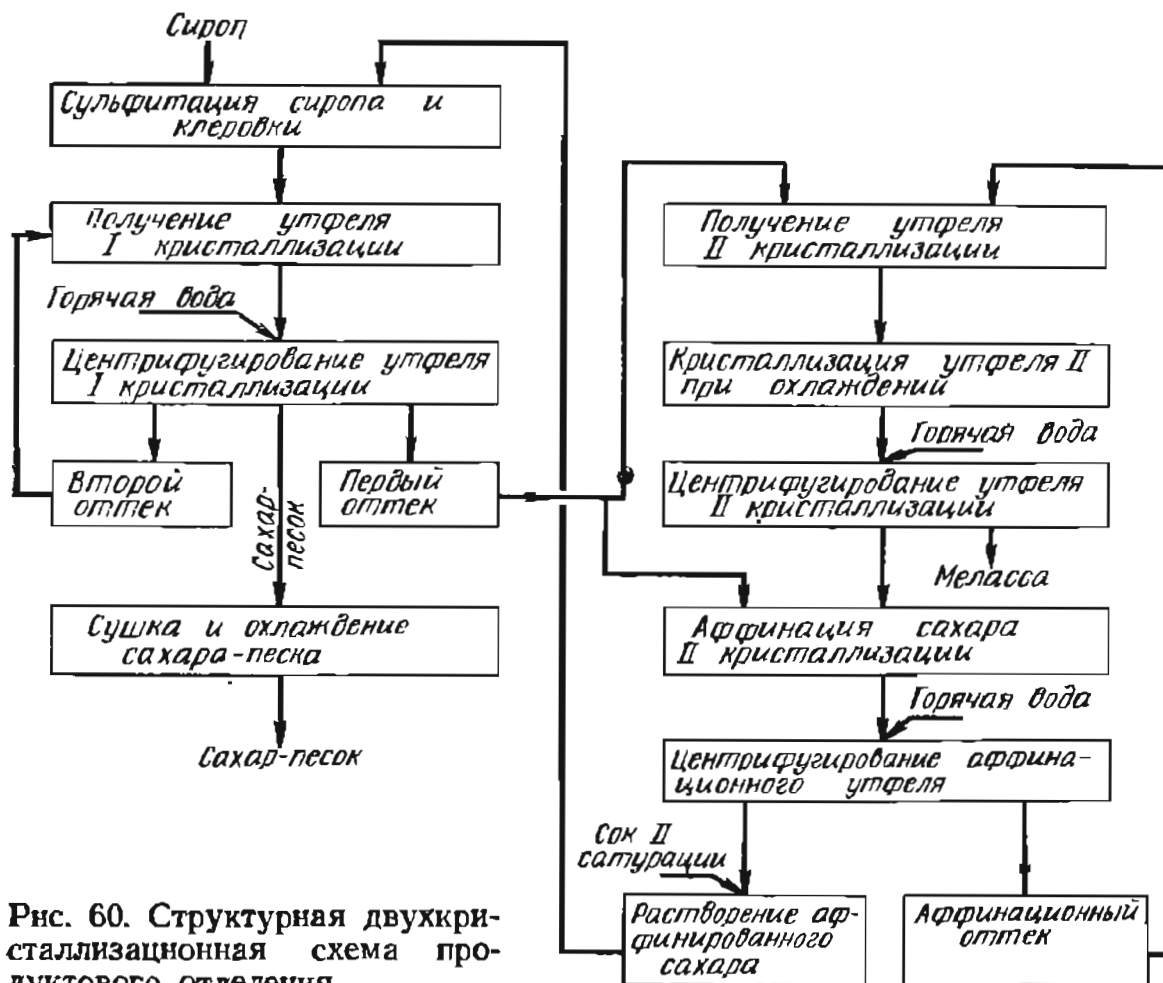


Рис. 60. Структурная двухкристаллизационная схема продуктового отделения

хих веществ. Пропарку из вакуум-аппаратов утфеля II спускают в ту же приемную мешалку, что и утфель II.

Дополнительная кристаллизация утфеля II проводится в утфелемешалках-кристаллизаторах с охлаждением до 35—40 °С. Перед центрифугированием утфель нагревают до 45—50 °С и центрифугируют с отбором одного оттека (мелассы).

Сахар II кристаллизации аффинируют неагретым, разбавленным до 74—76 % сухих веществ первым оттеком утфеля I. Аффинационный утфель, содержащий 89—90 % сухих веществ, центрифугируют, сахар пробеливают горячей водой, первый и второй оттеки соединяют вместе и с последними подкачками забирают на уваривание утфеля II.

Аффинированный сахар поступает в клеровочный аппарат и растворяется в соке II сатурации до плотности сиропа. Клеровка вместе с сиропом из выпарной установки подается в сульфитатор. В клеровочном аппарате растворяются также комки сахара и сахарная пудра, направляемые из сортировочной установки.

Двухкристаллизационная схема проще и экономичнее трехкристаллизационной, но при ее эксплуатации не всегда достигается полное обессахаривание мелассы и получение сахара-песка высокого качества.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ САХАРОЗЫ

Растворимость сахарозы

Насыщенные растворы. Сахароза хорошо растворяется в воде. Ее растворимость (коэффициент растворимости H_0) при данной температуре принято выражать числом килограммов сахарозы, растворившейся в 1 кг воды. С повышением температуры растворимость сахарозы увеличивается: например, при 20 °С в 1 кг воды растворяется 2,007 кг сахарозы, а при 75 °С — 3,470 кг, т. е. в 1,73 раза больше.

Сахарный раствор, который содержит максимально возможное при данной температуре количество растворенной сахарозы, называется насыщенным.

В табл. 7 приведены величины предельной растворимости сахарозы (H_0 , в кг/кг воды) и содержание ее в растворе (CX , в %) в зависимости от температуры (t , в °С).

Т а б л и ц а 7

t , °С	H_0	CX , %	t , °С	H_0	CX , %
—15	1,744	63,56	70	3,257	76,51
—10	1,762	63,80	75	3,470	77,63
—5	1,785	64,09	80	3,704	78,74
0	1,812	64,44	85	3,955	79,82
5	1,847	64,87	90	4,225	80,86
10	1,890	65,40	95	4,519	81,88
15	1,944	66,03	100	4,844	82,89
20	2,007	66,74	105	5,207	83,89
25	2,079	67,52	110	5,618	84,89
30	2,161	68,36	115	6,097	85,91
35	2,253	69,26	120	6,669	86,96
40	2,358	70,22	125	7,361	88,04
45	2,475	71,22	130	8,217	89,15
50	2,602	72,24	135	9,299	90,29
55	2,741	73,27	140	10,710	91,46
60	2,894	74,32	145	12,620	92,66
65	3,065	75,40			

Коэффициент насыщения. В технических сахарных растворах (сок, сироп, оттеки, меласса) кроме сахарозы содержатся различные несахара, большинство из которых способствует увеличению растворимости сахарозы. В растворе имеется как бы два растворителя: вода и несахара, между которыми и распределяется растворенная сахароза. По-видимому, несахара как-то связывают сахарозу. Есть предположение, что несахара растворяются в сахарозе.

Коэффициент растворимости сахарозы в присутствии несахаров (H , в кг/кг воды) зависит как от состава и концентрации несахаров, так и от температуры раствора (табл. 8).

Влияние несахаров на растворимость сахарозы в воде характеризуется коэффициентом насыщения ($K_{нас}$), т. е. отношением коэффициентов растворимости сахарозы в растворе, содержащем несахара, и в чистом растворе при одной и той же температуре: $K_{нас} = H/H_0$.

В растворах с небольшим содержанием несахаров (доброкачественность 80—100 %) коэффициент насыщения равен единице или немного меньше.

Таблица 8

Температура, °C	Коэффициент растворимости сахарозы в растворах с доброкачественностью, %								
	100	95	90	85	80	75	70	65	60
30	2,18	2,13	2,10	2,10	2,12	2,17	2,23	2,30	2,37
35	2,28	2,23	2,20	2,19	2,22	2,27	2,34	2,42	2,52
40	2,38	2,33	2,30	2,29	2,32	2,38	2,48	2,68	2,70
45	2,50	2,45	2,42	2,42	2,45	2,52	2,63	2,76	2,91
50	2,62	2,57	2,54	2,54	2,58	2,66	2,79	2,95	3,14
55	2,77	2,71	2,68	2,68	2,72	2,82	2,96	3,15	3,40
60	2,93	2,87	2,83	2,83	2,88	2,98	3,16	3,40	3,70
65	3,11	3,06	3,02	3,02	3,06	3,17	3,38	3,66	4,07
70	3,31	3,26	3,22	3,22	3,27	3,41	3,64	4,00	4,57
75	3,54	3,49	3,46	3,46	3,54	3,71	4,01	4,55	5,22
80	3,80	3,75	3,72	3,73	3,83	4,09	4,50	5,25	6,00

В растворах, где доброкачественность ниже 80 %, коэффициент насыщения всегда больше единицы.

Например, в растворах с одинаковой температурой (40 °C) и разной доброкачественностью (70 и 60 %) коэффициент насыщения соответственно равен 1,05 и 1,14.

Коэффициент насыщения также зависит от температуры. Например в растворах с одинаковой доброкачественностью 70 %, но с разной температурой (40 и 70 °C), коэффициент насыщения равен соответственно 1,05 и 1,12.

В растворах с доброкачественностью выше 80 % несахара не влияют на растворимость сахарозы, поэтому на практике вместо коэффициента растворимости сахарозы в присутствии несахаров пользуются коэффициентами растворимости в чистых растворах.

Коэффициент пересыщения. Раствор, содержащий больше растворенной сахарозы, чем насыщенный, называется пересыщенным. Пересыщение при кристаллизации поддерживается выпариванием воды или охлаждением (в кристаллизационной установке).

Число, показывающее, во сколько раз больше в данном растворе сахарозы, чем в насыщенном, при той же температуре, называется истинным коэффициентом пересыщения $K_{пер}$

$$K_{пер} = H_1/H, \quad (14)$$

где H_1 — масса сахарозы, растворенной в единице воды в пересыщенном растворе, содержащем несахара.

Если в знаменателе вместо H подставить H_0 , то получим видимый коэффициент пересыщения

$$K_{пер} = H_1/H_0. \quad (15)$$

При оценке процесса уваривания утфеля I видимый коэффициент пересыщения является важным и правильным показателем, так как его величина почти не отличается от величины истинного коэффициента пересыщения. Но в последнем утфеле, где доброкачественность межкристального раствора ниже 75 %, значения видимого и истинного коэффициентов пересыщения сахарозы различные, и пользоваться в расчетах видимым коэффициентом пересыщения не рекомендуется.

Пример. Межкристальный раствор утфеля I доброкачественностью 84 % имеет: $CB=81,7\%$ и $t=75\text{ °C}$. Определить видимый коэффициент пересыщения.

В 100 кг оттека содержится $100 - CB = 100 - 81,7 = 18,3$ кг воды. Количество сахарозы в нем составит $(CB \cdot Дб)/100 = (81,7 \cdot 84)/100 = 68,63$ кг. В 1 кг воды будет растворено $H_1 = 68,63/18,30 = 3,75$ кг сахарозы.

При коэффициенте растворимости сахарозы $H_0=3,47$ (по табл. 7) видимый коэффициент пересыщения межкристального раствора будет равен $K_{пер} = H_1/H_0 = 3,75/3,47 = 1,08$.

Истинный коэффициент пересыщения будет таким же, как и видимый, поскольку коэффициенты растворимости сахарозы в растворах доброкачественностью 84 и 100 % одинаковы.

Зная основные параметры утфеля ($СВ$, $Дб$, t °С) и коэффициент пересыщения межкристального раствора, можно вычислить в нем массу растворенной и кристаллической сахарозы и другие показатели.

Пример. Содержание сухих веществ в утфеле в конце процесса 92 %, сахарозы 86 %, доброкачественность 93,3 %, $t=75$ °С, коэффициент насыщения 1,0, коэффициент пересыщения 1,08. Определить состав межкристального раствора.

В 100 кг утфеля содержится $100-92=8$ кг воды. При коэффициенте растворимости сахарозы $H_0=3,47$ в 8 кг воды будет растворено $3,47 \times 1,0 \times 1,08 \times 8 \approx 30$ кг сахарозы. Кристаллов в утфеле содержится $86-30=56$ кг.

Состав межкристального раствора будет следующим: сахарозы 30 кг, несахаров $92-86=6$ кг, $СВ=30+6=36$ кг, $Дб=30/36 \cdot 100=83,3$ %, масса раствора $36+8=44$ кг.

В данном примере из 86 кг сахарозы (на 100 кг утфеля) выкристаллизовывается 56 кг, или $(56/86) \cdot 100=65$ %. Эта величина называется эффектом кристаллизации.

Иногда эффектом кристаллизации называют разность между доброкачественностью продуктов, поступающих на кристаллизацию, и доброкачественностью межкристального раствора утфеля в конце кристаллизации (в нашем примере это $93,3-83,3=10$ %).

Скорость кристаллизации сахарозы

Насыщенные растворы сахарозы с $K_{пер}=1$ весьма устойчивы, кристаллы в них не растут и не растворяются. Такие растворы называются стабильными.

В растворах при коэффициенте пересыщения 1,03—1,20 кристаллы растут, но новые центры кристаллизации не образуются. Это метастабильные растворы. В присутствии несахаров предел метастабильности по сравнению с чистыми сахарными растворами увеличивается.

В растворах с $K_{пер} \geq 1,20$ кристаллы не только растут, но и зарождаются новые. Эти растворы называются лабильными, или неустойчивыми.

Разность концентраций сахарозы в пересыщенном и насыщенном растворах является движущей силой процесса кристаллизации: чем больше истинный коэффициент пересыщения, тем выше скорость кристаллизации сахарозы.

Регулируя пересыщение в метастабильных растворах, можно создавать условия, при которых скорость роста имеющихся кристаллов будет наибольшей, а скорость образования новых центров кристаллизации — наименьшей.

Процесс кристаллизации сахарозы состоит в основном из двух основных стадий. Первая стадия — это сгущение сиропа выпариванием до зарождения центров кристаллизации и наращивание этих зародышей с определенной скоростью. В заводской практике центры кристаллизации создаются искусственно: в сгущенный до лабильного состояния ($K_{пер} \geq 1,20$) сахарный раствор вводится тонкоизмельченная, просеянная через сито сахарная пудра, которая является импульсом (затравкой) для возникновения во всем объеме новых центров кристаллизации. Зарождение кристаллов происходит в системе неодновременно, так как скорость образования зародышей есть функция продолжительности процесса. Введение пудры в пересыщенный раствор называется заводкой кристаллов. Во второй стадии происходит только наращивание образовавшихся зародышей с максимальной скоростью, появле-

ния новых центров кристаллизации не должно происходить. Это достигается поддержанием коэффициента пересыщения межкристального раствора в оптимальном интервале (метастабильная зона). Если коэффициент пересыщения выше оптимального, то будут зарождаться новые кристаллы и будет получен уфель низкого качества с неравномерными кристаллами. При очень малом коэффициенте пересыщения возможно растворение уже имеющихся кристаллов.

Теория кристаллизации сахарозы основана на учении о гетерогенных (разнородных) процессах и заключается в следующем. В ходе процесса кристаллы окружены прилипшим к ним неподвижным слоем пересыщенного межкристального раствора толщиной δ . Избыток молекул сахарозы из пересыщенного слоя быстро выкристаллизовывается на поверхности кристаллов, раствор становится насыщенным с концентрацией сахарозы c . Но на некотором расстоянии от граней кристаллов в окружающем растворе сохраняется пересыщение с концентрацией сахарозы C . Вследствие разности концентраций $C-c$ сахароза диффундирует через неподвижный слой δ раствора. Приближаясь к граням кристаллов, молекулы сахарозы переходят в кристаллическую решетку (фазовый переход), не изменяя концентрации сахарозы c . Следовательно, скорость роста кристаллов обусловлена скоростью диффузии сахарозы и скоростью фазового перехода на границе раздела фаз. Но скорость фазового перехода намного выше скорости диффузии сахарозы, поэтому определяющей (лимитирующей) стадией процесса кристаллизации сахарозы является ее диффузия. Тогда скорость кристаллизации сахарозы можно выразить уравнением Фика

$$S = DF\tau(C - c)/\delta, \quad (16)$$

из которого видно, что масса выкристаллизовавшейся сахарозы S пропорциональна разности концентраций сахарозы ($C-c$) в растворе, омывающем кристаллы, и в растворе у поверхности кристаллов, суммарной поверхности кристаллов F , длительности процесса τ , величине коэффициента диффузии сахарозы D и обратно пропорциональна пути диффундирования δ .

Влияние некоторых факторов на скорость роста кристаллов

Проанализируем влияние отдельных факторов на скорость кристаллизации сахарозы.

Пересыщение. Из уравнения (16) видно, что движущей силой кристаллизации сахарозы является избыточное пересыщение, т. е. скорость кристаллизации пропорциональна избыточной концентрации сахарозы над концентрацией насыщения, выражаемой $C-c$, или же пропорциональна избыточному пересыщению, характеризующемуся разностью $K_{\text{пер}}-1$. Если в двух растворах коэффициенты пересыщения разные, например 1,12 и 1,06, то при избыточном пересыщении в этих растворах ($1,12-1,0=0,12$) и ($1,06-1,0=0,06$) скорость кристаллизации в первом растворе будет в 2 раза больше, чем во втором ($0,12/0,06=2$).

Температура, вязкость, доброкачественность. С увеличением (до определенного предела) абсолютной температуры (T) происходит уменьшение вязкости насыщенного раствора (μ) и толщины слоя (δ), в результате чего скорость кристаллизации повышается. Например, при постоянном пересыщении раствора с повышением температуры на 10°C скорость кристаллизации сахарозы увеличивается примерно в 2 раза.

В присутствии несахаров скорость кристаллизации резко снижается. Например, в растворах доброкачественностью 79,5, 64,5, 58,0 и 55,5 (при одинаковом истинном коэффициенте пересыщения 1,1) скорость кристаллизации сахарозы была соответственно в 2, 9, 23, 64 раза меньше, а вязкость в 3, 12, 80, 265 раз больше, чем в растворе чистой сахарозы.

Большая вязкость нечистых растворов по сравнению с чистыми сахарными растворами обусловлена большей растворимостью сахарозы в присут-

ствии несахаров (при одинаковом пересыщении), а следовательно, и большим содержанием в них сухих веществ, увеличивающих вязкость.

Например, сравним два насыщенных раствора доброкачественностью 100 и 68 % (при 70 °С). В первом чистом растворе в 1 кг воды растворено 3,257 кг сахарозы и содержится 76,51 % сухих веществ: $(3,257 \cdot 100)/(3,257 + 1)$. Во втором (нечистом) растворе содержится 4,79 кг сухих веществ $(3,257 \cdot 100)/68$, или $(4,79 \cdot 100)/(4,79 + 1) = 82,73$ %, т. е. на 6,22 % больше (82,73—76,51). Поэтому и вязкость первого раствора была 8,2 Па·с, а второго — 54 Па·с.

Перемешивание. Плотность кристаллов сахарозы больше плотности межкристалльного раствора, поэтому в утфеле под влиянием силы тяжести кристаллы, осаждаваясь, находятся в движении по отношению к межкристалльному раствору. При этом происходит приток свежих порций сахарозы к слою δ из кристаллах. Поддержание кристаллов во взвешенном состоянии в утфеле осуществляется путем его естественной или принудительной циркуляции в вакуум-аппаратах, перемешивания в утфелемешалках-кристаллизаторах.

Размер кристаллов. Кристаллы сахара I кристаллизации в готовом утфеле имеют размер 0,55—0,95 мм, сахара III кристаллизации — 0,25—0,35 мм. В этом интервале размер кристаллов не влияет на скорость кристаллизации сахарозы. В утфеле с мелкими кристаллами происходит лишь увеличение общей массы выкристаллизовывающейся в единицу времени сахарозы по сравнению с крупнокристаллическим утфелем, так как в нем больше суммарная поверхность кристаллизации. Это положение используется в практике уваривания утфелей: утфель с мелкими кристаллами уваривается быстрее, чем с крупными.

Количество кристаллов. При одинаковой концентрации сахарозы в растворах, способной кристаллизоваться, и прочих равных условиях (в интервале 20—50 % кристаллов в утфеле), массовая скорость кристаллизации уменьшается с повышением процентного содержания кристаллов. Это объясняется снижением подвижности кристаллов относительно раствора.

Влияние несахаров на форму кристаллов. Образующиеся кристаллы сахарозы имеют блестящие плоские грани с постоянными углами (рис. 61).

Многие несахара, по-разному адсорбируясь на гранях кристалла, замедляют кристаллизацию сахарозы и изменяют форму кристалла. Например, глюкоза, адсорбируясь на некоторых гранях кристалла, тормозит его развитие в данном направлении, а другие грани растут нормально. В результате кристаллы получают форму тонких пластинок. В присутствии рафинозы образуются вытянутые, иглообразные кристаллы. Поэтому большинство кристаллов промышленного сахара-песка не имеют правильной геометрической формы, присущей сахарозе.

При быстром росте кристаллов происходит включение отдельных молекул несахаров из межкристалльного раствора в кристаллическую решетку или механическое включение межкристалльного раствора в трещины кристалла, зарастающие позже сахарозой. Если процесс роста протекает умеренно, то отталкивающие силы, возникающие вокруг кристалла сахарозы, отторгают примеси от своей поверхности.

В крупных кристаллах сахарозы содержание внутренней воды достигает 0,5 %, а в кристаллах обычного сахара-песка размером 0,55—0,95 мм — не более 0,03 %.

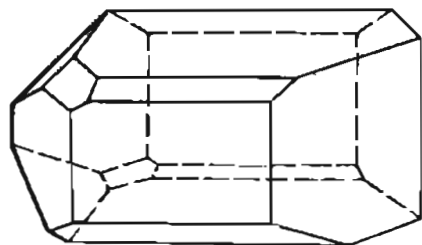


Рис. 61. Кристалл сахарозы

Несмотря на пробеливание кристаллов сахара-песка водой в центрифугах, на их поверхности после высушивания остается пленка межкристалльного раствора, толщина которой (δ , в нм) определяется произведением

$$\delta = x \cdot 12000, \quad (17)$$

где x — количество золы, %.

Например, на кристаллах сахара-песка, содержащего 0,03 % золы, толщина пленки будет $0,03 \times 12000 = 360$ им, а в сахаре последней кристаллизации она примерно в 30—40 раз больше.

Кристаллы могут увеличиваться не только в результате роста граней, но и при сращивании их в конгломераты, называемые друзами.

ПОЛУЧЕНИЕ САХАРА-ПЕСКА

Уваривание утфеля I кристаллизации

Поступающий в продуктовое отделение сульфитированный сироп с клеровкой, содержащий около 60 % сухих веществ, сгущается в вакуум-аппарате до содержания 92—92,5 % сухих веществ. При этом из него выпаривается 12—16 % воды к массе переработанной свеклы. Утфели уваривают в периодически действующих вертикальных вакуум-аппаратах (рис. 62) вместимостью 40, 60, 80 т.

Полиый цикл уваривания утфеля состоит из четырех основных этапов.

Сгущение сиропа до заводки кристаллов. Сначала в вакуум-аппарате через вентиль предварительного разрежения создается остаточное давление 0,060—0,067 МПа, а затем открывают основной воздушный вентиль для создания более низкого остаточного давления (до 0,020 МПа). Одновременно с открытием вентиля предварительного разрежения через вентиль 1 (см. рис. 62) начинают набирать сироп с клеровкой. Как только аппарат заполнится на $\frac{1}{3}$ высоты паровой камеры 3, частично (на один оборот) открывают паровой вентиль и начинают прогревать камеру. Когда уровень сиропа достигнет такой высоты, при которой он в состоянии кипения будет покрывать всю площадь поверхности паровой камеры, паровой вентиль открывают полностью и при остаточном давлении около 0,020 МПа проводят сгущение сиропа выпариванием. В таких условиях сироп кипит при температуре 67—70 °С, что дает возможность иметь достаточно высокую полезную разность температур между греющим паром и кипящим сиропом и проводить сгущение с небольшими потерями сахарозы от разложения.

При кипении увариваемая масса сиропа поднимается вверх по кипяtilьным трубам вакуум-аппарата, а опускается вниз по циркуляционной трубе 6 и кольцевому пространству между греющей

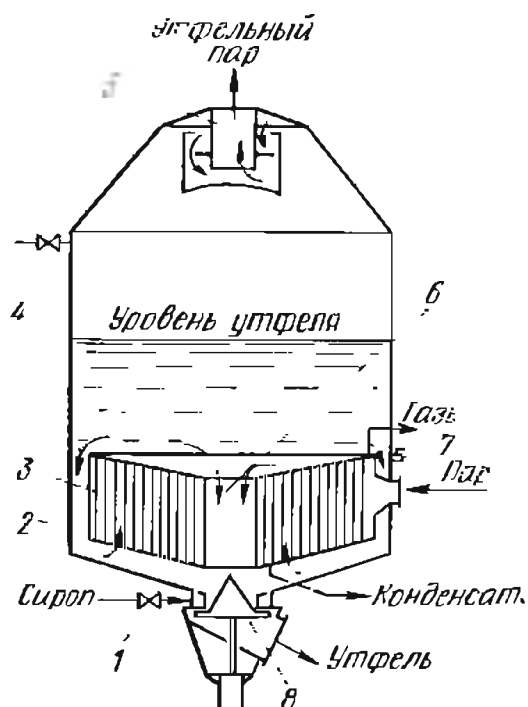


Рис. 62. Вакуум-аппарат

камерой и корпусом 2 аппарата, находясь постоянно в движении. Образующийся утфельный пар, проходя через сепаратор 5, освобождается от капель и отсасывается вакуум-насосом в барометрический конденсатор.

При сгущении сиропа до 80—82 % СВ, что соответствует коэффициенту пересыщения 1,2—1,3, температура кипения при неизменном разрежении повышается до 73—75 °С, что связано с увеличением содержания сухих веществ. Степень пересыщения и готовность раствора для заводки кристаллов определяют по подвижности увариваемого сиропа, скорости стекания брызг по зрительному стеклу, интенсивности подъема пузырьков пара, а также по электропроводности увариваемой массы, которая повышается по мере увеличения содержания сухих веществ и вязкости.

На величину электропроводности оказывает влияние доброкачественность раствора и температура.

Заводка кристаллов сахара. При коэффициенте пересыщения 1,2—1,3, когда раствор находится в неустойчивом состоянии, момент для заводки кристаллов наиболее благоприятен. Перед этим температуру сиропа немного повышают (прикрытием воздушного вентиля) и через пробный кран 7 вводят затравку в виде тонкоизмельченной сахарной пудры, просеянной через шелковое сито (из расчета 50—100 г на 40 г утфеля). Затравка вызывает немедленное образование новых кристаллов, кроме тех кристаллов, которые в ней содержатся. Это называется заводкой кристаллов. После ввода сахарной пудры через 0,5—1 мин отбирают пробы сиропа на стеклянную пластинку и наблюдают за числом образовавшихся кристаллов. Для получения кристаллов среднего размера (около 3000 штук в 1 г сахара-песка) нужно, чтобы на 1 мм длины стекла размещалось 5—6 кристаллов.

Своевременная заводка кристаллов и своевременное прекращение их образования имеют важное значение для процесса уваривания и качества готового утфеля. Чем больше центров кристаллизации образуется в момент заводки, тем меньше будут размеры кристаллов сахара, и наоборот. Утфель с крупными кристаллами легче центрифугируется и пробеливается, но дольше уваривается, в нем больше выпадает «муки».

Как только в увариваемой массе после ввода затравки появятся достаточное количество зародышей, в вакуум-аппарат подкачивают некоторое количество сиропа для снижения коэффициента пересыщения до 1,08—1,10, т. е. для создания условий, когда новые кристаллы не образуются, а растут уже имеющиеся. Подкачка сиропа в это время называется закрепительной, так как кристаллы быстро растут (закрепляются). Сироп на закрепительные подкачки берут небольшими порциями и вводят так, чтобы не разбавить межкристалльный раствор и не растворить образовавшихся кристаллов. Дальнейшее наращи-

вание кристаллов проводят при остаточном давлении не выше 0,02 МПа и температуре не более 75 °С.

Наращивание кристаллов сахара. На этой стадии главной задачей является наращивание уже имеющихся кристаллов без образования новых. Для этого необходимы систематическая подача свежего сиропа в аппарат, поддержание определенного коэффициента пересыщения в межкристальном растворе, энергичная циркуляция утфеля и достаточная площадь поверхности кристаллизации.

Зарождающиеся в этот период кристаллы («мука») растворяются при увеличенной подкачке сиропа. Сироп лучше подкачивать в вакуум-аппарат как можно чаще или непрерывно, сбалаисировав подкачку с выпариванием воды таким образом, чтобы коэффициент пересыщения в начале уваривания утфеля был 1,08—1,10, а в конце, когда доброкачественность межкристального раствора снизится, — 1,10—1,12. Подкачиваемый сироп предварительно нагревают в сборнике примерно на 5 °С выше температуры кипения утфеля. Поэтому при поступлении в вакуум-аппарат он вскипает, а это способствует быстрому смешиванию его с массой утфеля и предотвращает образование мелких кристаллов. Контроль за подкачками ведется по показаниям кондуктометра в сочетании с визуальными наблюдениями.

По мере увеличения массы кристаллов межкристальный раствор обессахаривается, и к концу уваривания доброкачественность его снижается с 91—93 до 82—84 %.

Окончательное сгущение (отварка) и спуск утфеля. После того как в вакуум-аппарат поступила последняя порция сиропа, начинается окончательное сгущение утфеля. При этом масса кристаллов увеличивается до 54—56 % к массе утфеля. Сгущение утфеля более 92,5 % СВ нецелесообразно, так как густой утфель очень медленно сгущается и плохо центрифугируется. К концу уваривания температура его не должна превышать 75 °С.

Перед спуском утфеля отключают систему разрежения и подачу пара, открывают вентиль 4 (см. рис. 62), соединяющий вакуум-аппарат с атмосферой, и спускной клапан 8. Для равномерного спуска утфеля в вакуум-аппарате поддерживается небольшое остаточное давление (0,080—0,087 МПа). При спуске в холодную приемную утфелемешалку температура утфеля снижается на 5—6 °С, что соответствует увеличению коэффициента пересыщения межкристального раствора на 0,06—0,08, при этом появляется опасность выпадения «муки». Поэтому во время спуска утфель опрыскивают горячей водой (температура 75 °С), что снижает коэффициент пересыщения до 1,03—1,06. Обычно на это расходуется около 0,5 % воды к массе утфеля.

При опрыскивании утфеля водой происходит растворение мелких кристаллов и повышается доброкачественность меж-

кристального раствора, но это делает утфель более подвижным, свободным от «муки» и ускоряет его центрифугирование почти в 2 раза.

После опорожнения вакуум-аппарат пропаривают для растворения остатков утфеля. Образовавшийся сироп направляют в ту же утфелемешалку, куда спущен утфель I.

Примерная длительность отдельных операций при уваривании утфеля I из смеси сиропа с клеровкой доброкачественностью 92 % (в мин):

Заполнение аппарата сиропом	5
Сгущение до заводки кристаллов	30
Заводка кристаллов	3
Наращивание кристаллов	115
Сгущение кристаллической массы	10
Спуск утфеля и пропарка аппарата	12
Всего	175

При низкой доброкачественности сиропа с клеровкой или нарушении технологического режима, выражающемся в резких колебаниях разрежения и температуры в вакуум-аппаратах, возможны сильное пенение утфельной массы и переброс ее в вакуум-конденсационную установку. Для улавливания перебросов и капель, уносимых с утфельным паром, после вакуум-аппаратов устанавливается групповая ловушка вместимостью 0,8—1 м³ на 100 т свеклы, перерабатываемой в сутки.

Выгруженный из вакуум-аппарата утфель центрифугируется сразу же после выгрузки («иагорячо»).

Хорошо сваренный утфель I представляет собой рассыпчатую массу без комков, с равномерными кристаллами сахара. Комочек такого утфеля, опущенный в холодную воду, не застывает в виде эластичного шарика, а рассыпается на отдельные кристаллы. На чистом стекле утфель оставляет прозрачный слой межкристального раствора. Если этот слой мутный, то в утфеле есть мелкие кристаллы «мука». При ополаскивании пробы утфеля на стекле водой межкристальный раствор смывается, а кристаллы остаются. Такой утфель легко центрифугируется.

Примерный состав утфеля I, сваренного из сиропа доброкачественностью 92,2 %, характеризуется следующими показателями:

Показатели, %	Утфель	Сахар-песок	Первый оттек	Второй оттек
СХ	86,4	99,7	69,0	69,9
СВ	92,0	99,9	81,5	76,2
Дб	93,9	99,8	84,7	91,7

Содержание кристаллов (K) в утфеле определяется по уравнению

$$K = 100 (CX_y - CX_{м.р}) / (100 - CX_{м.р}). \quad (18)$$

где CX_y и $CX_{м.р}$ — содержание сахарозы соответственно в утфеле и межкристальном растворе, %.

Например, для приведенного выше состава утфеля содержание кристаллов будет

$$K = 100 (86,4 - 69,0) / (100 - 69,0) = 56\%.$$

В утфеле I содержание кристаллов не должно превышать 56 %, так как с повышением кристаллической массы он становится чрезвычайно вязким и малоподвижным, при этом спуск, перемешивание утфеля в утфелемешалках и центрифугирование затруднительны.

Высокое содержание кристаллов в утфеле препятствует глубокому истощению межкристального раствора и является причиной прекращения кристаллизации сахарозы в утфеле I при доброкачественности межкристального раствора 84—85 %.

В сахарном производстве уваривание утфелей и центрифугирование осуществляются периодически, остальные процессы идут непрерывно.

Центрифугирование утфеля I кристаллизации

Фактор разделения. Утфель представляет собой текучую суспензию, состоящую из твердой (кристаллы сахара) и жидкой (межкристальный раствор) фаз. Разделение твердой фазы и жидкой проводят на центрифугах. Процесс называется центрифугированием. Возникающая при вращении ротора центробежная сила во много раз больше силы тяжести, поэтому разделение твердой и жидкой фаз происходит очень быстро.

Интенсивность центрифугирования обусловлена фактором разделения Fr . Это безразмерная величина, показывающая, во сколько раз действие центробежной силы ускоряет отделение межкристального раствора от кристаллов сахара по сравнению с действием силы тяжести.

$$Fr = \omega^2 R / g, \quad (19)$$

где ω — угловая скорость вращения частиц, рад/с; R — радиус ротора центрифуги, м; g — ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

$$\omega = \pi n / 30, \quad (20)$$

где n — частота вращения ротора, об/мин.

Подставляя значения указанных величин и $D/2$ вместо R , получим простое уравнение

$$Fr = n^2 D / 1800. \quad (21)$$

Пример. Вычислить Fr для центрифуги с $D=1,25$ м, $n=1450$ об/мин.

$$Fr = (1450^2 \cdot 1,25) / 1800 = 1460.$$

При Fr , равном 1460, межкристальный раствор на центрифуге отделяется от кристаллов за 3 мин. Из уравнения (21) видно, что фактор разделения целесообразнее увеличивать, повышая частоту вращения ротора центрифуги, а не его диаметр.

Проведение центрифугирования. Наибольшее распространение в промышленности имеют автоматизированные центрифуги периодического действия типа ФПН-1251Л вместимостью ротора 650 кг (рис. 63).

Ротор приводится во вращение от пятискоростного электродвигателя с синхронной частотой вращения: 1500, 1000, 750, 230 и 115 (в обратном направлении) об/мин.

В автоматическом режиме центрифуга работает следующим образом. При нажатии кнопки «Пуск» включается электропривод и ситчатый ротор 1, закрепленный с помощью ступицы и ребер 11 на валу 6 и подвешенный к подвесному устройству 5, разгоняется до частоты вращения 230 об/мин. В этот момент открывается клапан питателя 7, утфель поступает на диск 9 и под действием центробежной силы равномерно распределяется на фильтрующей поверхности ротора. Толщина слоя утфеля устанавливается от 90 до 150 мм. Ротор загружается так, чтобы утфель не доходил до верхнего края примерно на 5 мм.

После заполнения ротора утфелем срабатывает датчик уровня 8, клапан питателя закрывается, и начинается разгон ротора последовательно до частот вращения 750, 1000, 1500 об/мин. При достижении одной ступени частоты вращения срабатывает токовое реле, и электродвигатель начинает разгонять ротор до следующей ступени частоты вращения.

Межкристальный раствор под действием центробежной силы из слоя утфеля проходит через фильтрующее сито, попадает в пространство между ротором и неподвижным кожухом 2 и по наклонному желобу направляется в сборник первого оттока.

Центрифугированием удаляется почти весь межкристальный раствор, на кристаллах сахара-песка остается только тонкая пленка, придающая ему желтоватый цвет. Чтобы снять ее, сахар-песок промывается горячей чистой артезианской водой (но не аммиачной, чтобы не придать сахару неприятный запах), в результате чего образуется второй оттек.

На пробеливание сахара-песка в центрифуге расходуется 3—3,5 % воды к массе утфеля, которая подается через узел промывки 3 сразу после отделения межкристального раствора. Одновременно в желобе для оттеков поворачивается сегрегатор (подвижная заслонка), направляя второй оттек в соответствующий сборник.

После пробеливания начинается электрическое торможение электро-

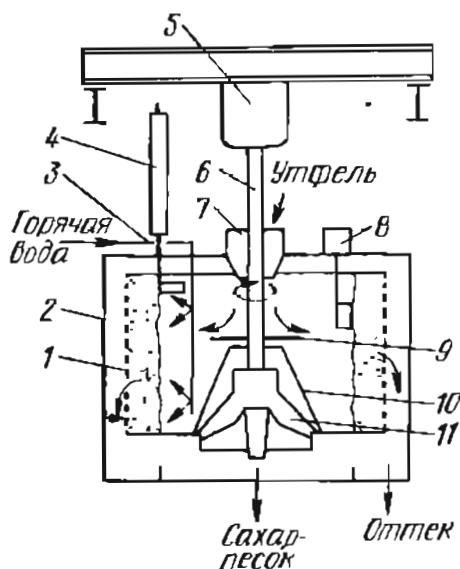


Рис. 63. Автоматическая быстросходная центрифуга циклического действия

двигателя центрифуги в порядке, обратном разгону: 1500, 1000, 750, 230 об/мин, при этом электроэнергия возвращается в сеть. Это называется рекуперативным торможением.

После полной остановки ротор центрифуги начинает вращаться в обратную сторону, разгоняясь до частоты 115 об/мин. По команде программного устройства конус 10 поднимается вверх и отклоняется в сторону, а нож механического выгрузителя 4 поворачивается к слою сахара и, срезая его, постепенно опускается сверху вниз. Сахар-песок влажностью 0,8—1,2 % просыпается в проемы между ребрами 11 на вибротранспортер и передается в сахаросушильную установку. Чтобы не повредить в центрифуге сито, между ним и кромкой ножа сохраняется минимальное расстояние 2—4 мм. Как только центрифуга освобождается от сахара-песка, нож отводится от сита, поднимается вверх и выключается, а оставшийся на сите сахар смывается горячей водой, подаваемой в конце каждого цикла автоматически в течение 3—6 с. Образовавшийся раствор спускается в сборник второго оттока.

После промывки сит ротор останавливается, сегрегатор возвращается в положение отвода первого оттока. На этом цикл центрифугирования заканчивается, он длится примерно 3,5 мин.

Полная остановка ротора центрифуги и вращение его в обратном направлении обусловлены безопасностью работы, так как после полной остановки ротор может развить частоту вращения только до 115 об/мин.

Отдельные элементы цикла центрифугирования утфеля 1 имеют следующую примерную продолжительность (в с):

Разгон и загрузка ротора утфелем при 230 об/мин	20
Разгон с 230 до 750 об/мин	30
Разгон с 750 до 1000 об/мин	10
Разгон с 1000 до 1500 об/мин	40
Работа при максимальной частоте вращения и пробеливание сахара-песка	50
Торможение до остановки, разгон в обратную сторону до 115 об/мин и выгрузка сахара-песка	50
Окончательное торможение	10

СУШКА, ОХЛАЖДЕНИЕ И ХРАНЕНИЕ САХАРА-ПЕСКА

Сушка и охлаждение сахара-песка. В сахаросушильную установку влажный сахар-песок подается с помощью вибротранспортера и ковшового элеватора. На многих сахарных заводах для сушки сахара-песка применяется двухбарабанная коинвективная установка (рис. 64).

Установка состоит из двух наклонно вращающихся стальных барабанов с лопатками внутри. Один барабан сушильный, другой — охладительный. Влажный сахар-песок поступает в сушильный барабан 3, где высушивается (после очистки в фильтре 1 и нагревания в подогревателе 2) горячим воздухом, про-

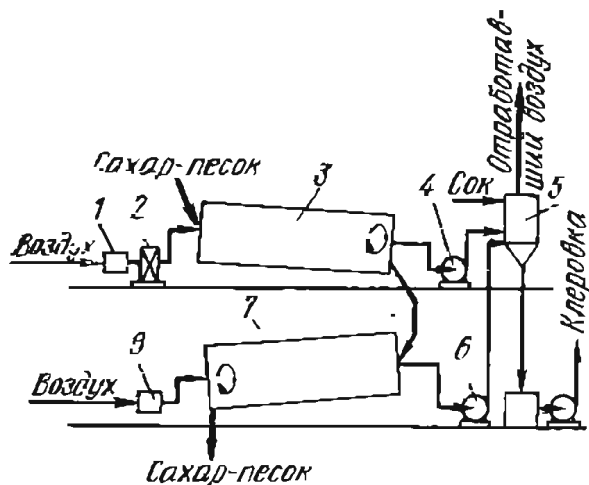


Рис. 64. Схема двухбарабанной сушильно-охладительной установки

измельчается 15—20 % кристаллов сахара-песка, грани их стираются и теряют блеск.

На ряде заводов применяются сахаросушильные установки типа СПС-20 или СК-1 (рис. 65), в которых сушка происходит в псевдооживлении (кипящем) слое. При протекании горячего воздуха через слой влажного сахара-песка, когда сила давления воздуха несколько превышает массу слоя, сахар-песок становится подвижным, а слой напоминает маловязкую жидкость. Кристаллы начинают перемещаться в границах слоя, и они как бы кипят. Поэтому слой сахара-песка, находящийся в таком состоянии, называется кипящим. При этом объем слоя остается почти постоянным, а граница фаз — резко очерченной.

Сахаросушильная установка имеет две камеры: сушильную 4 и охлаждающую 6. Влажный сахар-песок подается в сушильную камеру 4 через шлюзовую затворку 3, обеспечивающую герметичность корпуса при загрузке, и с помощью неподвижного лотка 2 распределяется на решетке 1 слоем 250—450 мм. Под распределительную решетку 1 нагнетается горячий воздух (120 °С), который, разрыхляя сахар-песок, переводит его в состояние псевдооживления и высушивает. Изменением угла наклона шибера 13 регулируется толщина слоя на решетке 1, а следовательно, и длительность пребывания сахара-песка в сушильной камере.

Высушенный сахар-песок через шибера 13 пересыпается на решетку 11 охлаждающей камеры 6 (толщина слоя сахара 80—120 мм), под которую через распределительную решетку 12 подается холодный воздух. Из охлаждающей камеры через шибера 9 и шлюзовую затворку 10 сахар-песок попадает на ленточный транспортер, где с помощью магнитного сепаратора освобождается от ферромагнитных примесей, и в сортировочной машине рассеивается по размеру кристаллов на фракции. Здесь же отделяются комки сахара.

тягиваемым через барабан вентилятором 4. Высушенный сахар из сушильного барабана 3 попадает в охлаждающий барабан 7, через который вентилятором 6 протягивается очищенный в фильтре 8 холодный воздух. Охлажденный сахар-песок направляется на упаковку, а воздух из барабана поступает в пылеуловитель 5, освобождается от сахарной пыли и выбрасывается в атмосферу. Из-за многократного пересыпания в барабанах

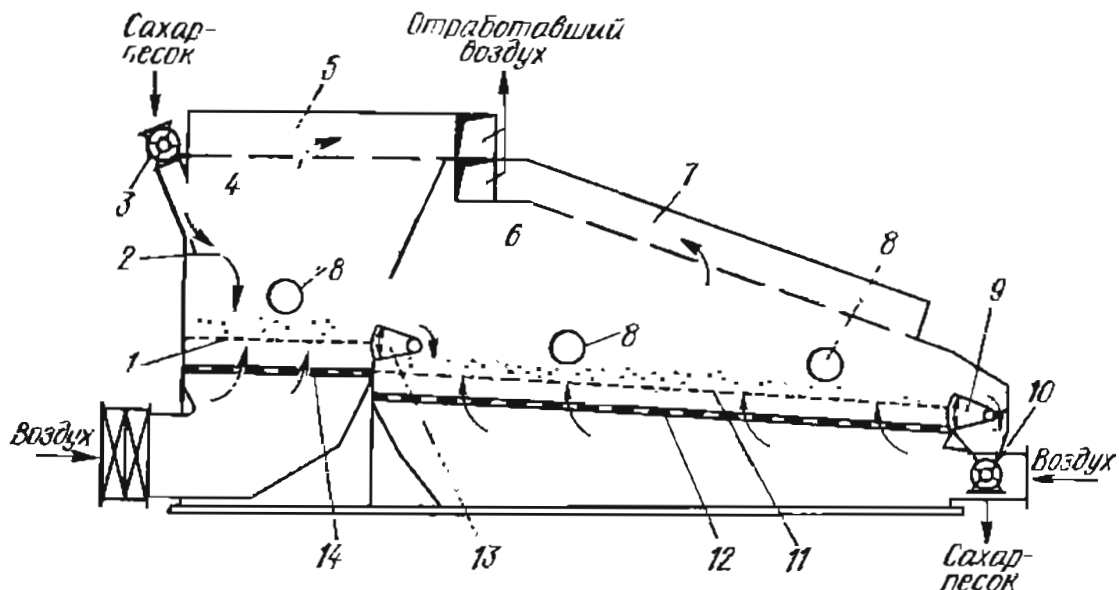


Рис. 65. Сушильно-охладительная установка для сушки сахара-песка в псевдооживленном слое

Отработавший воздух отбирается через аспирационные коллекторы 5 и 7 и подается на очистку от сахарной пыли.

Выходящий из сушильной установки сахар-песок имеет температуру около 22°C , влажность $0,02\text{—}0,03\%$ и содержание измельченных кристаллов не более $6\text{—}8\%$. За процессом сушки наблюдают через окна 8.

Требования к качеству сахара-песка и его хранение. Сахар-песок по качеству должен соответствовать требованиям ГОСТ 21—78: влажность не более $0,14\%$, доброкачественность не менее $99,75\%$, содержание редуцирующих веществ не более $0,05\%$, содержание золы не более $0,03\%$, цветность сахара на 100 частей сухих веществ не более $0,8$ усл. ед.

По внешнему виду сахар-песок должен быть бесцветным, однородным по величине кристаллов, с минимальным количеством друз и кристаллической «муки». Под друзами понимают сросшиеся кристаллы, а под «мукой» — мельчайшие кристаллики, проходящие через сито с отверстиями диаметром $0,25$ мм. Коэффициент однородности, выражаемый суммой двух наибольших по массе смежных фракций по ситовому анализу (например, масса кристаллов, проходящих через сита с отверстиями $1,0\text{—}0,75$ и $0,75\text{—}0,5$ мм), должен быть не менее 80% к общей массе сахара-песка.

Размер кристаллов сахара-песка колеблется в интервале $0,55\text{—}0,95$ мм. Различают крупные, средние и ниже средних кристаллы сахара-песка, в 1 г массы которого содержится соответственно около 1500, 3000 и 5000 шт. Кристаллы должны быть блестящими, с острыми гранями.

Приготовленный из сахара-песка раствор должен обладать прозрачностью и термоустойчивостью, быть свободным от микроорганизмов, легко фильтроваться и не должен пениться.

Сухой сахар-песок температурой не выше 25 °С взвешивают и упаковывают в тканевые мешки (новые или бывшие в употреблении) массой по 50 кг. Хранят сахар-песок в сухих вентилируемых складах с относительной влажностью окружающего воздуха не выше 70 %. Мешки с сахаром укладывают в штабели (верхним концом внутрь) на сухие деревянные решетки спаренными, отдельными тройками или пятерками в 24 ряда по высоте. При резком потеплении зимой или в дождливую погоду, когда относительная влажность воздуха высокая, склады стараются не вентилировать, так как пленка, оставшаяся на кристаллах сахара-песка, очень гигроскопична.

При укладке мешков в штабели оставляют проходы: у стен 0,5—0,7 м, между штабелями 0,3—0,5 м, в центре до 2 м.

Склады обеспечиваются необходимыми механизмами для погрузочно-разгрузочных работ, термометрами, психрометрами, противопожарными средствами.

На некоторых заводах применяется бестарийный способ хранения, при котором сахар-песок влажностью 0,02—0,03 % хранится в железобетонных или металлических вертикальных цилиндрических емкостях (силосах) вместимостью по 10 тыс. т и более. Снаружи эти емкости покрывают теплоизоляцией, чтобы на их внутренних стенках не конденсировалась влага и сахар не увлажнялся. Загрузка и выгрузка сахара-песка в силосах полностью механизирована. Потребителям его доставляют в специальных автомобильных или железнодорожных цистернах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите о трехкристаллизационной схеме получения сахара-песка.
2. Какова растворимость сахарозы в чистых сахарных растворах и в присутствии несахаров?
3. Что такое насыщенный и ненасыщенный раствор сахарозы?
4. Что такое коэффициент насыщения и коэффициент пересыщения (видимый и истинный)?
5. На какие зоны пересыщения разделяется производственный процесс кристаллизации сахарозы? Какими коэффициентами пересыщения характеризуются эти зоны?
6. Как влияют отдельные факторы на скорость кристаллизации сахарозы?
7. Назовите и охарактеризуйте основные этапы цикла уваривания утфеля I.
8. Как осуществляются заводка и закрепление кристаллов при уваривании утфеля?
9. Каков порядок включения вакуум-аппарата в работу?
10. Почему утфели уваривают под разрежением, а не при атмосферном давлении?
11. Как спускают готовый утфель из вакуум-аппарата?
12. Как определить процентное содержание кристаллов в утфеле?
13. Что такое фактор разделения при центрифугировании утфеля и как его вычислить?
14. Как осуществляется центрифугирование утфеля в периодически действующих центрифугах?

15. В каких установках и при каком режиме высушивают и охлаждают сахар-песок?
16. Что такое псевдооживленный (кипящий) слой сахара?
17. Какие требования предъявляются к качеству сахара-песка?
18. Как хранят сахар-песок?

Глава 9

ПЕРЕРАБОТКА ОТТЕКОВ

УВАРИВАНИЕ УТФЕЛЯ II КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Целью уваривания утфеля II является выделение кристаллического сахара из первого и второго оттеков утфеля I. Эти оттеки являются насыщенными растворами сахарозы. Условия кристаллизации сахарозы в утфеле II принципиально не отличаются от условий кристаллизации в утфеле I, только проводится она при большем пересыщении межкристалльного раствора.

Цикл кристаллизации утфеля II, так же как и утфеля I, делится на четыре стадии: сгущение, заводка кристаллов, наращивание кристаллов и окончательное сгущение утфеля.

В начале цикла уваривания в вакуум-аппарат забирают более чистый второй оттек утфеля I, который для растворения мелких кристаллов и немедленного вскипания в вакуум-аппарате предварительно нагревают в сборнике до 83—85 °С. После покрытия поверхности нагрева вакуум-аппарата оттеком включают подачу пара в греющую камеру, и при минимальном остаточном давлении 0,015—0,017 МПа оттек сгущается до пересыщения ($K_{пер} = 1,30 \div 1,35$). Затем температура оттека немного повышается, что достигается прикрытием воздушного вентиля, и в раствор вводят сахарную пудру (60—80 г на 40 т утфеля). После этого 2—3 подкачками закрепляют кристаллы и при минимальном остаточном давлении проводят их наращивание при непрерывном подкачивании первого оттека утфеля I. Вторичные кристаллы растворяют подкачками оттека. Оттеки на уваривание подают последовательно по нисходящей доброкачественности, сначала берут второй, затем первый оттек и раствор, полученный от промывки сит в центрифугах.

Утфель II сгущается до 93 % сухих веществ, при спуске из вакуум-аппарата в приемную утфелемешалку его опрыскивают горячей водой для снижения коэффициента пересыщения межкристалльного раствора до 1,03—1,06. В конце уваривания утфеля II доброкачественность межкристалльного раствора снижается до 77—78 %.

Сироп, образовавшийся при пропаривании вакуум-аппарата, отводится в ту же утфелемешалку, что и утфель.

Полный цикл уваривания утфеля II при доброкачественности увариваемой массы 85—87 % составляет примерно 300 мин

и при доброкачественности 83—84 % — 330 мин. Из них на вспомогательные операции (набор отека, спуск утфеля и пропарку вакуум-аппарата) затрачивается около 25 мин.

Примерный состав поступающего на центрифуги утфеля II характеризуется следующими показателями:

Показатель, %	Утфель	Сахар	Первый оттек
СХ	79,3	95,5	63,3
СВ	90,5	98,0	81,7
Дб	87,6	97,5	77,5
К	43,6	—	—

Утфель II центрифугируется в горячем состоянии сразу после спуска его в утфелемешалку. Сахар пробеливается чистой горячей водой в количестве около 1 % к массе утфеля. При центрифугировании отбирается два отека с разницей по доброкачественности 4—5 %. Полный цикл центрифугирования при максимальной частоте вращения ротора составляет 7—9 мин.

УВАРИВАНИЕ УТФЕЛЯ III КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Вязкость и понятие о нормальной мелассе. При уваривании утфеля III (последний утфель) в вакуум-аппарат поступают сахарные растворы со значительно большей концентрацией несахаров, чем на уваривание утфелей I и II. Это способствует увеличению вязкости увариваемой массы и снижению скорости кристаллизации сахарозы. В результате цикл уваривания утфеля III в 1,5—2,5 раза длиннее, чем цикл уваривания утфеля II.

С увеличением массы кристаллов сахара в утфеле и массы сухих веществ в межкристальном растворе вязкость быстро растет. В утфеле, охлаждаемом в утфелемешалках-кристаллизаторах от 63—67 до 35—40 °С, допускается содержание кристаллов 40—46 %, а вязкость — 240—250 Па·с (при 40 °С). Дальнейшее повышение содержания кристаллов в утфеле приводит к поломке мешательных устройств. Вязкость отека последнего утфеля (мелассы) в основном зависит от температуры и содержания в ней сухих веществ: с увеличением концентрации сухих веществ и снижением температуры вязкость его сильно повышается. Несахара по-разному влияют на вязкость мелассы, например, в равных условиях кальциевые и магниевые соли оказывают значительно большее влияние на вязкость (в 1,5—2 раза), чем соли калия и натрия. Влияние катионов на вязкость мелассы большее, чем анионов.

Так как из-за высокой вязкости межкристального раствора последнего утфеля в какой-то момент времени приходится прекращать кристаллизацию сахарозы, что обусловлено техниче-

скими возможностями современного оборудования, то содержание некоторого количества сахарозы в мелассе неизбежно. Необходимо только знать этот оптимальный предел, чтобы иметь возможность контролировать технологические процессы и добиваться минимального содержания сахарозы в мелассе.

П. М. Силин, проанализировав состав меласс многих сахарных заводов, работавших на хорошей свекле и имевших минимальное содержание сахарозы, ввел понятие о нормальной мелассе и установил для нее при температуре центрифугирования $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и частоте вращения ротора центрифуги 1000 об/мин следующие параметры: содержание сухих веществ по рефрактометру без разбавления 82%, вязкость 4,4 Па·с. Доброкачеством нормальной мелассы принято называть нормальной.

При температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ нормальная меласса является насыщенным раствором, но если ее охладить или сгустить выпариванием, то можно выкристаллизовать еще некоторое количество сахарозы и получить мелассу с большим содержанием сухих веществ, повышенной вязкостью и меньшей доброкачеством.

С внедрением быстроходных центрифуг с фактором разделения 1200—2200 вместо центрифуг с фактором разделения 640 (частота вращения ротора 1000 об/мин) появилась возможность увеличить в нормальной мелассе содержание сухих веществ до 83,5% (на рефрактометре без разбавления) и вязкость до 7—8 Па·с (при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$), получая дополнительно 0,10—0,15% сахара-песка к массе свеклы.

Доброкачеством нормальной заводской мелассы определяют экспериментально при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для этого пробу мелассы делят на три образца, в которых устанавливают (сгущением или разбавлением) разное содержание сухих веществ, например 80, 82 и 84%. По 100 г каждого образца помещают в герметично закрывающиеся сосуды, добавляют по 20 г мелкокристаллического сахара-песка, сосуды закрывают, закрепляют во вращающейся станине термостата и выдерживают при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2—3 сут. Из насыщенных образцов нормальной мелассы удаляют кристаллы и определяют содержание сахарозы и сухих веществ (на рефрактометре без разбавления), вычисляют доброкачеством и строят график (рис. 66).

Так, для центрифуг с частотой вращения ротора 1450 об/мин нормальная меласса содержит примерно 83,5% СВ. На экспериментальной прямой из точки, соответствующей 83,5% СВ, опускают перпендикуляр на абсциссу и получают значение доброкачеством нормальной мелассы для данного завода — 56,9%.

Уваривание утфеля III в вакуум-аппарате. Утфель III уваривают из второго и первого оттеков утфеля II и оттека, полученного от промывки сит в центрифугах утфеля III. Процесс

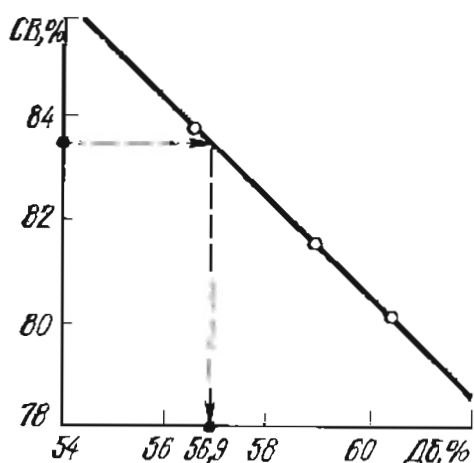


Рис. 66. Зависимость нормальной доброкачественности мелассы от содержания сухих веществ при 40 °С

уваривания разделен на две ступени: на первой оттеки сгущают выпариванием и обессахаривают в вакуум-аппарате, затем, когда содержание сухих веществ в утфеле достигнет 94—95 % и дальнейшая кристаллизация сахарозы сгущением из-за высокой вязкости утфеля становится невозможной, утфель выгружают в кристаллизационную установку, и выкристаллизовывание сахарозы продолжается охлаждением при перемешивании (вторая ступень).

Цикл уваривания утфеля в вакуум-аппарате состоит из набора оттека и сгущения его до пробы, заводки кристаллов, наращивания кристаллов, окончательного сгущения утфеля. В начале цикла в вакуум-аппарате создается остаточное давление 0,060—0,067 МПа и набирается нагретый до 80 °С второй оттек утфеля II до уровня, покрывающего поверхность нагрева. Затем включают подачу пара в греющую камеру, и остаточное давление понижается до 0,012—0,017 МПа. Сгущение оттека проводится при полностью открытых воздушном и паровом вентилях при температуре 64—67 °С до содержания 83—85 % сухих веществ, что соответствует коэффициенту пересыщения 1,35—1,40. О готовности раствора к заводке кристаллов судят по показаниям прибора, а также по подвижности утфеля и скорости стекания брызг по зрительному стеклу.

Кристаллы заводят при повышенном остаточном давлении, соответствующем температуре 70—75 °С. Для этого в вакуум-аппарат вместимостью 40 т утфеля через пробный кран вводят 150—200 г сахарной пудры, кран ополаскивают водой, чтобы оставшиеся кристаллы не исказили картины при взятии проб. Через 1—2 мин после заводки кристаллов начинают отбирать пробы на стекло и просматривать их на свет. Когда обнаружено, что заведено нужное количество центров кристаллизации, коэффициент пересыщения снижается подкачкой свежего оттека, и зарождение новых центров кристаллизации прекращается. Затем кристаллы закрепляются 2—3 небольшими подкачками с интервалом 2—4 мин, и остаточное давление в вакуум-аппарате снижается до 0,012—0,017 МПа. На первые подкачки забирают оттек, разбавляемый до 55—60 % СВ.

Наращивание кристаллов проводится при истинном коэффициенте пересыщения 1,15—1,25 путем непрерывного или частого подкачивания первого оттека утфеля II, нагретого на 5—10 °С выше температуры уваривания утфеля. К концу на-

ращивания кристаллов интервалы между подкачками и объем их постепенно увеличиваются. Время начала и окончания подкачек определяют по показаниям прибора или визуально отбором пробы на стекло.

Разделка кристаллов (снижение их количества в единице объема утфеля) в вакуум-аппарате осуществляется оттеком, разбавленным до 55—60 % СВ и нагретым на 5—10 °С выше температуры уваривания утфеля.

Утфели доброкачеством 79—81 % уваривают до 95—96 % СВ, с меньшей доброкачеством — до 94—95 % СВ. Чем выше содержание сухих веществ в утфеле, тем больше выкристаллизовывается сахарозы. Пределом сгущения утфеля в вакуум-аппарате является ухудшение текучести, вызывающее затруднения при выгрузке. Смысл такого глубокого сгущения (до потерн текучести) состоит в том, чтобы перед спуском в кристаллизационную установку утфель можно было разбавить горячей водой (раскачать) и таким образом снизить вязкость и пересыщение межкристалльного раствора.

Эффект кристаллизации утфеля III в вакуум-аппарате определяют по разности доброкачества утфеля и межкристалльного раствора, он составляет 8—12 %.

Цикл уваривания утфеля III в вакуум-аппарате при доброкачестве увариваемых продуктов 77—79 % составляет 420 мин, при 75—76 % — 600 мин, при 74 % и ниже — 840 мин. Время на вспомогательные операции включено в цикл и не превышает 45 мин.

При переработке свеклы низкого качества и для интенсификации процесса применяется способ уваривания утфеля III на кристаллической основе утфеля II. Для этого 25—30 % утфеля II перетягивают по трубопроводу в вакуум-аппарат утфеля III и уваривание начинается с наращивания кристаллов, минуя стадию заводки кристаллов. Оставшаяся масса горячего утфеля II (70—75 %) центрифугируется с отбором одного оттека.

Работая по схеме с перетяжкой, необходимо поддерживать относительно постоянную доброкачество утфеля III (примерно 77—78 %), независимо от качества перерабатываемого сырья. Это достигается изменением массы перетягиваемого утфеля II и оттека утфеля II, забираемого на наращивание кристаллов.

Массу утфеля II, используемого в качестве кристаллической основы, определяют по формуле

$$U_{II} = U_{III} (Дб_{III} - Дб_{от}) / (Дб_{II} - Дб_{от}), \quad (22)$$

где U_{II} , U_{III} — масса утфеля II и утфеля III в вакуум-аппарате III кристаллизации; $Дб_{II}$, $Дб_{III}$, $Дб_{от}$ — доброкачество соответственно утфелей II, III и оттека утфеля II.

Кристаллизация сахарозы в утфеле III при охлаждении. Из вакуум-аппарата утфель III поступает в приемную утфеле-

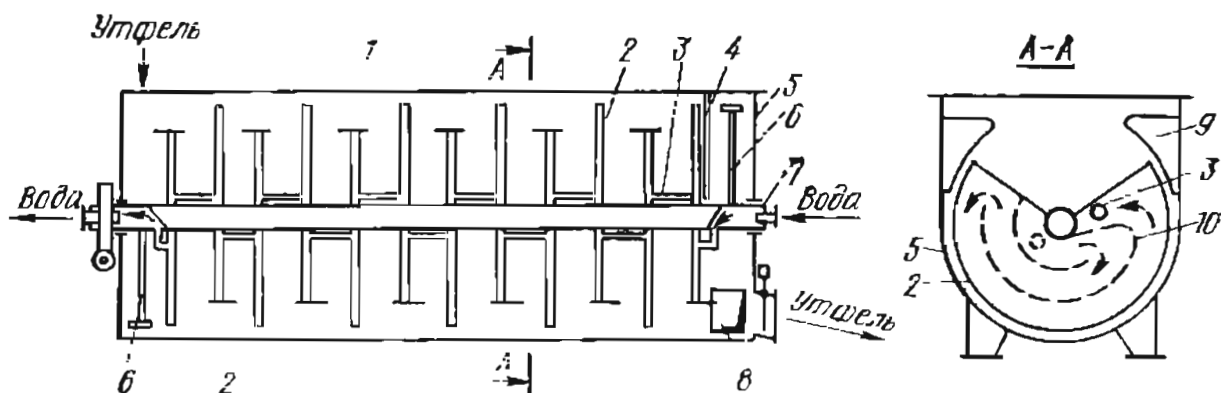


Рис. 67. Утфелемешалка-кристаллизатор

мешалку и оттуда в кристаллизационную установку, состоящую обычно из шести утфелемешалок-кристаллизаторов с дисковой поверхностью теплообмена (рис. 67).

Аппараты первый и второй, третий и четвертый, пятый и шестой соединены между собой переходными трубами в нижней части, а аппараты второй и третий, четвертый и пятый соединены желобами в верхней части. Суммарная полезная вместимость и площадь поверхности теплообмена кристаллизационной установки рассчитаны так, чтобы обеспечивалось охлаждение утфеля с 63—67 до 35—40 °С за 24—26 ч (при трехкристаллизационной схеме). Предусмотрена еще одна утфелемешалка-кристаллизатор для нагревания утфеля перед центрифугированием. Полезная вместимость одной утфелемешалки-кристаллизатора соответствует полезной вместимости вакуум-аппарата.

Утфель, поступающий в корыто 5 утфелемешалки-кристаллизатора, с помощью дисков 2 и перемешивающих лопастей 6 и 1 перемешивается и передвигается вдоль оси вала к перегородке 4, образующей с торцевой стенкой корпуса секцию. Из этой секции через проем 8 утфель переходит в следующий кристаллизатор, где движется в обратном направлении. Навстречу потоку утфеля через полый вал 7 в диски 2 подается холодная вода, которая после прохождения через систему охлаждения кристаллизационной установки выводится в трубчатый теплообменник, где охлаждается и используется повторно.

Внутри пустотелых дисков, соединенных между собой трубками 3, имеются две фигурные перегородки 10, придающие потоку охлаждающей воды нужное направление (см. рис. 67, на разрезе А—А показано стрелками).

Перегородки 9 способствуют зигзагообразному движению утфеля вдоль оси мешалки.

При противоточном охлаждении утфеля важное значение имеет сохранение оптимального перепада температур между утфелем и охлаждающей водой, при котором коэффициент пересыщения межкристалльного раствора у теплообменной поверх-

ности не должен быть выше 1,25. При таких условиях новые центры кристаллизации не зарождаются. Исходя из этого, определяется оптимальный перепад температуры для каждой утфелемешалки (12—18 °С).

Заданная температура утфеля на всем пути его движения в кристаллизационной установке регулируется изменением массы и температуры охлаждающей воды. Для контроля температуры в утфель на глубину не менее 20 см погружают термометры в металлической оправе с хвостовиками, заполненными машинным маслом.

Раскочка утфеля в кристаллизационной установке осуществляется разбавленным оттеком, подаваемым снизу через несколько патрубков в ту часть установки, где температура утфеля 55—60 °С.

В кристаллизационной установке уровень утфеля необходимо поддерживать на 150—200 мм ниже верхнего обреза перемешивающих элементов (при этом добавляемый оттек лучше смешивается с утфелем), а также регулировать оптимальный перепад температур между утфелем и водой, содержание кристаллов и значение истинного коэффициента пересыщения межкристалльного раствора.

Примерный состав утфеля III перед центрифугированием следующий:

Показатель, %	Утфель	Сахар	Меласса
СХ	71,5	93,2	49,2
СВ	89,9	97,5	82,0
Дб	79,5	95,5	60,0
К	43,9	—	—

Основные параметры кристаллизации сахарозы в утфеле III. Основными показателями утфеля III являются содержание сухих веществ, обуславливающее вязкость и доброкачественность мелассы, и допустимая доброкачественность, выше

Т а б л и ц а 9

кристал- лов	Допустимое содержание в утфеле, %					Допустимая доброкачественность утфеля при доброкачественности нормальной мелассы, %				
	сухих веществ при температуре, °С					56	58	60	62	64
	30	35	40	45	50					
40	89,7	90,3	90,9	91,5	92,0	75,4	76,5	77,6	78,7	79,7
42	90,1	90,6	91,2	91,7	92,2	76,3	77,3	78,4	79,5	80,6
44	90,4	91,0	91,5	92,0	92,5	77,2	78,2	79,3	80,3	81,4
46	90,8	91,3	91,8	92,3	92,8	78,1	79,1	80,1	81,0	82,0

которой в нем образуется много кристаллов, повышающих вязкость. Эти показатели определяют в конце процесса уваривания в вакуум-аппарате с помощью данных, приведенных в табл. 9.

Пример. В конце уваривания в вакуум-аппарате получен утфель III с содержанием $СВ=95\%$, $K=44\%$, $Дб=78,1\%$. Доброкачественность нормальной мелассы для данного завода 58% . Определить в утфеле на выходе из кристаллизационной установки допустимое содержание сухих веществ и доброкачественность при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По табл. 9 при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $K=44\%$ допустимое содержание сухих веществ в утфеле составляет $СВ=91,5\%$. А доброкачественности нормальной мелассы 58% и $K=44\%$ соответствует доброкачественность утфеля $78,2\%$.

Следовательно, фактическая доброкачественность утфеля ($78,1\%$) не превышает допустимой ($78,2\%$), а содержание сухих веществ перед спуском из вакуум-аппарата необходимо снизить от 95 до $91,5\%$ разбавлением горячей водой. Количество этой воды вычисляют по формуле или находят по таблице, приведенной в Инструкции по ведению технологического процесса свеклосахарного производства.

Если доброкачественность утфеля окажется выше допустимой, то в конце уваривания в вакуум-аппарате его раскачивают разбавленной (до содержания $78-80\%$ сухих веществ) и нагретой до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ мелассой.

Оптимальное для данного завода содержание кристаллов в утфеле принимают на основании наблюдений и опыта работы.

ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ УТФЕЛЯ III КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Перед центрифугированием утфель нагревают в утфеле-мешалке с развитой площадью поверхности теплообмена и центрифугируют без пробеливания сахарозы с отбором одного оттека — мелассы.

При максимальной частоте вращения ротора полный цикл центрифугирования составляет $12-16$ мин.

Загрузка центрифуги начинается при частоте вращения 230 об/мин, ротор заполняют на полную вместимость так, чтобы утфель не доходил до верхнего края на $10-15$ мм (во избежание попадания сахара в мелассу). При центрифугировании утфеля с большим содержанием мелких неравномерных кристаллов и значительной вязкостью межкристального раствора загрузку центрифуг снижают. Это вызывает уменьшение толщины слоя утфеля в роторе и ускорение процесса. Масса утфеля, загружаемого в центрифугу, регулируется автоматически.

При выгрузке сахара механическим выгрузителем на сите оставляют слой толщиной $2-4$ мм. Для его отделения в течение всей выгрузки в пространство между ротором и кожухом центрифуги подается пар. При этом прилипший к поверхности сита слой сахара отслаивается.

Периодически сита центрифуг пропаривают или промывают горячей водой при малой частоте вращения ротора с от-

водом полученного раствора в сборник первого оттека утфеля II.

На некоторых сахарных заводах для центрифугирования утфеля II и III применяют непрерывнодействующие инерционные центрифуги с коническим ротором в форме воронки (рис. 68).

Утфель сверху непрерывно подается на дно ротора и под напором вновь поступающей массы передвигается снизу вверх по фильтрующей поверхности ротора. Межкристальный раствор проходит через сито, а сахар выгружается сверху. Толщина слоя утфеля в нижней части ротора 5—7 мм, в верхней — до 1 мм. Продолжительность центрифугирования около 10 с.

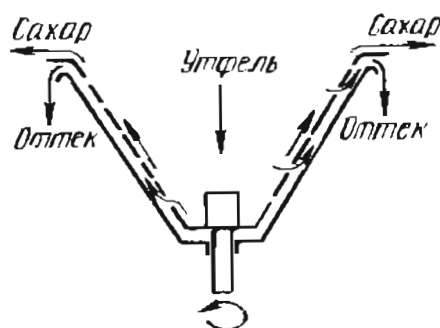


Рис. 68. Схема инерционной центрифуги непрерывного действия

АФФИНАЦИЯ САХАРА III КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

При центрифугировании утфеля III на поверхности кристаллов сахара остается слой межкристального раствора (меласса), поэтому доброкачественность сахара не превышает 96 %. Чтобы повысить доброкачественность, сахар подвергают аффинации.

Аффинация — это процесс, заключающийся в переводе части несахаров из пленки на поверхности кристаллов в аффинирующий раствор. Для аффинации сахар III кристаллизации из центрифуг подают в аффинатор (утфелемешалку), куда добавляют ненагретый разбавленный до 74—76 % СВ первый оттек утфеля I в таком количестве, чтобы получить аффинационный утфель с содержанием 89—90 % СВ. При температуре около 65°C утфель перемешивают 20 мин.

В результате разности концентраций несахаров часть их из пленки на поверхности кристаллов переходит в аффинирующий раствор. При этом доброкачественность пленки межкристального раствора увеличивается, а содержание сухих веществ в ней и вязкость уменьшаются. В результате этого при центрифугировании утфеля на кристаллах сахара-аффинада остается более тонкая пленка, чем на кристаллах сахара III кристаллизации.

По качественным показателям аффинационный утфель приближается к утфелю II, поэтому перед центрифугированием их смешивают и центрифугируют в горячем состоянии. На пробеливание расходуется 1 % горячей воды к массе утфеля.

Аффинация сахара III кристаллизации в аффинаторе имеет ряд недостатков: для ее проведения дополнительно требуются центрифуги, утфелемешалки, насосы; при перемешивании утфеля часть кристаллов истирается и в процессе центрифугирования попадает в оттек, на пробеливание расходу-

ется вода, в которой растворяется значительное количество кристаллического сахара, что приводит к повышенному расходу топлива. Поэтому более целесообразно пробеливать сахар III кристаллизации в центрифугах разбавленным первым оттеком утфеля I или мелассой, разбавленной и нагретой до 85—90 °С, сразу же после отделения межкристального раствора (за 3 мин до окончания цикла центрифугирования). Пробеливание сахара водой исключается.

Если для пробеливания используют первый оттек утфеля I, то после центрифуг его отбирают с помощью сегрегатора отдельно от мелассы и направляют на уваривание последнего утфеля. Расход пробеливающего раствора при этом сокращается в 6—7 раз по сравнению с аффинацией в аффинаторе, что дает возможность направить большую часть первого оттока утфеля I на уваривание утфеля II и сократить массу продуктов на последней ступени кристаллизации, при этом исключается растворение кристаллического сахара в пробеливающей воде.

При таком способе пробеливания сахара III кристаллизации на заводе высвобождаются несколько центрифуг, аффинатор и насосы. Цветистость сахара снижается в 2—3 раза, а доброкачественность повышается на 0,5—0,8 %.

Сахар-аффинад и сахар II кристаллизации растворяют (клеруют) очищенным соком при 80—85 °С до 65—67 % сухих веществ в двух вертикальных, работающих поочередно мешалках или в непрерывнодействующей горизонтальной мешалке, рассчитанных на 15-минутную длительность растворения. Полученный раствор (клеровка) смешивают с сиропом из выпарной установки и подают на уваривание утфеля I. Клеровка должна быть слабощелочной (рН около 8), при необходимости в нее добавляют известковое молоко.

МЕЛАССА

Образование мелассы. Оттек, полученный на последней ступени кристаллизации и содержащий сахарозу, воду и большинство растворимых несахаров, оставшихся в диффузионном соке после его очистки известью и образовавшихся в результате разложения сахарозы на последующих стадиях производства, называют мелассой. Меласса обладает высокой вязкостью (4—8 Па·с при 40 °С). Дальнейшее выкристаллизовывание из нее сахарозы нецелесообразно, так как на современных центрифугах трудно отделить межкристальный раствор вязкостью больше 8 Па·с.

Большинство несахаров способствует повышению растворимости сахарозы и увеличению содержания ее в мелассе, что является основной причиной образования мелассы. Об активности отдельных несахаров в мелассообразовании можно судить по их мелассообразующим коэффициентам, показываю-

щим, сколько килограммов сахарозы в мелассе связывается 1 кг несахаров. Ниже представлены средние значения меласообразующих коэффициентов (m) некоторых несахаров нормальной мелассы, полученной при факторе разделения центрифуг 1200--2200.

Несахара	Меласообразующий коэффициент
KOH	5,51
NaOH	4,44
K ₂ CO ₃	3,54
Na ₂ CO ₃	3,44
CH ₃ COONa	2,40
NaCl	2,30
CH ₃ COOK	2,20
K ₂ SO ₃	2,20
Na ₃ PO ₄	1,94
KCl	1,70

Многие несахара являются активными меласообразователями, особенно карбонаты, хлориды и ацетаты калия и натрия. Меласообразующие коэффициенты калиевых и натриевых солей близки между собой, но при пересчете на эквиваленты калиевые соли как меласообразователи ведут себя значительно активнее.

Одним из наиболее сильных меласообразователей является вода, ее меласообразующий коэффициент равен 2,3—2,7. Поэтому для снижения содержания сахарозы в мелассе необходимо как можно меньше расходовать воды при раскатке последнего утфеля, поддерживать оптимальную температуру утфеля в кристаллизационной установке и при центрифугировании. Заводская меласса должна содержать воды не больше, чем нужно для получения нормальной мелассы.

Сумма меласообразующих коэффициентов отдельных несахаров в нормальной мелассе в соответствии с их парциальной долей в общей массе несахаров выражается общим меласообразующим коэффициентом, величина которого определяется по доброкачественности мелассы.

$$m = \frac{Дб_m}{100 - Дб_m}. \quad (23)$$

Например, в 100 кг сухих веществ мелассы доброкачественностью 59 % содержится 59 кг сахарозы и 41 кг несахаров. Тогда меласообразующий коэффициент будет равен $m = 59 / (100 - 59) = 1,44$, т. е. в данной мелассе 1 кг несахаров удерживает 1,44 кг сахарозы.

При одинаковом коэффициенте пересыщения сахарозы содержание сухих веществ, а следовательно, и вязкость в мелассе всегда значительно больше, чем в чистом растворе сахарозы. Поэтому и скорость кристаллизации сахарозы в мелассе в десятки раз меньше, чем в чистом растворе.

Таким образом, основными причинами меласообразования являются: наличие воды, повышенная растворимость саха-

розы в присутствии несахаров и высокая вязкость, затрудняющая центрифугирование последнего утфеля и вынуждающая прекращать кристаллизацию сахара в нем при определенных параметрах.

Состав мелассы. В зависимости от климатических, агротехнических условий выращивания и технологического режима переработки сахарной свеклы состав мелассы колеблется в следующих пределах (в % к ее массе): содержание сухих веществ 76—84; сахарозы 46—51; азота общего 1,5—1,8; бетаина 4—7; редуцирующих веществ 1,0—2,5; рафинозы 0,8—1,2; молочной кислоты 4—6; уксусной и муравьиной кислот по 0,2—0,5; красящих веществ 4—8; золы 6—10 (в % к массе золы: K_2O —68; Na_2O —12; CaO —6; Cl_2 —10; SO_3 —2; SiO_2 —0,5; P_2O_5 —0,7; MgO —0,5; Fe_2O_3 —0,3), доброкачественность 56—62 %.

Из азотистых веществ в мелассе содержится около одной трети бетаина, остальное — аминокислоты (глутаминовая, аспарагиновая, γ -аминомасляная, серин, глицин, аланин, тирозин, лейцин, изолейцин, валин, глутамин, аспарагин). Из аминокислот преобладает глутаминовая кислота и продукт ее превращения — пирролидонкарбоновая кислота. В общей массе азота мелассы содержание азота бетаина и глутаминовой кислоты составляет 40—70 %.

В мелассе имеются также микроэлементы: Al, Mg, Fe, Mn, Cu, Sr, Si, содержание которых в 1 кг составляет по 80—600 мг, а Ni, Co, Mo, Sn, Pb — не более 10 мг каждого.

Выход мелассы. Выход мелассы, составляющий обычно 4,5—5,5 % к массе переработанной свеклы, можно вычислить по производственным показателям.

Пример. Сахаристость свекловичной стружки 16 %, сумма потерь сахарозы (кроме содержания сахарозы в мелассе) 1 % к массе свеклы, доброкачественность очищенного сока 90,5 % и мелассы 58,5 %, содержание сахарозы в мелассе 47,4 %. Определить выход мелассы в % к массе свеклы.

Из 100 кг стружки в очищенный сок переходит сахарозы $16 - 1 = 15$ кг.

В очищенном соке содержится несахаров $n = 15(100 - 90,5)/90,5 = 1,57$ кг.

Мелассообразующий коэффициент равен $m = 58,5/(100 - 58,5) = 1,41$.

Содержание сахарозы в мелассе составит $nm = 1,57 \cdot 1,41 = 2,21$ кг.

Поскольку содержание сахарозы в мелассе 47,4 %, то выход ее из 100 кг свеклы будет $(2,21 \cdot 100)/47,4 = 4,66$ кг.

Использование мелассы. Для сахарного производства меласса является отходом, но для ряда отраслей пищевой и комбикормовой промышленности она служит ценным сырьем. Из оставшихся в мелассе сахаров брожением получают этиловый и бутиловый спирты, лимонную и молочную кислоты, глицерин, ацетон. В сусле, приготовленном из мелассы, выращивают хлебопекарные дрожжи. Мелассой скармливают грубые корма для скота.

На производство этилового спирта расходуется до 70 % мелассы, на производство дрожжей и на корм скоту — по

10 %, остальное ее количество идет на выработку органических кислот.

Из 100 кг сахара, содержащегося в мелассе, получается 60 л этилового спирта. Выход прессованных дрожжей (с содержанием 25 % СВ) на 100 кг мелассы составляет 100 кг. Глицерина получают примерно 20 % к массе мелассы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияют температура, содержание сухих веществ и масса кристаллов на вязкость последнего утфеля?
2. Что такое нормальная меласса? Назовите ее параметры для современных центрифуг.
3. Как определить доброкачественность нормальной заводской мелассы в лаборатории?
4. Каков режим уваривания утфеля III в вакуум-аппарате?
5. Зачем разбавляют утфель III горячей водой перед спуском его из вакуум-аппарата и в утфелемешалках-кристаллизаторах?
6. Почему кристаллизацию сахарозы в последнем утфеле проводят в две стадии: в вакуум-аппарате и в кристаллизационной установке?
7. Каковы схема и принцип действия кристаллизационной установки?
8. Как определяют оптимальное содержание сухих веществ и доброкачественность последнего утфеля на выходе из кристаллизационной установки?
9. Зачем утфель последней кристаллизации подогревают перед центрифугированием?
10. Что такое аффинация сахара последней кристаллизации и как она проводится в аффинаторе?
11. Как проводится пробеливание сахара последней кристаллизации оттеками в центрифугах (вместо аффинации) и в чем его преимущество перед аффинацией в аффинаторе?
12. Что такое мелассообразующий коэффициент и какие несахара являются наиболее сильными мелассообразователями?
13. Как в народном хозяйстве используется меласса?

Глава 10

ПОЛУЧЕНИЕ ТРОСТНИКОВОГО САХАРА-СЫРЦА И ЕГО ПЕРЕРАБОТКА НА СВЕКЛОСАХАРНЫХ ЗАВОДАХ

ПОЛУЧЕНИЕ ТРОСТНИКОВОГО САХАРА-СЫРЦА

Сахарный тростник. В странах с тропическим и субтропическим климатом основным сырьем для получения сахара является сахарный тростник. В СССР сахарный тростник для промышленных целей не выращивается. Сахарный тростник — многолетнее растение из семейства Мятликовых, представляющее собой стебель диаметром 20—40 мм и высотой 2—4 м, который, как и все злаки, состоит из отдельных суставов (междуузлий). Из узлов растут узкие длинные ярко-зеленые листья, которые в нижней части стебля по мере роста желтеют и опадают, а сверху образуют метелку. Снаружи стебель имеет защитный древесный слой, а внутри — губчатую белую ткань, насыщенную сахарным соком.

У созревшего тростника имеется 30—40 и более узлов, расстояние между которыми не везде одинаковое: ближе к корню междуузлия имеют длину до 15 см и больше, а к вершине длина сокращается до нескольких сантиметров. Из узлов растут почки (глазки). Если кусок верхней части с почкой (черенок) посадить в землю, то из почки развивается растение с несколькими стеблями.

Как многолетнее растение тростник, высаженный один раз, дает несколько урожаев. От одной посадки получают 3—4 урожая, затем у старых растений снижается сахаристость, их выкорчевывают и после подготовки почвы проводят новые посадки черенков. В ряде стран для повышения урожайности посадки тростника обновляют ежегодно.

Вегетация сахарного тростника в зависимости от сорта длится 12—24 мес (на Кубе — 12, на Гавайских островах — 24). В недозрелом тростнике содержание сахарозы в верхней части стебля меньше, чем в нижней, а в переспелом, наоборот, нижняя часть стебля беднее сахаром. Сахарный тростник считают спелым, когда содержание сахарозы станет примерно одинаковым во всех междуузлиях стебля.

При уборке урожая стебель рубят так, чтобы внизу на черешке осталась почка, из которой снова вырастают стебли.

Урожайность сахарного тростника без орошения 40—50 т/га, при орошении до 90 т/га. Сахаристость стеблей в зависимости от сорта и почвенно-климатических условий составляет 12—17 %.

Примерный средний состав компонентов сахарного тростника (в %) следующий:

Вода	72,0	Азотсодержащие вещества	0,4
Сахароза	13,0	Органические кислоты	0,2
Ивертный сахар	1,0	Зола	0,8
Клетчатка и гемицеллюлозы	12,0	Воски, жир	0,2
Пектиновые вещества	0,2	Смолы	0,2

К органическим несугарам сока относятся целлюлоза и гемицеллюлозы, инвертный сахар, пектиновые вещества, жиры, воски, азотсодержащие вещества (белки, аминокислоты и амиды кислот), органические кислоты. Нерастворимая часть тростника представлена в основном клетчаткой и гемицеллюлозами, пектиновых веществ мало.

Содержание азотистых соединений в тростнике ниже, чем в сахарной свекле, и они находятся в ином соотношении.

Среди минеральных соединений преобладают соли калия, кремния, фосфора. Содержание солей кальция и магния незначительно.

Сахарный тростник рубят вручную длинными ножами (мачете) или срезают комбайнами, оставляя нижнюю почку неповрежденной.

Срубленный сахарный тростник должен быть переработан в течение 1 сут во избежание заметного распада сахарозы и инвертного сахара.

Из-за различия структуры и химического состава сахарного тростника и сахарной свеклы технология получения сока и очистка его отличаются от применяемой в свеклосахарной промышленности. Сгущение сока выпариванием и кристаллизация сахарозы отличаются мало.

По сложившимся условиям в большинстве стран, культивирующих сахарный тростник, производится не белый сахар, а сахар-сырец доброкачественностью 96—98 %, который затем экспортируется в другие страны, где его подвергают рафинированию и реализуют.

Производство сахара-сырца из сахарного тростника (рис. 69), так же как и на свеклосахарном заводе, можно разделить на три этапа. В состав завода входят тростниковоперерабатывающее, сокоочистительное и продуктовое отделения.

Получение сока. Поступающий на сахарный завод тростник взвешивают, моют, освобождают от камней, песка и загружают в приемный бункер с горизонтальным транспортером в нижней части. Этим транспортером тростник подается на наклонный транспортер 23, который поднимает стебли к ножам-измельчителям 21 и дальше к дробилке и мельницам. Над наклонным транспортером расположен вращающийся пальчатый разравниватель 22, регулирующий высоту слоя поступающего тростника.

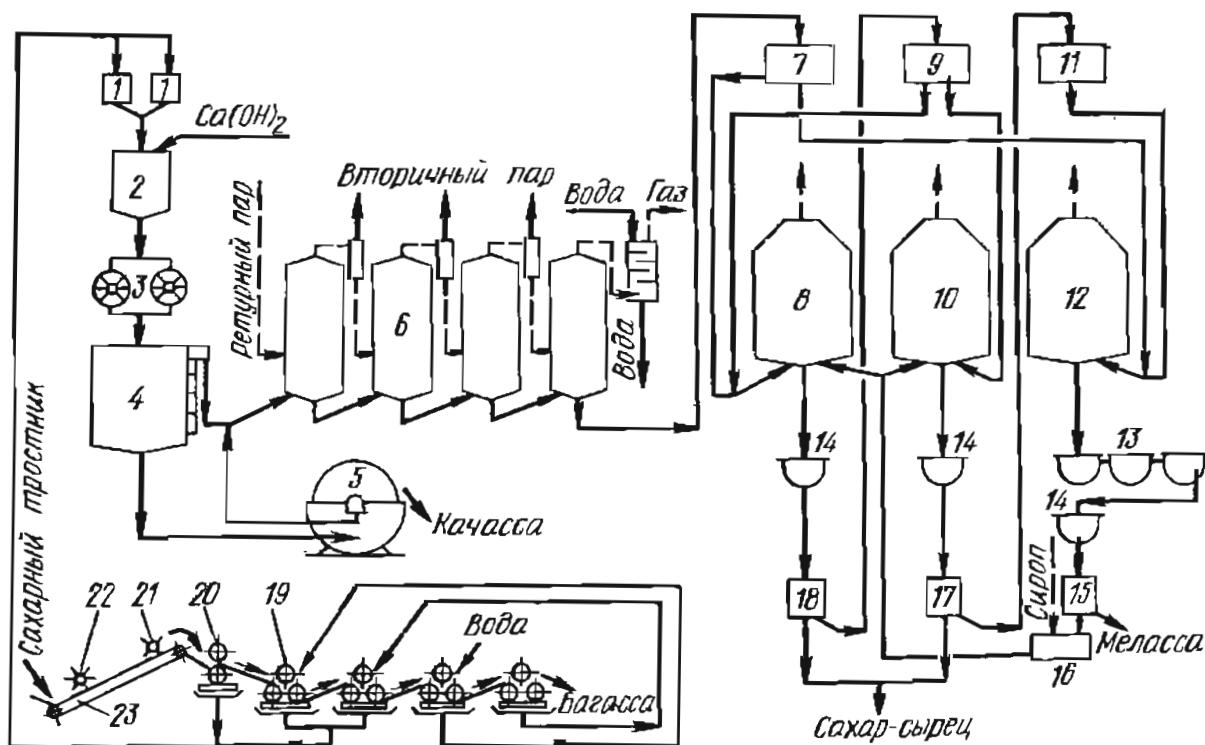


Рис. 69. Принципиальная схема получения сахара-сырца из сахарного тростника

Ножи-измельчители, установленные на высоте около 100 мм над наклонным транспортером, вращаясь с частотой 400—600 об/мин, разрезают стебли тростника на короткие части. Изрезанная масса подается в дробилку 20, состоящую из двух валков с зигзагообразной рифленой поверхностью, где измельчаются стебли и разрываются тканевые уплотнения. Затем тростниковая масса поступает на линию трехвалковых мельниц 19, расположенных последовательно одна за другой. Каждая мельница состоит из двух нижних валков, вращающихся по часовой стрелке, и одного подвижного верхнего, вращающегося против часовой стрелки, который гидравлическим устройством прижимается к нижним валкам и может перемещаться по вертикали. Валки также имеют зигзагообразную рельефную поверхность, облегчающую передвижение и отжим измельченной тростниковой массы. Под дробилкой и мельницами установлены сборники для сока. На дробилке и первой мельнице отжимается 60—70 % сока, остальной сок извлекается на других мельницах.

На тростниково-сахарном заводе устанавливают 1—2 дробилки и 3—7 мельниц, соединенных планочным транспортером. Такая поточная линия называется тандемом. На мельницах продолжается отжатие сока из тростника с ополаскиванием измельченной массы разбавленным соком и водой. Ополаскивание измельченной массы, называемое имбибицией, проводится следующим образом. На предпоследнюю мельницу для ополаскивания подается горячая аммиачная вода температурой около 60 °С. Полученный при этом разбавленный сок насосом направляется на первую мельницу, а остатки сока, отжатого на последней мельнице, подаются на вторую мельницу. Благодаря такой протivotочной схеме обессахаривания в головной части тандема удается получить малоразбавленный сок, который по поддонам стекает в лоток с горизонтальным бронзовым ситом, задерживающим мелкие частицы стеблей тростника (багацилло). Прошедший через сито сок откачивается в сборник, а багацилло сгребается с сита скребковым транспортером и возвращается на первую мельницу. На имбибицию расходуется 15—30 % воды к массе тростника.

Из сахарного тростника извлекается 92—94 % сахарозы. Выход ее можно увеличить уменьшением зазора между верхним и нижним валками мельниц (что повышает усилие отжима), а также установкой большего числа мельниц и увеличением количества промывной воды на имбибицию. Но при повышении усилия отжима снижается доброкачественность сока, так как из тростника в сок переходит больше несахаров. Увеличение числа мельниц и промывной воды для производства нерентабельно.

Сок, полученный на тандеме, содержит 14—16 % сухих веществ, имеет доброкачественность 80—86 % и pH 4,5—5,5. Вы-

ход его в зависимости от расхода воды составляет 100—115 % к массе тростника.

Для лучшего извлечения сока из сахарного тростника на некоторых заводах после дробилок и первой мельницы устанавливают диффузионную установку непрерывного действия, а после нее еще одну мельницу. При этом расходуется значительно меньше электроэнергии и больше извлекается сахарозы (до 97 %), чем на тандемах, но усложняется технологическая схема.

Выходящая из последней мельницы отжатая тростниковая масса, называемая багассой, содержит около 50 % сухих веществ, в основном целлюлозы, выход ее составляет 20—25 % к массе тростника. Багасса используется как топливо в котлах ТЭЦ, из нее вырабатывают бумагу, вискозу, фурфурол, воски, строительные материалы.

Очистка сока. Сырой сок после взвешивания на автоматических весах 1 обрабатывается в дефекаторе 2 около 10 мин небольшим количеством извести (0,1—0,2 % к массе тростника). Во избежание местного перещелачивания и разрушения моносахаридов сок и известь интенсивно перемешиваются, рН при этом не превышает 9,5. После обработки известью сок нагревается в горизонтальных многоходовых трубчатых теплообменниках 3 до кипения и направляется в многоярусный гравитационный отстойник 4 для отстаивания в течение 3—4 ч. В присутствии достаточного количества извести белки и другие коллоидные вещества осаждаются вместе с некоторыми кислотами, образующими с известью нерастворимые соли.

Из отстойника отбираются отстоявшийся сок (декантат) и сгущенная суспензия, которая фильтруется на барабанном вакуум-фильтре 5. Перед фильтрованием к суспензии в качестве дренирующего материала добавляется багацилло. Слои осадка на сите промываются водой, промывные воды и сок отбирают вместе.

Фильтрационный осадок называется качассой, выход ее составляет около 3 % к массе переработанного тростника. Качасса используется в качестве удобрения на полях, из нее выделяют воски — ценное сырье для химической промышленности.

Тростниково-сахарные заводы обычно не имеют своих известково-газовых печей. Негашеную известь, упакованную в бумажные мешки, они покупают и из нее готовят известковое молоко.

Сгущение сока выпариванием и кристаллизация сахара. Очищенный сок сгущается в четырехкорпусной выпарной установке 6 до плотности сиропа. Способ многократного выпаривания и тепловая схема завода мало отличаются от применяемых в свеклосахарной промышленности. Но для меньшего разрушения редуцирующих сахаров сок сгущается при более низкой температуре.

Для кристаллизации сахара в основном применяется трех-кристаллизационная схема. Конструкция вакуум-аппаратов обеспечивает хорошую циркуляцию утфеля (смесь сиропа и кристаллов сахара), для этого используются циркуляционные трубы большого диаметра, перемешивающие устройства, специальные конструкции трубных решеток.

Утфели I и II кристаллизаций уваривают на кристаллической основе сахара III кристаллизации, смешанного с сиропом в утфелемешалке 16. Для этого в вакуум-аппараты I кристаллизации 8 из утфелемешалки 16 подается кристаллическая основа, составляющая примерно $\frac{1}{3}$ массы готового утфеля, а в процессе уваривания в утфель добавляются сироп из сборника 7 и около половины отека утфеля I из сборника 9. Сваренный утфель I доброкачественностью 80—86 % спускается в мешалку-утфелераспределитель 14 и центрифугируется в центрифугах 18. Оттек доброкачественностью 65—70 % направляется в сборник 9. Сахар не пробеливается.

Утфель II кристаллизации уваривается в вакуум-аппаратах 10 также на кристаллической основе из утфелемешалки 16. При уваривании забирается половина отека утфеля I из сборника 9. Утфель доброкачественностью около 70 % разделяется в центрифугах 17. Оттек доброкачественностью 50—55 % направляется в сборник 11, а сахар I и II кристаллизаций смешивается и выводится как товарный сахар-сырец.

При уваривании утфеля III кристаллизации в вакуум-аппарат 12 из сборника 7 набирается сироп, сгущается до пересыщения и в него вводится сахарная пудра, затем для наращивания кристаллов небольшими порциями подается оттек утфеля II. Сваренный утфель доброкачественностью 58—60 % выгружается в кристаллизационную установку 13 и в течение 24—48 ч межкристалльный раствор обессахаривается при охлаждении до 40—45 °С. После разделения утфеля в центрифугах 15 получают оттек (мелассу) доброкачественностью 40—45 % и сахар-сырец, который используется на приготовление кристаллической основы.

Перед подачей в вакуум-аппараты отеки I и II кристаллизаций разбавляют горячей водой до содержания 65—68 % сухих веществ (для растворения кристаллических зародышей).

При переработке сахарного тростника 85—86 % сахарозы (к ее массе в тростнике) выводится с сахаром-сырцом, 7,5—8,0 % — с мелассой, 5,0—5,5 % теряется в багассе, около 0,5 % — в качассе; 0,8—0,9 % составляют неучтенные потери.

СОСТАВ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ТРОСТНИКОВОГО САХАРА-СЫРЦА

Химический состав. Ежегодно в СССР на сахар-песок и сахар-рафинад перерабатывается 3—4 млн. т тростникового сахара-сырца, из них меньшая часть — на специализированных

сахарных заводах, оборудованных аффинаторами, мощными адсорбционными установками и 6-кристаллизационными схемами, и большая часть — на свеклосахарных заводах, имеющих склады для хранения сахара-сырца, машины для разгрузки из вагонов, транспортеры, весы, клеровочную установку на складе. Переработку сахара-сырца начинают сразу после окончания сезона переработки сахарной свеклы.

Тростниковый сахар-сырец состоит из двух компонентов: кристаллов с небольшим включением несахаров и прилипшего к ним межкристального раствора, в котором кроме растворенной сахарозы находится основная масса несахаров. Эти несахара отличаются по составу от несахаров свекловичного сахара. Среди них имеются красящие вещества, альдегиды, эфиры, органические кислоты, придающие тростниковому сахару-сырцу приятный вкус и фруктовый запах, редуцирующие сахара (глюкоза и фруктоза), коллоидные вещества (пектиновые вещества, декстран, протеины, пентозаны), жиры, воски, смолы, минеральные окислы и др.

Химический состав кубинского тростникового сахара-сырца колеблется в следующих пределах (в % к массе сахара-сырца):

Сахароза (поляриметрически)	96,5—98,0
Вода	0,4—0,8
Несахара	1,5—2,0
редуцирующие вещества	0,6—0,9
прочие органические вещества	0,7—1,0
зола углекислая	0,4—0,5
Цветность, усл. ед.	40—50
pH раствора сахара-сырца	6,2—6,5

Содержание сахарозы в сахаре-сырце, определенное поляриметрически, почти всегда ниже истинного на 0,20—0,33 %.

Технологические свойства сахара-сырца в первую очередь обусловлены наличием коллоидных и высокомолекулярных веществ, редуцирующих сахаров и красящих веществ. Коллоидные вещества и высокомолекулярные соединения, содержание которых часто превышает 1 %, затрудняют очистку клеровки сахара-сырца, способствуют увеличению ее вязкости и снижению фильтрационных свойств. Например, 0,1 %-ный раствор пектина обладает такой же вязкостью, как и 10 %-ный раствор сахарозы. Большая часть коллоидных веществ обратима, т. е. после осаждения этиолом их снова можно перевести в раствор.

Редуцирующие сахара, разлагаясь в процессе известковой очистки клеровки и уваривания utfелей, превращаются в органические кислоты и другие вещества, образующие соли кальция, которые являются сильными мелассообразователями. Органические кислоты ускоряют также гидролиз сахарозы.

При наличии в сахаре-сырце значительного количества красящих веществ усложняется обесцвечивание клеровки, повышается расход извести и адсорбентов на ее очистку.

В 100 г тростникового сахара-сырца содержится 0,6—1,0 мг-экв аминокислот и амидов, в том числе аспарагиновой и глутаминовой кислот, аланина, валина, глицина, лизина, лейцина, серина, треонина, тирозина, аспарагина, глутамина. Среди них преобладает аспарагин, аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты.

Минеральные примеси, состоящие в основном из оксидов калия, кальция, магния, хлоридов и сульфатов этих металлов, мало влияют на технологию, но наличие диоксида кремния в коллоидной форме ухудшает фильтрационные свойства клеровки.

Основная масса несахаров (до 80 %) находится на поверхности кристаллов и легко удаляется аффинацией.

Качество тростникового сахара-сырца оценивается по процентному содержанию в нем сахарозы. Хорошим считается сахар доброкачественностью 97—98 %, низкого качества — доброкачественностью до 96 %.

Граулометрический состав. Средний размер и равномерность кристаллов тростникового сахара-сырца являются важными показателями его технологических качеств. Например, крупные и равномерные кристаллы меньше удерживают примесей и легче аффинируются.

В табл. 10 приведен состав фракций усредненного образца кубинского тростникового сахара-сырца массой 100 г, принятой за единицу. Масса сахара и удельная поверхность кристаллов в отдельных фракциях приведены в долях единицы. Средний размер кристаллов (C_p) сахара данного образца равен 1,24, а коэффициент неоднородности $K_{по} = 35$ %.

Т а б л и ц а 10

Показатель тростникового сахара-сырца	Содержание сахара и примесей во фракциях, представляющих собой остаток на сите с отверстиями, мм				
	2,0	1,5	1,0	0,5	0,25
Масса сахара	0,025	0,216	0,448	0,273	0,038
Масса редуцирующих веществ	0,023	0,184	0,414	0,322	0,057
Масса коллоидных веществ	0,022	0,174	0,399	0,339	0,066
Масса красящих веществ	0,025	0,167	0,413	0,327	0,068
Удельная площадь поверхности 1 г кристаллов, см ²	—	33,4	43,3	75,9	157,8

Во фракциях, в которых размер кристаллов меньше 1 мм, сильнее развита удельная площадь поверхности и больше относительное содержание примесей, чем во фракциях с крупными кристаллами.

Обсеменение микроорганизмами. Обсемененность сахара-сырца микроорганизмами зависит от его влажности и загрязненности. Например, при исследовании микрофлоры кубинского сахара-сырца с коэффициентом надежности (K_H) 0,24, хранившегося около 8 мес, было установлено, что мезофильные микроорганизмы, выращенные на мясопептонном агаре, на 80 % представлены спороносными палочками, на 20 % — кокками. Среди термофильных микроорганизмов обнаружены актиномцеты (около 60 %) и спороносные палочки (40 %). При посеве на суловом и дрожжевом агаре обнаружены еще и дрожжи.

Общее количество микроорганизмов в тростниковом сахаре-сырце невелико: на 10 г сахара — 1300—1800 мезофилов, 1000—1400 термофилов.

Способность сахара-сырца к хранению. Тростниковый сахар-сырец хорошего качества обладает высокой стойкостью к длительным перевозкам и хранению. Наиболее важным показателем при этом является его влажность. Практически вся влага находится в пленке на поверхности кристаллов. Чем больше в ней влаги, тем интенсивнее развиваются микроорганизмы. Больше других на влажность сахара влияет наличие в нем хлоридов, сульфатов и инвертного сахара. Например, при содержании в сахаре-сырце 0,004 % хлора влажность его может повышаться до 1,5 %.

Содержание влаги зависит также от температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Для кубинского сахара-сырца предложена диаграмма равновесной влажности (рис. 70), по которой можно определить допустимую влажность сахара и контролировать условия его хранения.

Сахар-сырец с крупными и равномерными кристаллами (средний размер 0,8 мм и больше) лучше центрифугируется, меньше удерживает на поверхности влаги, тогда как влажность мелкокристаллического сахара-сырца, имеющего более развитую удельную поверхность, значительно выше.

Способность сахара-сырца к длительному хранению в зависимости от его влажности определяется по коэффициенту надежности (K_H), характеризующему отношение влажности сахара (W , в %) к массе несахаров ($100 - P$),

$$K_H = W / (100 - P), \quad (24)$$

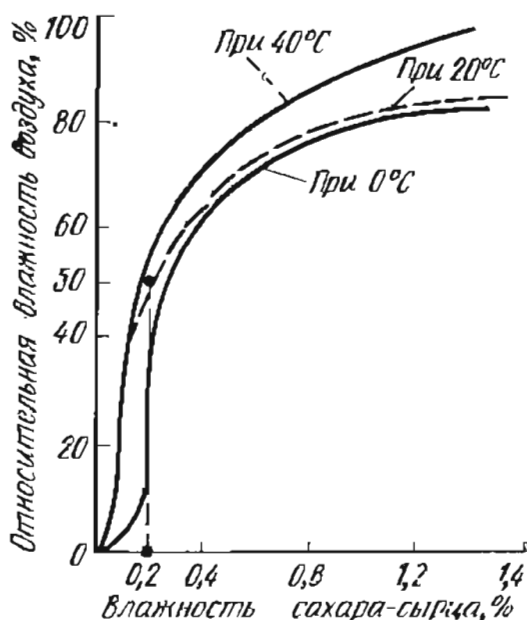


Рис. 70. Кривые равновесной влажности тростникового сахара-сырца при разных температурах

где P — содержание сахарозы в сахаре-сырце, определенное поляриметрически в %.

При величине $K_H < 0,33$ сахар-сырец хранится почти без изменения химического состава, а при $K_H > 0,33$ снижается содержание сахарозы, увеличивается цветность и кислотность. Такой сахар необходимо перерабатывать в первую очередь.

Зная содержание сахарозы в сахаре-сырце можно определить его максимально допустимую влажность при хранении по формуле

$$W = 0,33(100 - P). \quad (25)$$

Если в процессе хранения образуются комки, что происходит обычно при влажности сахара-сырца меньше 0,30 %, то его сыпучесть восстанавливается вентилированием увлажненным воздухом.

Например, сахар-сырец влажностью 0,20 % хранится в складе, где температура воздуха 20 °С, и содержит много комков. Необходимо повысить его влажность и восстановить сыпучесть.

По диаграмме (см. рис. 70) находим, что этим параметрам соответствует равновесная влажность 50 %. Следовательно, для ликвидации комков сахар-сырец необходимо вентилировать воздухом с равновесной (относительной) влажностью больше 50 % до тех пор, пока его влажность не поднимется до 0,3 %.

Понятие о коэффициенте надежности применимо только к сахару-сырцу, не подвергавшемуся в производстве пробеливанию водой и микробиологической порче при хранении, т. е. сохранившему на поверхности кристаллов неразбавленную пленку межкристального раствора. В разбавленной пленке микроорганизмы быстро развиваются, в результате снижается содержание сахарозы и повышается цветность, концентрация коллоидных и редуцирующих веществ, ухудшается фильтрационная способность клеровки.

Раствор свежего тростникового сахара-сырца имеет рН 6,2—6,5, но при хранении в неблагоприятных условиях рН может снижаться до 5,5, а цветность увеличивается в 3—4 раза.

Для повышения стойкости к хранению и перевозкам при центрифугировании сахар-сырец обрабатывают раствором оксида магния (0,01 % MgO к массе сахара) или 3 %-ным насыщенным сахарозой раствором кальцинированной соды.

Доставка сахара-сырца на заводы и требования к складским помещениям. На свеклосахарные заводы тростниковый сахар-сырец поступает из советских морских портов в закрытых железнодорожных вагонах насыпью и в мешках. Приемка его осуществляется в соответствии с инструкцией о порядке приемки, транспортировки по железной дороге и сдачи сахара-сырца. После взвешивания и отбора средних образцов

сахар-сырец выгружают из вагонов с помощью механического грузчика и ленточных транспортеров. Места разгрузки устанавливают в закрытых помещениях непосредственно у складов. Для равномерного размещения сахара-сырца внутри склада и подачи его на транспортеры применяют бульдозеры или тракторные погрузчики. При складировании насыпью не допускается наваливание сахара-сырца на стены.

Сахар-сырец, поступивший в мешках, укладывают в штабели в соответствии с требованиями действующей инструкции по технике безопасности свеклосахарного и сахарорафинадного производства.

Складские помещения для сахара-сырца должны быть сухими, неотапливаемыми, с бетонным или асфальтовым полом, оборудованы плотно закрывающимися дверями, окнами и принудительной системой вентиляции. В процессе хранения в складе систематически осуществляется контроль за температурой и относительной влажностью воздуха и влажностью сахара-сырца. При необходимости склады проветривают. Относительная влажность воздуха в складе поддерживается 60—70 %, температура зимой не должна опускаться ниже +5 °С (во избежание смерзания сахара).

Повышение влажности сахара-сырца при хранении часто происходит в результате потепления, когда окружающий воздух становится более теплым, чем сахар.

ПОЛУЧЕНИЕ САХАРА-ПЕСКА ИЗ САХАРА-СЫРЦА

Технологическая схема. На специализированных сахарных заводах, оснащенных 6-кристаллизационными схемами и оборудованием для аффинации, тростниковый сахар-сырец перерабатывают с сохранением большей части исходных редуцирующих веществ. Для этого перед растворением его подвергают аффинации, а дефекосатурацию клеровки проводят при низкой щелочности и часто синхронно, когда известь и сатурационный газ подаются одновременно. При этом расходуется не более 0,4 % активной извести к массе сахара-сырца, а рН клеровки не превышает 9,5. Уцелевшие от разложения известью редуцирующие вещества выводятся с мелассой.

Однако переработка сахара-сырца на свеклосахарных заводах таким способом затруднена, поэтому применяется схема с полным разложением редуцирующих веществ. Значительная часть продуктов распада, образующихся при энергичном воздействии извести на редуцирующие сахара, адсорбируется на карбонате кальция, что дает возможность поддерживать цветность клеровки в необходимых пределах и получать стандартный сахар-песок. Но при этом кроме безвозвратных потерь редуцирующих сахаров от разложения увеличивается содержание сахарозы в мелассе, так как редуцирующие сахара обладают

способностью снижать растворимость сахарозы. Поэтому чем выше концентрация редуцирующих сахаров в мелассе, тем ниже в ней содержание сахарозы и меньше ее доброкачественность.

При работе свеклосахарного завода по схеме с разложением редуцирующих сахаров в сахаре-сырце расход извести составляет 4—5 % к массе сахара-сырца, а рН клеровки на дефекацию достигает 11,6.

Лучший эффект очистки клеровки сахара-сырца известью и сатурационным газом получается в разбавленных растворах, которые легче фильтруются. Поэтому на заводах клеровку сахара-сырца готовят с содержанием сухих веществ не более 60 %.

Последовательность технологических операций приведена на схеме (рис. 71).

Тростниковый сахар-сырец, поступающий со склада, взвешивают на автоматических весах и, после отбора средних образцов для определения качества, подают в клеровочный аппарат для растворения в промоях до плотности сиропа (не более 60 % сухих веществ). Полученную клеровку смешивают с клеровкой первого оттока утфеля I и сахара III кристаллизации и подают на 8—10-минутную дефекацию при рН 11,5—11,6 (щелочность по фенолфталеину 1,8—2,0 % СаО). Расход активной извести на дефекацию в зависимости от качества сахара-сырца составляет 3,5—4,5 % СаО к массе сахара-сырца.

Дефекованную клеровку подвергают двухступенчатой сатурации: на первой ступени ее обрабатывают сатурационным газом до рН 10—10,5 (щелочность по фенолфталеину 0,06—0,09 % СаО), на второй ступени — до рН 9—9,2 (щелочность по фенолфталеину 0,03—0,04 % СаО).

Перед второй ступенью сатурации, во избежание затруднений при регулировании конечной щелочности, к клеровке добавляют известковое молоко (0,4—0,5 % СаО к массе сахара-сырца).

На выходе из второго сатуратора поддерживают максимально возможную щелочность клеровки, верхний предел которой ограничен ухудшением фильтрационных свойств сатурационного осадка.

Высокая щелочность клеровки на обеих ступенях сатурации и 5—7-кратная рециркуляция ее в сатураторах по внешнему контуру способствуют повышению адсорбционной активности карбоната кальция и утилизации диоксида углерода из сатурационного газа. Отсутствие фильтрования между первой и второй ступенями сатурации не снижает результатов очистки клеровки, так как пептизация несугаров, адсорбированных карбонатом кальция, на второй ступени незначительна.

Отсатурированную клеровку нагревают до 85 °С, фильтруют в дисковых фильтрах, затем сульфитуют вместе с клеровкой сахара II кристаллизации до рН 7,2—7,5, снова нагре-

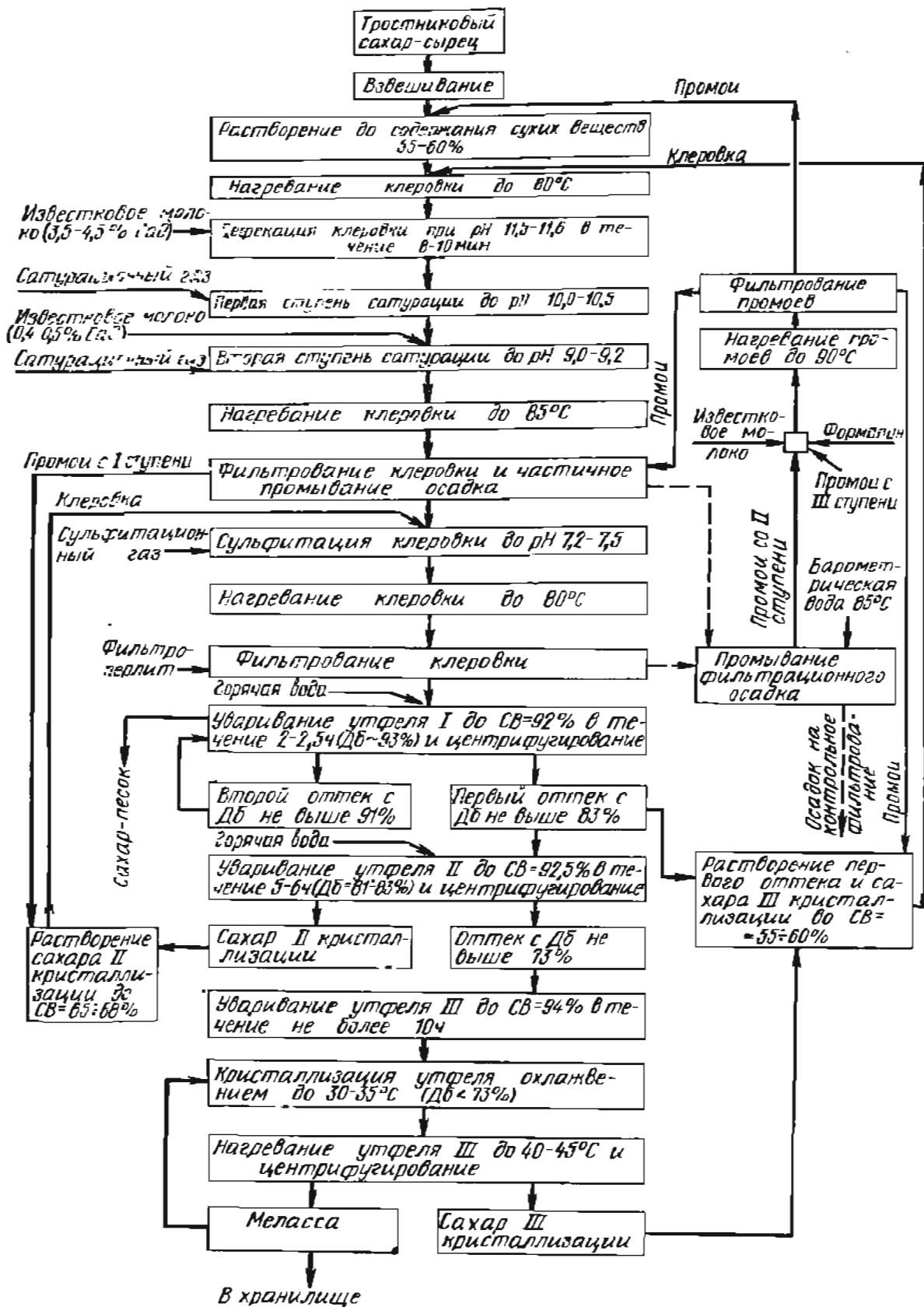


Рис. 71. Структурная 3-кристаллизационная схема переработки тростникового сахара-сырца в сахар-песок

вают до 80 °С, фильтруют в дисковых фильтрах через фильтроперлит и направляют на уваривание утфеля I.

Для стерилизации тракта подачи клеровки не реже одного раза в смену в клеровочный аппарат вводят 8—10 кг формалина.

Фильтрационный осадок промывается (обессахаривается) в три ступени: на первой ступени — в дисковых фильтрах перед сульфитацией промоями со второй и третьей ступеней промывания до содержания в промое 25—30 % сухих веществ, на второй ступени — в вакуум-фильтрах, куда подается фильтрационный осадок из дисковых фильтров с первой ступени, барометрической водой, нагретой до 85 °С, и, наконец, на третьей ступени — в дисковых фильтрах, куда осадок смывается из вакуум-фильтров для контрольного промывания, аммиачной водой температурой 90 °С (третья ступень промывания фильтрационного осадка на рис. 71 не показана).

Перед использованием промой второй и третьей ступеней обессахаривания обрабатывают 40 %-ным формалином (1 кг формалина на 100 т сахара-сырца), известковым молоком до рН 9,5—10, затем нагревают до 90 °С и фильтруют как показано на рис. 71. Или вместе с фильтрационным осадком, смытым из фильтров сульфитированной клеровки, и разливами обрабатывают известковым молоком до щелочности 0,2—0,3 % СаО, сатурируют до рН 9, нагревают до 90 °С, фильтруют и направляют в сборник, которым может служить отстойник сока I сатурации.

Утфель I уваривают из сульфитированной клеровки и своего второго оттека до 92 % сухих веществ при температуре 70—75 °С. В приемной утфелемешалке его раскачивают своим же первым оттеком, подавая часть оттека в пустую утфелемешалку перед спуском утфеля, а часть — после полной выгрузки из вакуум-аппарата. Утфель I центрифугируют с отбором двух оттеков: доброкачественность первого — не выше 83 % и второго — не выше 91 %.

Первый оттек утфеля I содержит некоторое количество инвертного сахара и других несахаров. Его возврат на уваривание утфеля I нецелесообразен, так как в результате многократной рециркуляции в нем будет накапливаться инвертный сахар, что ухудшит качество сахара-песка. Использование всего первого оттека на уваривание утфеля II приведет к увеличению продуктового верстата и интенсивному нарастанию цветности. Поэтому, чтобы разрушить образовавшийся инвертный сахар и удалить часть несахаров адсорбцией на карбонате кальция, 50—80 % первого оттека утфеля I смешивают с клеровкой сахара III кристаллизации и возвращают на известково-углекислотную очистку в начало технологической схемы.

Оставшийся первый оттек утфеля I используют при уваривании утфеля II.

Утфель II уваривают до 92,5 % сухих веществ при температуре 70—75 °С и центрифугируют с отбором одного оттека доброкачественностью не выше 73 %. Допускается пробеливание сахара небольшим количеством воды. Полученный при пробеливании оттек смешивается с первым оттеком. Утфель II откачивается в приемной утфелемешалке своим же оттеком. Сахар II кристаллизации растворяется в прямое первой ступени промывания фильтрационного осадка, клеровка подается на сульфитацию.

Утфель III уваривают до 94 % сухих веществ из оттека утфеля II при температуре 70—72 °С. Перед спуском из вакуум-аппарата его раскачивают разбавленной мелассой и затем дополнительно кристаллизуют при охлаждении в течение 60—72 ч. Охлаждающую воду подают в систему охлаждения утфелемешалок-кристаллизаторов противотоком через 6—8 ч после загрузки утфеля. Доброкачественность готового утфеля должна быть не выше 73 %. В последней утфелемешалке-кристаллизаторе утфель III подогревают на 7—10 °С и центрифугируют с отбором одного оттека (мелассы).

Сахар III кристаллизации растворяют в промоях второй и третьей ступеней промывания фильтрационного осадка и возвращают на дефекацию. Мелассу доброкачественностью 50 % и ниже выводят в хранилище, доброкачественностью 51—54 % используют на раскачку утфеля в кристаллизационной установке, мелассу доброкачественностью выше 54 % возвращают на уваривание утфеля III.

При переработке тростникового сахара-сырца по схеме с возвратом большей части первого оттека утфеля I и сахара последней кристаллизации на дефекацию и сатурацию выход сахара-песка составляет 95—96 %, содержание сахара в мелассе — 1,2—1,3 %, расход известнякового камня — 5—7 % и условного топлива — 26—28 % к массе сахара-сырца.

Потери сахарозы в производстве. Общие потери сахарозы при переработке сахара-сырца на сахар-песок составляют 1,8—2,1 % к массе сахара-сырца, из них 0,9—1,1 % удерживается в мелассе и около 1 % теряется в производстве. Производственные потери состоят из учтенных (в фильтрационном осадке) — 0,10—0,15 % и неучтенных (от термохимического разложения, жизнедеятельности микроорганизмов и др.) — 0,7—0,8 %.

Неучтенные потери сахарозы в производстве (в % к массе сахара-сырца) обусловлены следующими причинами.

В клеровочном отделении они связаны с микробиологическим разложением сахарозы, протекающим в сборниках разбавленных промоек. На заводе средней производительности масса промоек невелика (около 13 м³/ч), но общая вместимость сборников и трубопроводов, а также продолжительность пребывания в них промоек значительны, поэтому и микробио-

логические потери сахарозы в них (особенно при температуре не более 60 °С) могут быть повышенными.

Потери сахарозы в процессе известково-углекислотной очистки клеровки сахара-сырца объясняются большой вместимостью технологических аппаратов, что приводит к длительному пребыванию сахарных растворов в них при высокой температуре.

В продуктовом отделении большое влияние на потери сахарозы оказывают высокая температура уваривания утфелей и низкие значения рН. Если же поддерживать рН утфелей 7,2—7,5 и температуру меньше 70 °С, то неучтенные термохимические потери сахарозы резко снижаются.

Потери сахарозы в барометрической воде при уваривании утфелей связаны с уносом капель сиропа с утфельным паром и перебросами. Для их снижения перед барометрическим конденсатором устанавливают ловушку вместимостью 6 м³ на 100 т перерабатываемого сахара-сырца.

В сточные воды сахара попадает с конденсатом вторичных паров, а также в результате разливов сахаросодержащих растворов.

ПОЛУЧЕНИЕ САХАРА-РАФИНАДА ИЗ САХАРА-СЫРЦА

На свеклосахарных заводах, оснащенных 3-кристаллизационной схемой, из тростникового сахара-сырца можно получать рафинированный сахар-песок. Для этого используется 4-кристаллизационная схема с полным разложением редуцирующих веществ на дефекации, двухступенчатой сатурацией, использованием активного угля и ортофосфата натрия ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) для осаждения некоторых несахаров (рис. 72).

По этой схеме тростниковый сахар-сырец после взвешивания на автоматических весах растворяют в промоях. В клеровку подают суспензию дважды отработавшего порошкообразного активного угля. Эту клеровку смешивают с клеровкой сахара III и IV кристаллизаций, добавляют известковое молоко и при температуре около 70 °С подвергают 15-минутной дефекации. Затем сатурируют в виде ступени без промежуточного фильтрования при максимально высокой щелочности. Перед второй ступенью сатурации в клеровку добавляют известковое молоко (около 0,5 % CaO к массе сахара-сырца) и непрерывно вводят раствор ортофосфата натрия (0,3 % к массе сахара-сырца). Предусмотрена также 5—7-кратная рециркуляция клеровки по внешнему контуру в обоих сатураторах.

После сатурации клеровку нагревают до 85 °С, фильтруют на дисковых фильтрах и сульфитируют. Фильтрационный осадок промывают в последовательности, описанной в схеме получения сахара-песка. Концентрированные промоя фильтрационного осадка ($\text{СВ} > 25\%$) идут на растворение сахара II кри-

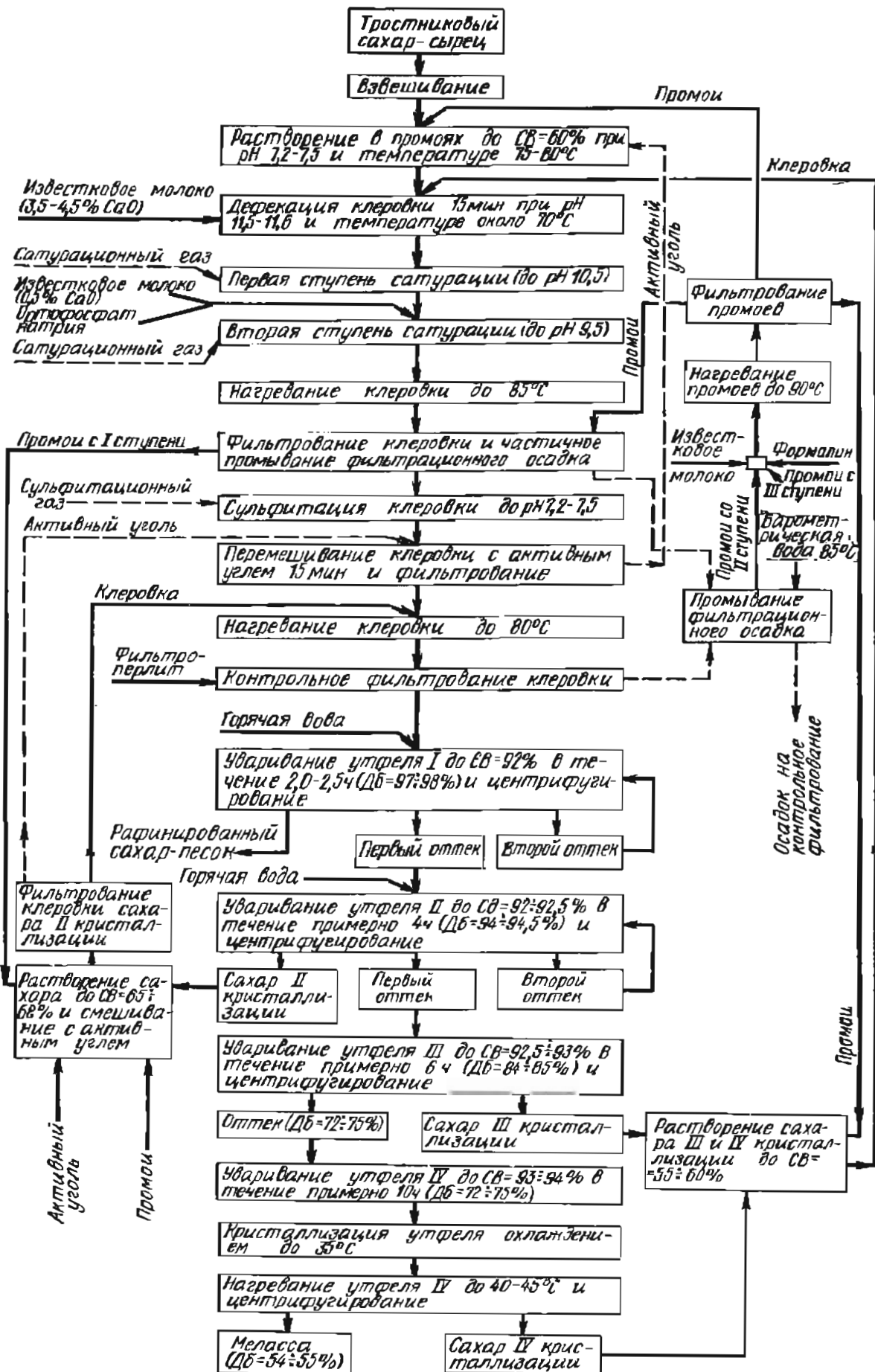


Рис. 72. Структурная 4-кристаллизационная схема переработки тростникового сахара-сырца в сахар-рафинад

сталлизации, разбавленные — на растворение сахара-сырца, сахара III и IV кристаллизаций.

Для повышения качества общей клеровки, поступающей на уваривание утфеля I, промой, расходуемые на растворение сахара II кристаллизации, рекомендуется подвергать дефеко-сатурационной очистке.

Сульфитированную клеровку в течение 15 мин обрабатывают порошкообразным активным углем (уже использованным один раз при обесцвечивании клеровки сахара II кристаллизации), перемешивают, фильтруют на дисковых фильтрах и смешивают с фильтрованной клеровкой сахара II кристаллизации, обработанной свежим активным углем (0,4 % к массе сахара-сырца).

Смесь клеровок нагревают до 80 °С, подвергают контрольному фильтрованию с добавлением фильтроперлита и направляют на уваривание утфеля I.

Утфель I уваривают из сульфитированной клеровки и своего второго оттека. Утфель центрифугируют и пробеливают горячей водой, подсиенной ультрамарином. Первый и второй оттеки делят таким образом, чтобы цветность второго оттека была не выше цветности утфеля. Рафинированный сахар-песок высушивают, охлаждают и упаковывают.

Утфель II уваривают из первого оттека утфеля I и своего второго оттека, затем центрифугируют с отбором двух оттеков.

Сахар II кристаллизации растворяют в концентрированных промоях до 65—68 % сухих веществ, чтобы повысить концентрацию общей клеровки перед вакуум-аппаратами утфеля I до 58—60 % сухих веществ.

Утфель III уваривают из первого оттека утфеля II, на последние подкачки можно брать небольшое количество своего оттека с тем, чтобы доброкачественность утфеля поддерживать 84—85 %, а оттека — 72—75 %.

Утфель IV уваривают из оттека утфеля III. На заводку кристаллов при необходимости берут первый оттек утфеля II. Из вакуум-аппарата утфель спускают в кристаллизационную установку, где сахар кристаллизуется при охлаждении до 35 °С, затем его нагревают до 40—45 °С и центрифугируют. Доброкачественность утфеля 74—75 %, мелассы 54—55 %.

Для снижения цветности утфелей используют гидросульфит натрия из расчета около 0,0025 % к массе сахара-сырца.

Соотношение массы увариваемых утфелей (предыдущего к последующему) на всех ступенях кристаллизации составляет в среднем 3 : 1.

При переработке тростникового сахара-сырца в сахар-рафинад выход товарного сахара ниже примерно на 1 %, потери сахарозы в производстве выше на 0,4 %, расход условного топлива больше на 4,0—4,5 % (к массе сахара-сырца) по сравнению с переработкой его в сахар-песок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте сахарный тростник как сырье для получения сахара.
2. Как получают тростниковый сок? Схема работы тандема.
3. Из каких основных элементов состоит схема очистки тростникового сока?
4. Что такое багасса и где она используется?
5. Как получают тростниковый сахар-сырец на кристаллической основе?
6. Каков химический состав тростникового сахара-сырца?
7. Какие факторы определяют способность сахара-сырца к хранению?
8. Как восстановить сыпучесть сахара-сырца и ликвидировать в нем комки?
9. Какие требования предъявляются к складским помещениям для сахара-сырца?
10. Из каких элементов состоит типовая технологическая схема переработки тростникового сахара-сырца на сахар-песок?
11. Для чего бо́льшая часть первого оттека утфеля I возвращается на очистку известью вместе с клеровкой сахара-сырца?
12. Почему на I ступени кристаллизации значительно больше выкристаллизовывается сахарозы при переработке тростникового сахара-сырца, чем при переработке свеклы?
13. Какой средний выход сахара-песка из тростникового сахара-сырца, перерабатываемого на свеклосахарном заводе?

Глава 11 ОБЕСПЕЧЕНИЕ САХАРНОГО ЗАВОДА ИЗВЕШЬЮ, ВОДОЙ И ПАРОМ

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗВЕСТИ

Сырье. Известь (CaO) и сатурационный газ получают непосредственно на сахарном заводе, обжигая известняковый камень (CaCO_3) в вертикальных известково-газовых печах.

Печь работает непрерывно. Известняковый камень и топливо подают сверху, известь отбирают снизу, а сатурационный газ — из верхней части печи. Сатурационный газ — это смесь диоксида углерода (CO_2 , 30—36 %), азота (N_2 , 60 %), оксида углерода (CO , 0,5—4,0 %), кислорода (O_2 , до 0,5 %). Основным сырьем для получения извести и сатурационного газа являются известняковый камень и топливо.

Известняковый камень (известняк) представляет собой осадочную горную породу, образовавшуюся в результате осаждения раковин и скелетов простейших морских животных. Известняк имеет крупнокристаллическое строение, отличается большой плотностью и прочностью на сжатие, малой пористостью, почти не впитывает влагу и при обжиге незначительно изменяется в объеме. Плотность известняка 2,4—2,9 т/м³.

Используемый иногда мел характеризуется мелкокристаллическим строением, высокой пористостью и низкой твер-

достью, плотность его 1,6—2,0 т/м³, прочность на сжатие небольшая.

Содержание влаги в известняке не нормируется, а для мела не должно превышать 15 %.

Качество известняка определяется по внешнему виду, прочности, размеру кусков и химическому составу. Он не должен содержать заметных на глаз посторонних включений (глины, песка, иных горных пород), цвет снежно-белый со слабым сероватым и желтоватым оттенками.

Согласно техническим условиям состав известнякового камня (в % к массе сухих веществ) должен быть следующим:

Карбонат кальция, не менее	93,0
Карбонат магния, не более	2,5
Оксид железа и алюминия, не более	1,5
Оксид калия и натрия, не более	0,25
Сернокислого кальция, не более	0,25
Кремниевых кислот и нерастворимых в HCl при- месей, не более	2,5

Известняк поставляют дробленным и рассортированным на фракции с размерами кусков (в мм): 40—80, 80—120, 80—180, 80—200, 120—200.

Для обжига известняка чаще всего применяется твердое топливо: кокс или антрацит марок АО и АК, иногда — природный газ или мазут. Кокс легче антрацита, содержит мало летучих веществ. Потери тепла с летучими веществами у него в 5 раз меньше, чем у антрацита, а содержание CO₂ в печном газе получается более высоким. Но стоимость кокса значительно выше, чем антрацита.

Перед употреблением топливо сортируют: куски кокса размером меньше 25 мм, а антрацита меньше 40 мм отсеивают, размером более 80 мм дробят.

Смесь известняка и твердого топлива в массовом соотношении (8 ÷ 10) : 1 называют шихтой.

Обжиг известняка. На сахарных заводах мощностью 3 и 6 тыс. т переработки свеклы в сутки обжиг известняка проводят в печах производительностью 100 т печной извести в сутки. Печь (рис. 73) представляет собой вертикальную цилиндрическую шахту 3 (с внутренним диаметром 3,4 м и полезной высотой 16 м) с небольшим сужением 2 внизу для лучшего распределения воздуха.

В качестве загрузочно-распределительного устройства применяется поворотный лоток. Роль выгрузочного устройства выполняет квадратный качающийся стол 1 в виде двухскатной решетки. Стены шахты выложены кирпичом: внутреннее кольцо — огнеупорным, наружное — шамотным легковесным. Зазор между кольцами (25 мм) заполняется молотым трепелом (изоляционным порошком). Печь заключена в стальной кожух. За-

Рис. 73. Схема известково-газовой печи

зор между кожухом и кирпичной кладкой (60 мм) также заполнен молотым трепелом. Прослойки из трепела дают возможность кладке расширяться при нагревании и являются теплоизолирующими. Печь монтируется на фундаменте.

Загрузка шихты производится по показателям уровнемера. В средней части печи (в зоне обжига) имеются несколько рядов смотровых окон и датчики температуры.

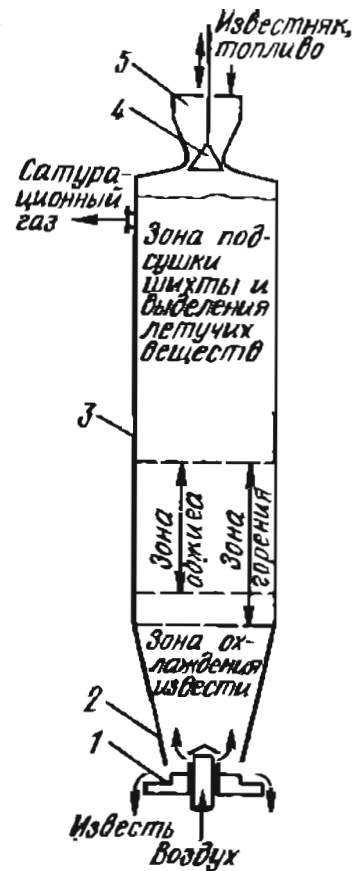
Печиной газ отбирается газовым насосом через специальный короб, установленный на 1,5 м ниже уровня засыпки шихты. В результате непрерывного отбора газа в верхней части печи создается разрежение.

Перед пуском в нижнюю часть печи вручную загружают куски известняка одинаковой величины до уровня нижних смотровых окон, затем укладывают слой дров, на них — слой известняка без топлива и три слоя известняка с коксом. Шихту укладывают так, чтобы куски кокса не соприкасались со стенками печи. На верхнем слое известняка выкладывают клетку из сухих дров, смоченных мазутом, все смотровые окна, кроме нижнего ряда, закрывают, открывают вытяжную трубу и поджигают верхний слой дров. Когда дрова вверху разгорятся, поджигают дрова, уложенные на уровне нижних окон.

Во избежание спекания шихты с облицовкой из печи через 10—12 ч выгружают немного известня и добавляют шихту. Затем через каждые 3—4 ч часть известня выгружают до тех пор, пока в печи не установятся нормальные условия горения (примерно через 24 ч со времени пуска). После этого закрывают естественную тягу, включают газовый компрессор для отсоса печного газа и начинают непрерывный отбор известня через выгрузочное устройство 1 и загрузку шихты в печь через бункер 5. Между загрузками шихты печь закрыта конусным затвором 4.

Шихту поднимают в бункер скиповым подъемником и загружают через каждые 30 мин. Длительность цикла от открытия конусного затвора до полного закрытия составляет 7—8 с, в результате чего потери печного газа во время загрузки шихты незначительны.

Цикл обжига известняка 24 ч. Удельный съем печиной известня составляет 9—11 т CaO с 1 м² в сутки, или около 0,65 т CaO с 1 м³ печи.



Известково-газовая печь по вертикали делится на три зоны: подсушки, подогрева шихты и выделения летучих веществ; обжига известняка; охлаждения известн. В зоне подсушки и подогрева шихта подсушивается и нагревается теплом печных газов до 850—900 °С, а уходящий сатурационный газ охлаждается до 150—200 °С. В зоне обжига CaCO_3 разлагается на CaO и CO_2 с поглощением тепла извне. Температура известняка в конце зоны обжига достигает 1200 °С, а затем начинает снижаться, отдавая в зоне охлаждения тепло поступающему снизу воздуху. В зоне охлаждения известь охлаждается до 200 °С, а воздух нагревается до 600—700 °С.

Нижняя граница зоны обжига не совпадает с границей зоны горения топлива, которая располагается немного ниже. Объясняется это тем, что в зоне охлаждения воздух нагревается только до 600—700 °С, выше (в промежутке между нижними границами зон горения топлива и обжига) температура увеличивается до 1200—1250 °С за счет горящего топлива. Это способствует интенсивному разложению карбоната кальция. В зоне обжига теплота газов расходуется на разложение CaCO_3 более интенсивно, чем поступает от сгоревшего топлива, поэтому температура газов здесь снижается. В интервале между нижней границей зон горения и обжига большая часть тепла расходуется на нагревание воздуха, а температура извести начинает снижаться.

Если известь и диоксид углерода не выводятся, а остаются в замкнутой системе, то в ней устанавливается химическое равновесие. Равновесие парциального давления образовавшегося диоксида углерода называется давлением диссоциации карбоната кальция. Оно зависит от температуры.

Температура, °С	800	900	1000
Давление диссоциации, кПа	22,4	103,1	361,3

Чтобы нарушить установившееся равновесие и вызвать образование нового количества CaO , нужно или повысить температуру, или удалить часть образовавшегося газа, уменьшив тем самым его парциальное давление. Последний способ используется в производстве для разложения карбоната кальция, т. е. из печи непрерывно отбирается газ. Интенсивный отбор CO_2 из системы дает возможность вести разложение карбоната кальция при температуре 1200—1250 °С. При большей температуре оксиды железа и алюминия образуют с кремнеземом (SiO_2), содержащимся в известняке, силикаты и алюминаты кальция и натрия, которые, спекаясь, обволакивают частицы CaO и не дают им возможности реагировать с водой при получении известкового молока. Образуется так называемый перепал, обуславливающий безвозвратные потери извести.

Карбонат кальция в известняке при обжиге разлагается от

поверхности вглубь куска. Чем больше куски известняка, тем большее время требуется для полного разложения. Поэтому известняковый камень, после дробления, сортируют по размеру на фракции и фракции обжигают отдельно.

На производство печной извести расходуется 7—8 % известнякового камня и 0,5—0,7 % условного топлива к массе свеклы.

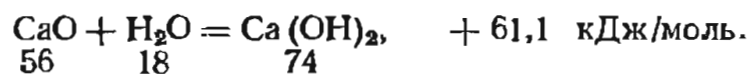
Удовлетворительная по качеству печная известь примерно на 85 % состоит из свободной и на 15 % из связанной извести. В свою очередь свободная известь обусловлена суммой активной извести (реагирующей с водой в обычных условиях гашения) и неактивной извести (реагирующей с водой только после тоющего помола ее).

Связанная известь — это та часть оксида кальция, которая в процессе обжига известняка вступила во взаимодействие с его примесями и образовала новые химические соединения, не реагирующие с водой.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА И САТУРАЦИОННОГО ГАЗА

Схема получения известкового молока и сатурационного газа приведена на рис. 74.

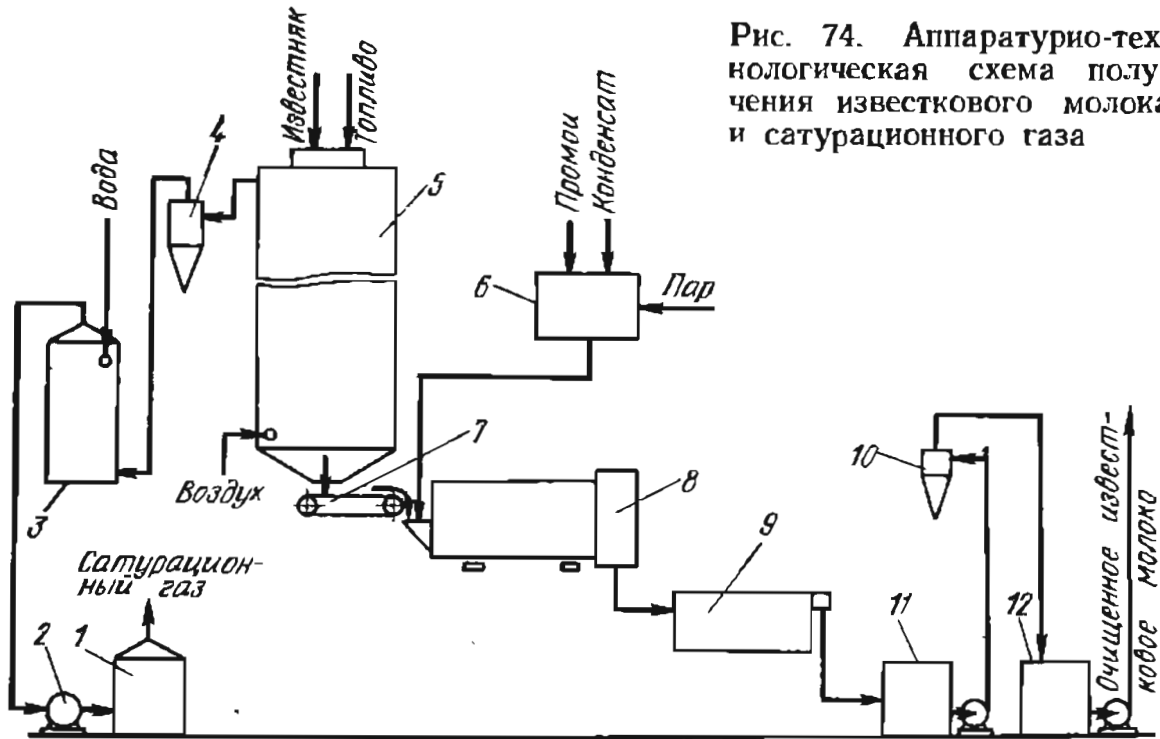
Для гашения выходящая из печи 5 известь подается стальным пластинчатым транспортером 7 во вращающийся известегаситель 8. Сюда из сборника 6 поступают вода или пром. вода. Куски извести нагреты до высокой температуры, при контакте с ними часть воды превращается в пар, а часть расходуется на гашение, т. е. на превращение извести в рыхлую массу гидроксида кальция $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, называемую гашеной известью. При этом выделяется значительное количество тепла (экзотермическая реакция).



В известегасителе температура смеси 85—90 °С. Гашение извести длится 15—20 мин. Всего на превращение 1 кг CaO в $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также на испарение и разбавление гашеной извести до плотности известкового молока (1,19—1,20 кг/л) расходуется около 5,3 кг воды. С водой реагирует только активная известь, содержание которой в общей массе печной извести составляет около 80 %.

Из известегасителя выходит известковое молоко, представляющее собой суспензию с большим содержанием песка и грисса (пескообразного известкового осадка, образующегося из перепала). Поэтому известковое молоко направляется сначала в горизонтальную корытообразную песколоушку 9, где песок осаждается и выводится в отвал, а известковое молоко через мешалку 11 подается в гидроциклон 10 для доочистки от

Рис. 74. Аппаратурно-технологическая схема получения известкового молока и насыщенного газа



тяжелых взвешенных примесей. Очищенное известковое молоко стекает в мешалку 12, отсюда перекачивается в сборник.

Сатурационный газ, отбираемый из печи при температуре 150—200 °С, содержит много пыли, смолистых веществ, хлоридов металлов. Поэтому после печи его подвергают очистке от взвешенных частиц в сухой циклоиной ловушке 4, затем охлаждают примерно до 30 °С и промывают в газопромывателе 5 с насадкой из колец Рашига. Сверху на насадку непрерывно разбрызгивается холодная вода, снизу под распределительный колокол подается сатурационный газ. В промывной воде растворяются хлориды щелочных металлов, диоксид азота, немного диоксида углерода (0,5—0,8 %), конденсируются пары и смолистые вещества. Хлориды щелочных металлов полностью вымываются из сатурационного газа горячей водой, а смолистые вещества — только холодной водой.

Газовый сборник 1 (внндфляша) выполняет роль буферной емкости, откуда сатурационный газ нагнетается компрессором 2 в сатуратор.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОЙ

Для проведения технологических процессов расходуется большое количество воды: холодной из естественных водоемов, охлажденной обратной из искусственных водоемов, барометрической воды (содержит немного аммиака), конденсатов, жомпрессовой воды и промывов.

Если на заводе применять прямоточную схему водоснабжения, когда используется только вода из естественных водоемов и отработавшая вода не возвращается в производство, то об-

щий расход ее составит около 1500 % к массе свеклы. Однако на многих участках сахарного завода можно применять отработавшую воду. Тогда безвозвратный расход чистой воды сокращается до 100—150 %, а количество сточных вод — до 85 % к массе свеклы. Такая схема называется схемой оборотного водоснабжения.

Чистая холодная вода из естественных водоемов используется для мойки свеклы, охлаждения и конденсации пара в барометрических или поверхностных конденсаторах, для охлаждения и промывания сатурационного газа, охлаждения газового насоса, вакуум-насосов и др., для охлаждения последнего утфеля в кристаллизационной установке. Артезианская вода расходуется на пробелывание сахара в центрифугах, раскочку утфеля I и для нужд заводской лаборатории.

Отработавшая вода, в зависимости от загрязнения, делится на три категории: I, II, III.

Вода I категории группы А — вода, которая использовалась для охлаждения последнего утфеля, насосов, оборудования в ТЭЦ. Она не отличается от исходной по составу, но имеет температуру на 5—10 °С выше. Вода I категории группы Б (барометрическая, аммиачная и конденсационная) имеет температуру 40—50 °С и выше. Кроме конденсационной в водах этой группы содержатся аммиак и небольшое количество других органических примесей.

Вода, использованная в системах охлаждения, и барометрическая вода после снижения температуры в градирнях возвращается в водоем оборотной воды без очистки. Конденсат отработавшего пара возвращается на ТЭЦ для питания котлоагрегатов, конденсаты вторичных паров (аммиачная вода) — на промывку фильтрационного осадка, раскочку утфелей, на диффузию, мойку фильтрационной ткани.

Вода II категории — транспортно-мочная, содержащая много органических и минеральных примесей. Она подвергается очистке сначала в радиальном отстойнике с вакуум-сифонной установкой для удаления осадка, затем в вертикальном металлическом отстойнике. Для удаления из транспортно-мочной воды тяжелых примесей и обломков свеклы перед радиальным отстойником устанавливают камнеловушку и песколоушку.

Для улучшения отстаивания в транспортно-мочную воду после радиального отстойника добавляют известковое молоко, потом ее дезинфицируют хлорной известью, а затем возвращают в гидротранспортеры и в первое отделение свекломойки.

Выходящий из радиального отстойника разбавленный осадок обрабатывают известью и направляют в отвалы-накопители, откуда декантат возвращают в вертикальный металлический отстойник, смешивают с осветленной транспортно-моч-

ной водой, а густой осадок сбрасывают в стоки воды III категории.

Вода III категории группы А — жомопрессовая, которая после осветления возвращается в диффузионную установку, заменяя часть свежей воды. Вода III категории группы Б — отстой из жомопрессовой воды, густой осадок из транспортно-моечной воды, вода после обезвоживания фильтрационного осадка в отвалах, вода из газопромывателей и хозяйственно-бытовая — направляется в земляные отстойники-грязеаккумуляторы.

Осветленная вода стекает на поля естественного биологического обезвреживания (поля фильтрации).

Участок земли, отведенный под поля фильтрации, разделен на отдельные секции (карты) и обнесен земляным валом. Секции используют поочередно, по окончании производства их очищают от осадка и подготавливают к повторной эксплуатации. Для повышения фильтрационной способности по периметру полей фильтрации сооружается дренажный канал глубиной 3—4 м.

Вода, профильтрованная через слой почвы, попадает в канал и направляется в аккумуляционный пруд. После доочистки и насыщения кислородом ее можно сбрасывать в общественные водоемы.

Естественная биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов в аэробных условиях (на полях фильтрации и полях орошения) или в анаэробных условиях (в прудах-аккумуляторах, называемых стабилизационными прудами) расщеплять, окислять и восстанавливать содержащиеся в них органические и некоторые минеральные соединения.

Для естественного обезвреживания сточных вод требуются значительные земельные площади под очистные сооружения. Поэтому на многих сахарных заводах применяется искусственная биологическая очистка сточных вод на биофильтрах, в аэротенках, в аэрируемых биологических прудах.

Биофильтр — это сооружение, в котором сточные воды фильтруются через крупнозернистый материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями аэробных микроорганизмов.

Аэротенк — сооружение для биологической очистки сточных вод путем аэрации их в смеси с активным илом, представляющим собой рыхлую массу, насыщенную микроорганизмами, которые осуществляют биологическую очистку стоков.

При проектировании или реконструкции заводской схемы водопользования за основу принимаются следующие показатели (в % к массе свеклы): расход речной (озерной) воды 95, артезианской воды 7; масса сточных вод I категории 960, II категории 820, III категории 85.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРОМ

Большинство свеклосахарных заводов размещено в сельской местности, поэтому их энергоснабжение осуществляется в основном от собственных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) по комбинированной схеме.

По этой схеме в котлоагрегатах в результате сжигания мазута, природного газа или твердого топлива образуется перегретый пар с избыточным давлением 4 МПа и температурой 440 °С, который направляется в турбоагрегат, работающий с противодавлением и соединенный с электрогенератором, вырабатывающим переменный электрический ток напряжением 6 или 10 кВ. Электрическая энергия образуется в результате понижения давления и теплосодержания перегретого пара в турбоагрегате. Машина, соединившая в себе турбоагрегат и электрогенератор, называется электротурбогенератором.

Выходящий из турбоагрегата отработавший пар с избыточным давлением 0,35 МПа увлажняется, охлаждается и направляется преимущественно на обогрев I корпуса выпарной установки. Небольшая часть пара, используемая как добавка к отработавшему пару, отбирается непосредственно из котлов и подвергается в редуциционно-охладительной установке редуцированию, т. е. снижению давления до 0,30—0,35 МПа и увлажнению с понижением температуры до 133—136 °С.

Таким образом, в производстве пар используется многократно: сначала в турбоагрегате, затем в выпарной установке и, наконец, в вакуум-аппаратах, подогревателях и др. Конденсат, полученный в теплообменных аппаратах от конденсации отработавшего пара, возвращается на ТЭЦ, а конденсаты, полученные от конденсации вторичных паров, используются на технологические нужды.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему известь получают непосредственно на сахарном заводе, а не используют привозную?
2. Из чего получают известь и сатурационный газ?
3. Каков состав известнякового камня и топлива, используемых для получения извести и сатурационного газа?
4. Как устроена и работает известково-газовая печь?
5. Какие температурные зоны имеются в печи при обжиге известняка?
6. Как получают известковое молоко?
7. Каков состав сатурационного газа?
8. В чем сущность схемы обратного водоснабжения?
9. На какие категории делится на свеклосахарном заводе отработавшая вода?
10. Что такое поля фильтрации и как они используются?
11. Что такое биофильтры и азротенки? Для чего они используются?
12. Каков расход свежей воды и какова масса сточных вод I, II и III категорий на сахарном заводе (в % к массе свеклы)?
13. С какими параметрами получают перегретый пар из паровых котлов ТЭЦ?

Глава 12

ПРОИЗВОДСТВО САХАРА-РАФИНАДА

ЦЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ САХАРА

Сырьем для производства сахара-рафинада являются сахар-песок и тростниковый сахар-сырец. Сырье содержит некоторое количество редуцирующих и красящих веществ, зольных элементов и др., поэтому ему присущи цвет, запах, характерный привкус.

Цель рафинирования сахара-песка или тростникового сахара-сырца заключается в том, чтобы в результате последовательного выполнения технологических операций максимально удалить примеси и получить практически чистую сахарозу. По действующему ГОСТу 22—78 содержание примесей в сахар-рафинаде допускается не более 0,1 %.

Сахар-рафинад вырабатывают в следующем ассортименте: кусковой прессованный колотый, кусковой прессованный со свойствами литого, кусковой прессованный быстрорастворимый, кусковой прессованный в мелкой фасовке (дорожный), литой колотый, рафинированный сахар-песок.

Сахар-рафинад кусковой прессованный колотый и кусковой прессованный со свойствами литого вырабатывают в виде отдельных кусочков в форме параллелепипеда толщиной 11 или 22 мм, массой 7,5 или 15 г каждый.

Сахар-рафинад кусковой прессованный быстрорастворимый выпускают также в форме параллелепипеда массой по 5,5 г.

Сахар-рафинад кусковой прессованный в мелкой фасовке (дорожный) вырабатывают в виде кусочков в форме параллелепипеда массой по 7,5 г.

Литой колотый сахар-рафинад выпускают в виде кусков произвольной формы размером 40—70 мм.

Рафинированный сахар-песок представляет собой отдельные кристаллы размером (в мм): мелкий 0,2—0,8, средний 0,5—1,2, крупный 1,0—2,5.

Кроме этого, выпускают кристаллическую сахарозу в виде крупных кристаллов размером 0,8—1,5 мм без ультрамарина, рафинадную пудру (измельчают сахар-рафинад) размером не более 0,1 мм, жидкий сахар—прозрачный сахарный сироп светло-соломенного цвета или бесцветный с содержанием 64—67 % сухих веществ.

По органолептическим показателям сахар-рафинад, рафинированный сахар-песок и рафинадная пудра должны соответствовать следующим требованиям: цвет белый (чистый, без пятен и посторонних примесей), допускается слегка голубоватый оттенок; вкус сладкий, без постороннего привкуса и за-

паха как в сухом сахаре, так и в его водном растворе; растворимость в воде полная, раствор должен быть прозрачным.

Физико-химические свойства основных видов сахара-рафинада приведены в табл. 11.

Рафинирование сахара основано на рациональном сочетании процессов адсорбционной очистки сахарных сиропов и кристаллизации сахарозы.

Т а б л и ц а 11

Показатель	Сахар-рафинад				Рафинированный сахар-песок
	кусовой прессованный			литой колотый	
	колотый	со свойствами литого	быстро-растворимый		
Содержание сахарозы, % к массе сухих веществ, не менее	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Содержание редуцирующих веществ, %, не более	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Влажность, %, не более	0,2	0,25	0,2	0,4	0,1
Крепость (временное сопротивление параллелепипеда раздробляющему давлению пресса Бонвеча), МПа, не менее	2,94	3,43	1,47	3,92	—
Полная растворимость кубика сахара-рафинада с ребром 1 см в воде при температуре 20 °С, мин, не ранее	6	7	1	8	—
Содержание крошки (осколков сахара-рафинада массой менее 5 г каждый и пудры), %, не более	2,5	1,5	1,5	1,0	—

Основной процесс рафинирования — отделение сахарозы от несахаров путем ее кристаллизации, но конечное содержание несахаров в сахаре-рафинаде зависит от их концентрации в исходном сиропе, поэтому кроме кристаллизации сахарозы применяется физико-химическая (адсорбционная) очистка сиропов.

Кристаллизация по сравнению с адсорбцией является более мощным средством разделения сахарозы и несахаров, так как при этом в межкристальном растворе остаются почти все минеральные и органические примеси. При очистке адсорбентами (активным углем, анионитами, карбонатом кальция) удаляется только часть несахаров и происходит обесцвечивание продукта, поэтому действие адсорбентов на сиропы в первую очередь оценивается по результатам обесцвечивания.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ САХАРА-РАФИНАДА

Часть отечественных сахаро-рафинадных заводов работает самостоятельно, а часть — в составе сахарных комбинатов. Свеклосахарный и сахаро-рафинадный заводы, входящие в состав комбината, работают по самостоятельным технологическим схемам. На некоторых сахарных заводах имеются сахаро-рафинадные отделения, технологическая схема которых является как бы продолжением свеклосахарного производства.

При производстве сахара-рафинада различают две группы продуктов: рафинадную (2—3 ступени) и продуктовую (3—4 ступени). Сахар-рафинад получают только в первых двух или трех циклах, последующие циклы служат для обессахаривания оттеков и возвращения получаемого желтого сахара на адсорбционную очистку и кристаллизацию в рафинадных циклах. В результате этих технологических операций сахароза выводится с сахаром-рафинадом, а несахара и небольшое количество сахарозы (0,6—0,9 % к массе сахара-песка) выводятся с рафинадной патокой.

Технология сахара-рафинада строится на четком разделении промежуточных продуктов по их доброкачественности. Смешивание растворов различной доброкачественности и цветности не допускается.

Схема переработки сахара-песка. Для переработки сахара-песка цветностью до 1,3 усл. ед. принята 6-кристаллизационная технологическая схема с тремя рафинадными и тремя продуктовыми кристаллизациями, в которой при поступлении сахара-песка цветностью выше 1,3 усл. ед. предусмотрена возможность работы с двумя рафинадными и четырьмя продуктовыми кристаллизациями.

Структурная схема технологических операций при производстве сахара-рафинада из сахара-песка приведена на рис. 75.

По схеме с тремя рафинадными кристаллизациями проводятся следующие операции. Сахар-песок после взвешивания на автоматических весах просеивают и растворяют до плотности сиропа в чистой горячей воде вместе с отходами рафинадной каши, сахара-рафинада и отбора сиропа из адсорберов рафинадной группы (отбор — это первые порции разбавленного сиропа, отбираемого из адсорбера, заполненного свежим или отрегенированным адсорбентом). Сироп сначала фильтруют через слой гравия для удаления крупных примесей, затем через слой фильтроперлита для удаления волокон и мелких примесей.

Сиропа I, II, III рафинадных, I и II продуктовых кристаллизаций подвергают адсорбционной очистке активным углем. При использовании анионитов сироп II продуктовой кристаллизации адсорбентом не обесцвечивается. До и после адсорберов

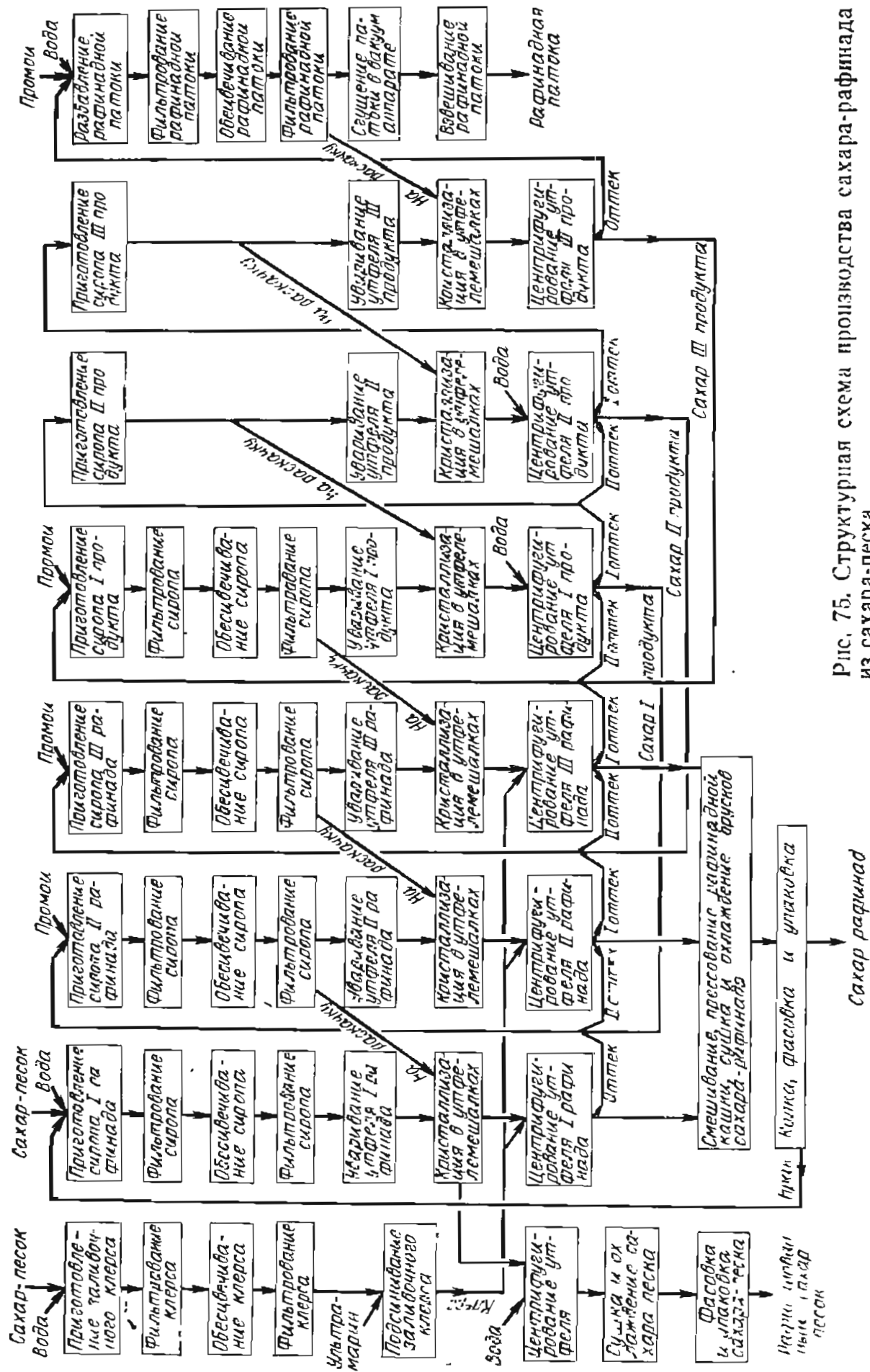


Рис. 75. Структурная схема производства сахара-рафинада из сахара-песка

сироп обязательно фильтруют. Часть обесцвеченного и профильтрованного сиропа I рафинадной кристаллизации может быть выведена в виде жидкого сахара (сиропа с содержанием 64—67 % сухих веществ).

Уваривание уфелей проводится в вакуум-аппаратах при максимально возможном разрежении. На каждой ступени кристаллизации под вакуум-аппаратами установлены уфелемешалки-кристаллизаторы, в которых уфель немного охлаждается и межкристальный раствор дополнительно обессахаривается. По мере охлаждения уфеля в уфелемешалках и увеличения концентрации кристаллов вязкость его увеличивается, а подвижность (текучесть) снижается, что ухудшает интенсивность кристаллизации. Чтобы уменьшить вязкость, уфель разжижают (раскачивают) обесцвеченным сиропом, подаваемым с последующей ступени кристаллизации.

Сахар рафинадных кристаллизаций пробеливают охлажденным и подсиненным заливочным клерсом (сироп), приготовленным из сахара-песка повышенного качества. На I ступени рафинадной кристаллизации отбирают один оттек и направляют на II ступень рафинадной кристаллизации, а на II и III ступенях рафинадных кристаллизаций и на I, II ступенях продуктовых кристаллизаций отбирают по два оттека. Первый оттек идет на уваривание уфеля на следующей ступени кристаллизации, а второй как более чистый добавляют к сиропу той же ступени кристаллизации, где он был получен.

Сахар I и II продуктовых кристаллизаций пробеливают холодной питьевой водой. Сахар последней ступени кристаллизации водой не пробеливают, отбирают только один оттек, называемый рафинадной патокой. При повышенной вязкости уфелей воду для пробеливания сахара нагревают до 35—45 °С.

Сиропа II и III рафинадных и I продуктовой кристаллизаций получают из первого оттека предыдущего уфеля, своего второго оттека и сахара со ступени кристаллизации, расположенной через одну назад по схеме. Сиропа II и III продуктовых кристаллизаций получают только из оттеков.

Влажные кристаллы сахара (рафинадная кашка), получаемые в результате центрифугирования уфелей рафинадных кристаллизаций, тщательно смешивают, просеивают для отделения комков и с максимальным сохранением тепла и влаги направляют на прессование.

Часть сахара I рафинадной кристаллизации можно вместо клерса пробеливать водой и после сушки выводить как рафинированный сахар-песок.

Рафинадную патоку разбавляют горячей водой, сироп фильтруют, очищают адсорбентом, снова фильтруют, сгущают в вакуум-аппарате выпариванием до 80—82 % сухих веществ, взвешивают и выводят в емкость для хранения.

Выход прессованного сахара-рафинада (в % к общей массе утфелей рафинадных кристаллизаций) составляет примерно 53. Общая масса этих утфелей будет $(100/53)100=188\%$ к массе выработанного сахара-рафинада, в том числе: утфеля I рафинадной кристаллизации 100 %, утфеля II 55 %, утфеля III 33 %.

Общая масса утфелей продуктовых кристаллизаций находится в пределах 18—20 % к массе выработанного сахара-рафинада, в том числе утфеля I продуктовой кристаллизации 10—12 %, утфеля II — 4—6 %, утфеля III — 2—3 %.

Уменьшения массы утфелей продуктовых кристаллизаций можно достичь четким делением оттеков и растворяемого сахара по их доброкачественности и цветности.

При переработке сахара-песка цветистостью до 1,3 усл. ед. доброкачественность утфелей продуктовых кристаллизаций должна быть следующей: I — 96—98 %; II — 92—94 %, III — 84—88 %. При ухудшении качества адсорбционной очистки сиропов, снижении темпов производства, нарушении техникологического режима масса утфелей продуктовых кристаллизаций может резко возрастать.

Для достижения высоких технико-экономических показателей работы сахарорафинадного завода необходимо соблюдать следующие основные требования: тщательно очищать сырье и полупродукты от посторонних включений и предохранять их от попадания смазочных масел; не допускать чрезмерного увеличения продуктов на верстате; поддерживать слабощелочную реакцию сахарных растворов (рН 7,5—8,0), подщелачивая известью воду, расходуемую на клеровку сахара-песка и сиропов продуктовых кристаллизаций; не допускать перегревания или длительного нагревания сахарных растворов; своевременно регенерировать (восстанавливать) адсорбенты; уменьшать отбор вторых оттеков при центрифугировании, повышая тем самым качество первых оттеков.

При поступлении на переработку сахара-песка пониженного качества в сиропах рафинадных кристаллизаций снижают содержание сухих веществ на 2—4 % и на 10—20 % увеличивают расход фильтровального порошка, более часто подвергают регенерации адсорбенты, для пробеливания сахара I и II рафинадных кристаллизаций применяют подогретый заливочный клерс, а сахар III рафинадной кристаллизации пробеливают подогретой подсиненной водой.

Если на рафинарование подается небольшое количество сахара-песка пониженного качества, то он перерабатывается вместе с основной массой стандартного сахара-песка равномерно. При поступлении большой партии сахара-песка цветистостью 1,5—2,5 усл. ед. его направляют на приготовление сиропа II рафинада; цветистостью 2,5—4,0 усл. ед. — на приготовление сиропа III рафинада, цветистостью более 4 усл. ед. — на приготовление сиропа I продукта.

Сахар-песок цветностью выше 4 усл. ед. и с повышенным содержанием редуцирующих веществ (более 0,25 %) должны перерабатывать на сахарорафинадных заводах и в отделениях, оборудованных установками для аффинации, дефекации, сатурации и сульфитации клеровки.

Для адсорбционной очистки сиропов из нестандартного сахара-песка расход порошкообразного угля увеличивается сверх нормы на 0,01 % на каждую 0,1 единицы увеличения цветности перерабатываемого сахара-песка. Норма расхода порошкообразного угля принята 0,25 % к массе сахара-рафинада.

На заводах, где вместо порошкообразного угля применяют гранулированный, в сироп следует также дополнительно добавлять порошкообразный уголь в количестве 0,01 % на каждую 0,1 единицы увеличения цветности перерабатываемого сахара-песка. На заводах, применяющих в качестве адсорбентов аниониты, для дополнительного обесцвечивания сиропов применяют гидросульфит в количестве 0,001 % на каждую 0,1 % единицы увеличения цветности перерабатываемого сахара-песка.

На приготовление заливого клерса подают воду, все отходы, полученные при прессовании рафинадной кашки, сушке, колке брикетов, и сахар-песок повышенного качества. Для устранения желтоватого оттенка сахара-рафинада залиговой клерс подсинивают ультрамарином.

В сахарорафинадном отделении свеклосахарного завода применяется схема с двумя рафинадными кристаллизациями (рис. 76), являющаяся продолжением схемы продуктового отделения свеклосахарного завода.

По этой схеме сахар-песок из-под центрифуг продуктового отделения без сушки и учета передается на уваривание утфеля I рафинадной кристаллизации. Для обесцвечивания сиропа I рафинадной кристаллизации используют свежий порошкообразный активный уголь, который после отделения от сиропа подают на обесцвечивание сиропа II рафинадной кристаллизации. Первый оттек утфеля II рафинадной кристаллизации поступает в продуктивное отделение на уваривание утфеля I кристаллизации продуктового отделения.

Влажный сахар I и II рафинадных кристаллизаций смешивают, просеивают для отделения комков, прессуют в бруски, сушат и фасуют.

При необходимости можно выводить рафинированный сахар-песок. Тогда сахар I и II рафинадных кристаллизаций вместо клерса пробеливают водой и высушивают в сушильно-охладительной установке.

Укороченная технологическая схема рафинирования сахара без продуктовых утфелей, когда первый оттек утфеля II рафинадной кристаллизации перерабатывается вместе со свеклосахарными утфелями, имеет определенные преимущества: снижа-

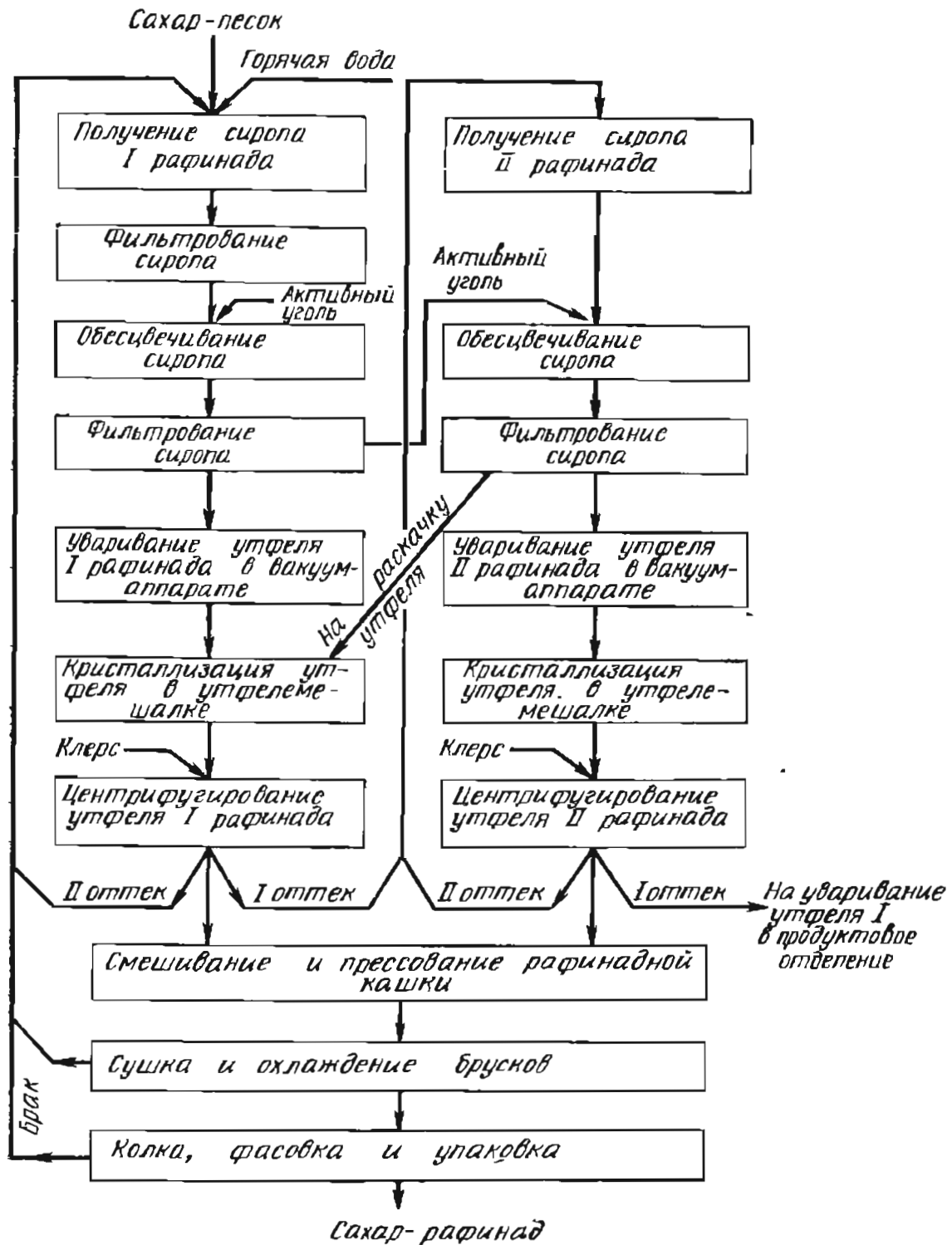


Рис. 76. Структурная схема получения сахара-рафинада в сахарорафинадном отделении свеклосахарного завода

ются потери сахарозы от разложения, повышается доброкачественность утфеля I кристаллизации в продуктовом отделении, а следовательно, и качество сахара-песка, используемого на приготовление сиропа I рафинадной кристаллизации.

После окончания переработки свеклы сахарорафинадное отделение продолжает работать на привозимом сахар-песке, но уже по схеме с двумя рафинадными и тремя продуктовыми кристаллизациями. Для получения утфелей продуктовых

кристаллизаций используется освободившееся оборудование продуктового отделения.

Схема переработки тростникового сахара-песка. На сахаро-рафинадных заводах тростниковый сахар-сырец перерабатывают по схеме с аффинацией, тремя рафинадными и четырьмя продуктовыми кристаллизациями (рис. 77).

Сахар-сырец проходит через дробилку, где разрушаются комки, затем его взвешивают и в течение 10 мин аффинируют первым оттеком утфеля I продуктовой кристаллизации и вторым аффинационным оттеком, разбавленными до 70—72 % сухих веществ и нагретыми до температуры 80—85 °С. Для сохранения инвертного сахара от разложения рН аффинационного утфеля поддерживается 7,5—8. Содержание сухих веществ в аффинационном утфеле 88—90 %.

После центрифугирования первый аффинационный оттек, содержащий значительную часть иесахаров, в том числе и инвертного сахара, выводится на уваривание утфеля III продуктовой кристаллизации. Часть второго оттека возвращается на аффинацию сахара-сырца, а часть используется на приготовление сиропа и уваривание утфеля II продуктовой кристаллизации.

Сахар-рафинад пробеливают теплой водой (40—50 °С) в количестве 4—6 % к массе утфеля и растворяют в горячей воде (80—85 °С) до содержания сухих веществ 58—60 %. Клеровку обрабатывают известковым молоком $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, а затем диоксидом углерода (CO_2) до щелочности 0,015—0,02 % СаО. После отделения на фильтрах осадок выводят в вакуум-фильтр, где его обессахаривают горячей водой до содержания сахарозы в нем 1,0—1,5 %, а полученный сироп сульфитируют до щелочности 0,005 % СаО и вновь фильтруют. Эффект очистки клеровки известью должен быть не менее 35 %.

Очищенная клеровка смешивается в клеровочной мешалке с сахаром I продуктовой кристаллизации, отходами сахара-рафинада, полученными при прессовании, сушке и колке, смесь растворяется при 80 °С до 65—67 % сухих веществ. Полученный сироп обесцвечивают адсорбентом, фильтруют и направляют на уваривание утфеля I рафинадной кристаллизации.

При центрифугировании утфеля I рафинада отбирают один общий оттек и подают на уваривание утфеля II рафинадной кристаллизации.

Дальнейшие технологические операции аналогичны и показаны на рис. 80.

При работе по данной схеме получают примерно 210 % рафинадных утфелей к массе сахара-рафинада, из них утфеля I рафинадной кристаллизации — 110 %, утфеля II — 60 %, утфеля III — 40 %. Масса продуктовых утфелей составляет около 150 %, в том числе утфеля I продуктовой кристаллизации — 35 %, утфеля II — 35 %, утфеля III — 60 %, утфеля IV — 20 %.

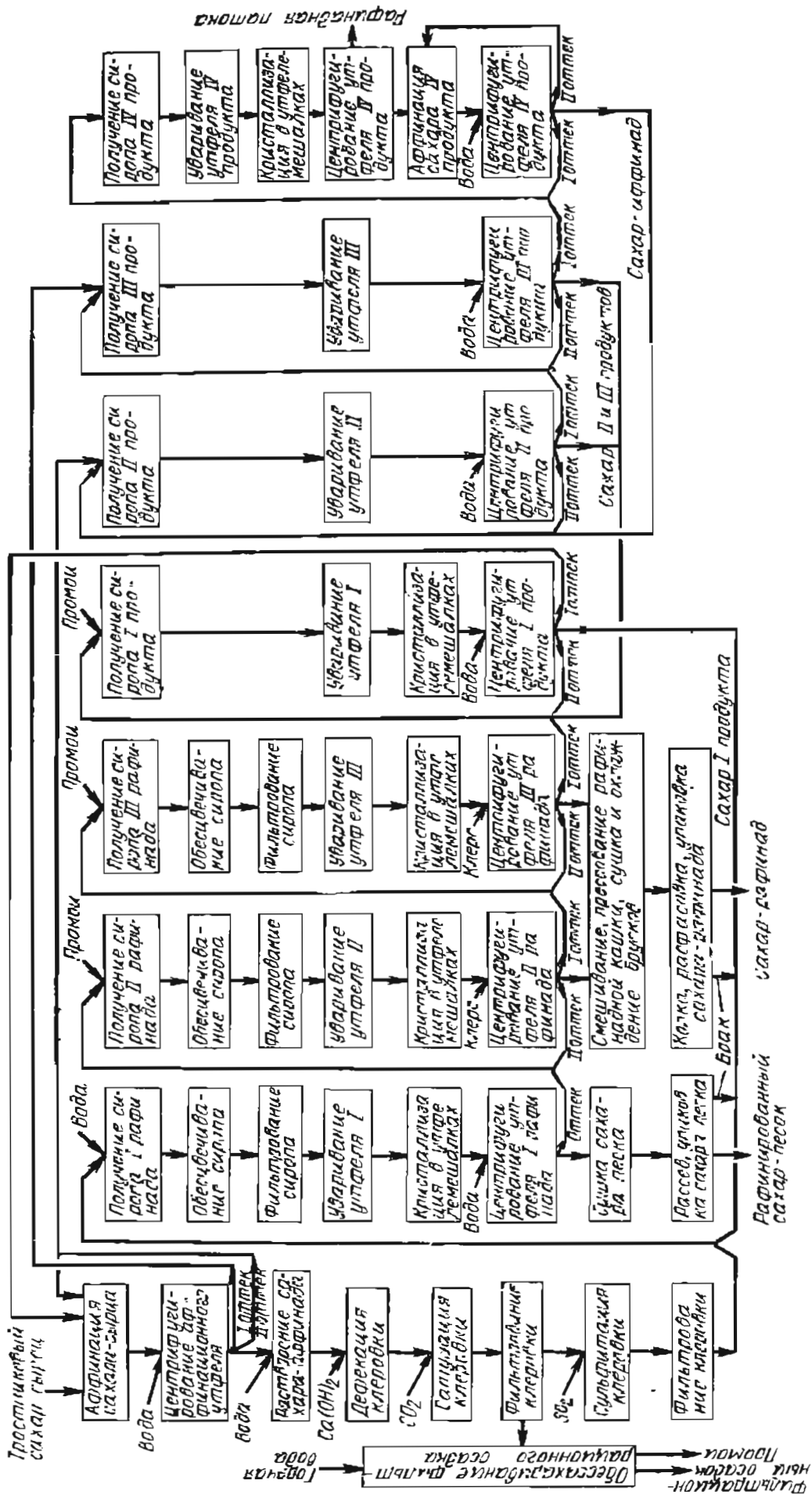


Рис. 77. Структурная схема переработки тростникового сахара-сырца на сахар-рафинад (с аффинажей, грубого рафинада, чистыми и четырьмя продуктами рафинирования)

Соблюдение на всех этапах производства оптимального технологического режима дает возможность получать выход сахара-рафинада около 94 % к массе сахара-сырца.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ СИРОПОВ

Растворение сахара-песка

Для измельчения комков сахар-песок проходит через дробилку с ребристыми валками, затем его взвешивают на автоматических весах и просеивают через шестигранное сито с отверстиями 16×16 мм (рис. 78), которое представляет собой барабан, вращающийся с частотой 20—22 об/мин.

Просеянный сахар-песок распределяется по бункерам по цветности: сахар цветностью до 0,8 усл. ед. идет на приготовление клерса, 0,8—1,3 усл. ед.— на приготовление сиропа I рафинада, до 2,5 усл. ед.— на приготовление сиропа II рафинада. Комки сахара и примеси, не прошедшие через сито, подаются в отдельный клеровочный аппарат, закрытый сверху решеткой. Примеси задерживаются на решетке и промываются горячей водой. Полученный сироп расходуется на приготовление сиропа II рафинада. Для получения сиропа I рафинада и клерса используют отбор клерса с адсорберов и обессоленную, обработанную ионитами, горячую воду. На приготовление других сиропов расходуют пром. Сироп готовят в непрерывнодействующих клеровочных аппаратах, которые устанавливают под шиберами бункеров с сахаром-песком.

Клеровочный аппарат (рис. 79) представляет собой вертикальный цилиндр 1, внутри которого вращается вал 2 с мешалкой. Под решеткой 4 расположен кольцевой барботер. Для интенсификации перемешивания установлены отражатели 3.

Для осуществления непрерывности процесса две клеровочные мешалки соединяют между собой переходной трубой. В первый аппарат подают сахар-песок, воду и пар. Образовавшийся сироп переходит во второй аппарат и там доводится до определенной концентрации сухих веществ (65—67 %), температуры (80—85 °С) и рН (7,5—8,0).

Цикл приготовления рафинадных сиропов 15 мин. Продуктовые сиропы готовят за 10 мин, так как в них поступает меньше кристаллического сахара. Содержание сухих веществ в сиропах около 65 %, температура 75 °С, рН не ниже 7,5.

Оптимальное значение рН всех сиропов устанавливают, добавляя соду и известковую воду. Через 1—2 сут клеровочные мешалки поочередно выключают и через люк, расположенный сбоку над решеткой 4, очищают от осевших примесей.

При переработке сахара-песка по 6-кристаллизационной схеме для приготовления сиропов расходуются следующие продукты:

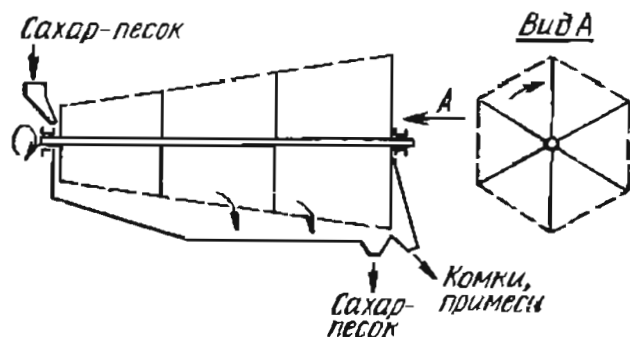


Рис. 78. Шестигранное сито для просеивания сахара

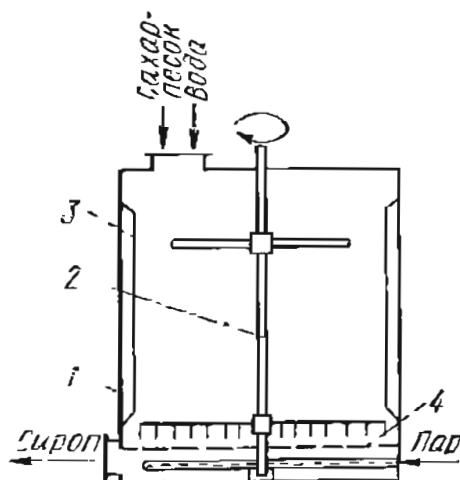


Рис. 79. Клеровочный аппарат

для заливочного клерса — сахар-песок цветностью до 0,8 усл. ед., отбор клерса и чистая горячая вода;

для сиропа I рафинада — сахар-песок цветностью до 1,3 усл. ед., отходы рафинадной кашки и сахара-рафинада, отбор клерса и чистая горячая вода;

для сиропа II рафинада — первый оттек утфеля I рафинада, второй оттек утфеля II рафинада, загрязненные отходы рафинадной кашки, сахар I продукта, густой промой из адсорберов рафинадной группы, промой фильтров;

для сиропа III рафинада — первый оттек утфеля II рафинада, второй оттек утфеля III рафинада, сахар II продукта, отбор сиропа III рафинада, густые промон из адсорберов рафинадной группы;

для сиропа I продукта — первый оттек утфеля III рафинада, второй оттек утфеля I продукта, сахар III продукта, жидкие промон из адсорберов рафинадной группы;

для сиропа II продукта — первый оттек утфеля I продукта, второй оттек утфеля II продукты, густые промон из адсорберов продуктовой группы;

для сиропа III продукта — оттек утфеля II продукта;

для рафинадной патоки — оттек утфеля III продукта, чистая горячая вода и промой из адсорберов продуктовой группы.

Пропарку из вакуум-аппаратов и утфелемешалок направляют в те клеровочные мешалки, в которых растворяется первый оттек утфеля того же наименования.

Фильтровальные сиропы

Сиропы содержат много взвешенных примесей, для улавливания которых после клеровочных аппаратов устанавливают по две закрытые цилиндрические ловушки вместимостью по 0,5 м³, в которые вставлены двухстенные сита с отверстиями

диаметром 3 мм (внутреннее) и 2 мм (наружное). Для очистки сиропов продуктовых кристаллизаций используют ловушки меньшей вместимости с одним ситом (диаметр отверстий в сите 3 мм).

Сита по графику вынимают из ловушек электротельфером, переносят в ящик, где очищают и промывают.

Дальнейшее удаление примесей из сиропов осуществляется с помощью пористых перегородок, образуемых кварцевым гравием и фильтроперлитом. Эти вещества химически инертны, не растворяются в горячей воде и сахарных сиропах.

Гравий используется в закрытых гравиевых фильтрах (рис. 80).

Этот фильтр представляет собой цилиндрический сосуд, в котором внизу имеется решетка, покрытая ситом. На цилиндре сверху и сбоку имеется два люка для загрузки и выгрузки гравия. На решетку укладывают слой гравия высотой 0,4—0,5 м. В гравиевые фильтры сироп поступает самотеком из напорных сборников, расположенных на высоте не менее 5 м от уровня сиропа в фильтре, фильтруется и отводится снизу. Когда скорость фильтрования снижается вследствие загрязнения гравия примесями, подача сиропа прекращается. Остатки сиропа вытесняют из фильтра горячей водой. Окончательную промывку гравия проводят горячей водой снизу вверх. Для полного удаления примесей гравий периодически выгружают через боковой люк, перебирают, удаляя окатанные гранулы, просеивают и добавляют свежий просеянный гравий. Запас гравия хранят в таре, избегая его поверхностного увлажнения и подмораживания.

Для удаления высокодисперсных примесей и получения прозрачного сиропа применяют патронные фильтры или фильтры с центробежной выгрузкой осадка (см. рис. 56).

Патронный фильтр (рис. 81) состоит из цилиндрического корпуса 1, внутри которого в трубной решетке 3 закреплены вертикальные фильтрующие элементы (патроны) 2. Фильтрующий элемент представляет собой трубу со щелевидными продольными отверстиями, на которую по заранее сделанной резьбе навивается проволока из коррозионностойкой стали диаметром 0,7 мм с зазором между витками 0,1 мм. На корпусе установлены патрубок для сообщения с атмосферой и манометр.

Перед фильтрованием сиропа на поверхность патронов намывается слой фильтроперлита толщиной 1,8—2,0 мм. Затем подача суспензии прекращается, и включается подача сиропа. Пройдя через слой фильтровального материала внутрь патрона, сироп заполняет верхнюю часть фильтра и выводится в сборник. Первые порции мутного фильтрата возвращаются в клеровочную мешалку, а прозрачный фильтрат подается на адсорбционную очистку. Активная скорость фильтрования си-

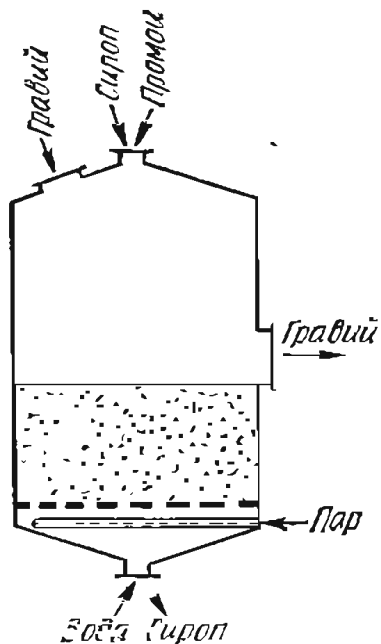


Рис. 80. Гравиевый фильтр

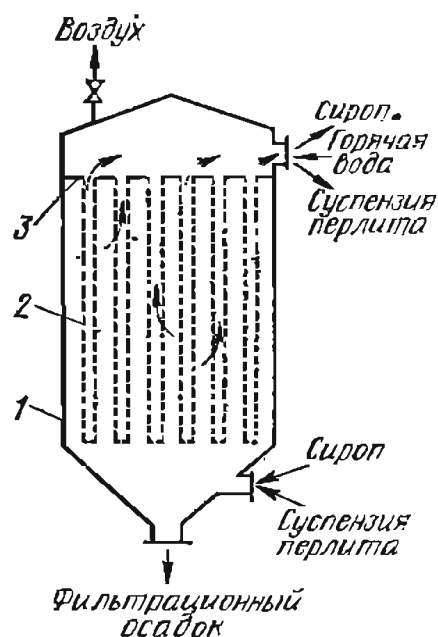


Рис. 81. Патронный фильтр

ропа примерно $8 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ с учетом двух запасных фильтров (одного на вспомогательные операции и одного на регенерацию патронов). Продолжительность намыва фильтроперлнта 15 мин, цикла активного фильтрования 9—10 ч. В процессе фильтрования в нефильтрованный сироп постоянно добавляется суспензия фильтроперлнта.

При снижении скорости фильтрования подачу сиропа отключают и остатки его вытесняют горячей водой. Осадок промывают потоком воды, отделяют от поверхности патронов сжатым воздухом и выводят через нижний патрубок в канализацию.

Начиная с намыва фильтровального порошка и в продолжении всего цикла в фильтрах стабильно поддерживается определенное избыточное давление. Если в фильтр не поступает нефильтованный сироп, то через него прокачивают фильтровальный сироп, чтобы не допустить снижения давления. При колебаниях давления слой намытого фильтровального порошка сползает вниз и оголяет основу фильтровальной перегородки, в результате чего в фильтрате появляется муть.

Периодически производится очистка патронов ультразвуком, для чего их вынимают из фильтра и укладывают в ванну с водой, а затем включают ультразвуковой генератор. Осевшие на патронах частицы легко отделяются.

ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ СИРОПОВ АДСОРБЕНТАМИ

Основные понятия об адсорбции несахаров

Сиропа обезцвечивают активным углем, ионитами, карбонатом кальция. После обработки этими адсорбентами они становятся прозрачными, малоокрашенными, из них удаляются остатки мутн и значительная часть органических и минеральных несахаров.

Между жидкой фазой (сиропом) и твердой фазой (адсорбентом) существует граница раздела, называемая поверхностью раздела фаз. На этой границе между твердой и жидкой фазами наблюдается неодинаковое притяжение пограничных молекул молекулами жидкости с одной стороны и молекулами твердой фазы с другой, называемое поверхностным натяжением. Величина неуравновешенности молекул на поверхности раздела фаз зависит от химической природы адсорбента и жидкости.

Если в жидкой фазе (сиропе) присутствуют растворенные поверхностно-активные вещества, т. е. вещества, уменьшающие поверхностное натяжение, к которым относится и большинство несахаров, то они будут концентрироваться на поверхности раздела фаз.

Процесс такого самопроизвольного поглощения растворенных веществ (адсорбтив) поверхностью твердого тела называется адсорбцией. Его можно приравнять к обычному процессу диффузии вещества в растворе. Чем больше поверхностное натяжение на поверхности раздела жидкой и твердой фаз, тем интенсивнее протекает адсорбция растворенных веществ. С увеличением удельной поверхности адсорбента, например при измельчении гранул активного угля, будет расти и поверхностное натяжение.

Одновременно с адсорбцией вещества на адсорбенте протекает и противоположный процесс — десорбция этого вещества. Когда скорости обоих процессов уравниваются, наступает равновесие, называемое равновесным состоянием системы.

В сахарорафинадном производстве действие адсорбентов оценивается по результатам изменения цвета (по обесцвечиванию) очищенных сахарных сиропов.

Адсорбционный процесс характеризуется тремя стадиями: внешней диффузией адсорбтива, внутренней диффузией адсорбтива и непосредственно его адсорбцией.

При внешней стадии диффузии красящие вещества диффундируют от основной массы растворенного вещества к наружной поверхности частиц адсорбента. При внутренней стадии диффузии красящие вещества диффундируют внутри пор адсорбента по направлению к точке, где оно будет сорбироваться. В третьей стадии осуществляется непосредственно адсорбция, при которой красящие вещества под действием сил притяжения притягиваются к поверхности пор адсорбента.

Диффузия вещества в наружном слое является регулирующей скоростью процесса адсорбции, т. е. регулирует механизм обесцвечивания.

В результате чрезвычайно развитой пористости адсорбенты обладают большой активной (адсорбционной) поверхностью, которая, например, в 1 г активного гранулированного угля составляет 150—200 м², а в 1 г порошкообразного угля — 900—1400 м². Поры обесцвечивающих активных углей делятся на макропоры (размер 100—200 нм), переходные поры (1,5—100 нм) и микропоры (1,5—1,6 нм). Удельная поверхность макропор составляет 0,5—2,0 м²/г, переходных — 200—450 м²/г, микропор — 100—400 м²/г. Из-за низкой удельной поверхности макропоры практически не участвуют в обесцвечивании сахарных растворов. Исключается из рабочего процесса и большинство микропор, так как крупные молекулы несахаров закупоривают их и изолируют адсорбционную поверхность. Основная роль в обесцвечивании сахарных растворов принадлежит переходным порам адсорбента.

Адсорбция несахаров избирательна. Многие несахара в зависимости от степени поверхностной активности по-разному адсорбируются тем или иным адсорбентом.

Разноименность электрических зарядов адсорбента и адсорбтива способствуют процессу адсорбции.

Красящие вещества сахарного производства являются солями слабых кислот и сильных оснований, в кислой среде они плохо растворимы и поэтому значительно легче поглощаются адсорбентами при низких значениях pH, чем в щелочных средах, где растворимость их выше, а адсорбция хуже. С увеличением молекулярной массы адсорбтива и повышением температуры интенсивность адсорбции уменьшается.

Из смеси растворенных веществ менее энергично адсорбируются те вещества, концентрация которых выше. Поэтому и относительное количество их на адсорбирующей поверхности оказывается ниже, чем в исходном растворе.

Концентрация адсорбированного вещества на поверхности адсорбента повышается до величины, достаточной в данных условиях процесса для достижения динамического (подвижного) равновесия, при котором из адсорбционного слоя адсорбированные молекулы или ионы вновь возвращаются в раствор, а на их место поглощается такое же количество новых.

Адсорбент, который использовался для обесцвечивания сиропа с небольшим содержанием нес сахаров, может поглотить еще некоторое их количество. Это используется на практике: одним и тем же углем обрабатывают сиропы сначала с меньшей, а затем с большей цветностью.

Обесцвечивание сиропов активным гранулированным углем

Для адсорбционной очистки сиропов применяют активный гранулированный уголь АГС-4, представляющий собой цилиндрические гранулы темно-серого цвета диаметром 2,0—3,5 мм и длиной 3—8 мм.

На практике применяют периодический способ обесцвечивания, когда уголь находится в стационарном слое, а движется только сироп, и непрерывный, основанный на принципе противотока адсорбента и сиропа.

Периодический способ обесцвечивания. Установка для обесцвечивания сиропа периодическим способом состоит из двух групп адсорберов: в первой группе обесцвечиваются клерс, сиропы I и II рафинадных кристаллизаций, во второй — сиропы III рафинадной, I и II продуктовых кристаллизаций.

Адсорбер периодического действия (рис. 82) представляет собой цилиндрический сосуд 2 диаметром 0,8—1,2 м и высотой 8—10 м. Над днищем сосуда закреплена съемная решетка 1. Заполнение адсорбера проводят в следующей последовательности: на решетку укладывают плетеный из лозы круг или густое металлическое сито, а сверху — салфетку из грубого полотна, размеры которой должны превышать сечение адсорбера. На салфетку через нижний люк насыпают 30—40 кг свежего угля, затем края салфетки заворачиваются поверх слоя угля.

Нижний люк плотно закрывают, в адсорбер наливают горячую воду слоем 2,0—2,5 м и уголь через верхний люк загружают в воду (для равномерного распределения по площади цилиндра) до горловины. После окончания загрузки крышку люка закрывают, адсорбер наполняют горячей водой (95 °С) и промывают уголь до выхода прозрачной воды. Затем воду вытесняют паром, адсорбер пропаривают и заполняют сиропом (при открытом воздушном вентиле). После закрытия воздушного вентиля начинается непрерывная подача сиропа сверху.

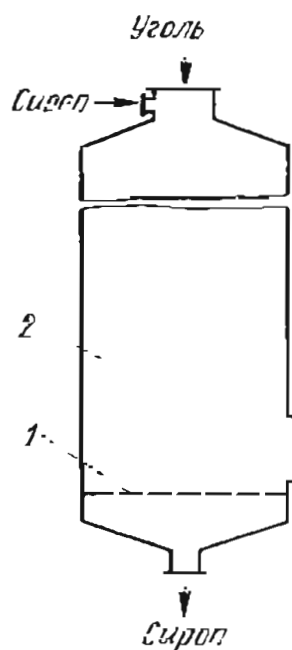


Рис. 82. Адсорбер периодического действия

Обесцвечивание рафинадных сиропов проводится при 80 °С, продуктовых сиропов — при 75 °С со скоростью пропускания через уголь 8—10 л/мин на 1 т угля. Цикл активной работы адсорберов в рафинадной группе 140—240 ч, в продуктовой группе 48—72 ч.

Обесцвеченный сироп, выходящий из адсорбера, содержит мелкие частицы угля, поэтому его пропускают еще через контрольный войлочный фильтр (вертикальный сосуд, разделенный на две камеры горизонтальной фильтрующей перегородкой из войлока толщиной около 15 мм; войлок для прочности обшит редким холстом).

Выход прозрачного сиропа из контрольного фильтра указывает на то, что процесс обесцвечивания и фильтрования стабилизировался. Первые порции прозрачного сиропа, разбавленного водой, оставшейся в слое адсорбента, направляют в сборники сиропа.

Действие адсорбента, характеризуемое эффектом обесцвечивания (Эф), оценивается по отношению цветности выходящего из адсорбента сиропа (Цв_2) к начальной цветности сиропа (Цв_1), выраженному в процентах,

$$\text{Эф} = \frac{\text{Цв}_1 - \text{Цв}_2}{\text{Цв}_1} 100. \quad (26)$$

Когда в процессе очистки эффект обесцвечивания сиропа начинает резко снижаться, подача сиропа в адсорбер прекращается, остатки его вытесняют горячей водой и промывают уголь. Густой промой с концентрацией сухих веществ более 50 % добавляют к сиропу, а более жидкий идет на приготовление клеровок. В адсорберах первой группы уголь промывают до содержания сухих веществ в промое 0,3—0,4 %, второй группы — до 0,6—0,8 %. После промывания уголь выгружают и направляют на регенерацию.

Недостатком периодического способа обесцвечивания сиропов является то, что неподвижный слой адсорбента под давлением столба жидкости уплотняется, гранулы во многих точках соприкасаются между собой. В результате этого снижаются проницаемость слоя и активная адсорбционная площадь поверхности, а следовательно, пропускная способность адсорбера и эффект обесцвечивания сиропов.

Непрерывный способ обесцвечивания. Адсорбционная способность активного угля проявляется значительно лучше и производительность установки возрастает, если обесцвечивать сироп непрерывно в противотоке угля и сиропа. В этом случае все гранулы адсорбента, находясь во взвешен-

ном состоянии, полностью омываются потоком обесцвечиваемого сиропа.

Схема адсорбционной установки приведена на рис. 83.

Сахарный сироп подается в нижнюю часть противоточного адсорбера 2 через распределительную систему и, поднимаясь вверх, контактирует с углем, поступающим в адсорбер сверху через бункер-дозатор 3. Через верхнюю расширенную часть адсорбера и фильтрующее устройство восходящий поток обесцвеченного сиропа выводится на контрольное фильтрование.

Периодически, через 8—12 ч, часть отработавшего угля отбирается снизу из адсорбера в промывочную камеру 1, а взамен из бункера-дозатора загружается регенерированный уголь. В промывочной камере уголь промывают горячей водой (96 °С) и отправляют на регенерацию. Интенсивность замены отработавшего угля свежим зависит от цветности исходного сиропа и эффекта обесцвечивания. Полностью уголь в аппарате обновляется за 10—15 суток работы.

Подготовка адсорбера к работе производится так же, как и при периодическом способе обесцвечивания сиропов. Скорость пропускания сиропа через уголь контролируется с помощью расходомера.

Термическая регенерация активного гранулированного угля. Уголь в результате термической обработки почти полностью восстанавливает свои адсорбционные свойства. Процесс регенерации состоит из последовательного промывания угля водой и прокаливания без доступа воздуха. Регенерацию угля первой и второй групп адсорберов целесообразно проводить раздельно.

Для осуществления регенерации промытый уголь направляют в пропарник, аналогичный по конструкции адсорберу периодического действия, и промывают кипящей водой, циркулирующей через слой угля по замкнутому контуру. Часть адсорбированных углем веществ при этом вымывается водой. Отработавшую воду спускают из пропарника в канализацию, а уголь отжимают от воды паром и направляют в печь на регенерацию.

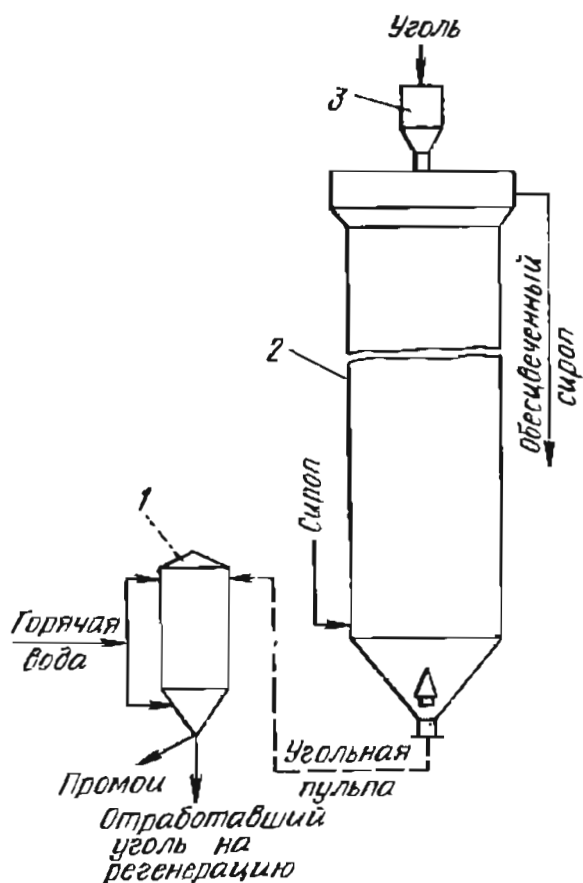


Рис. 83. Схема непрерывной противоточной адсорбционной установки

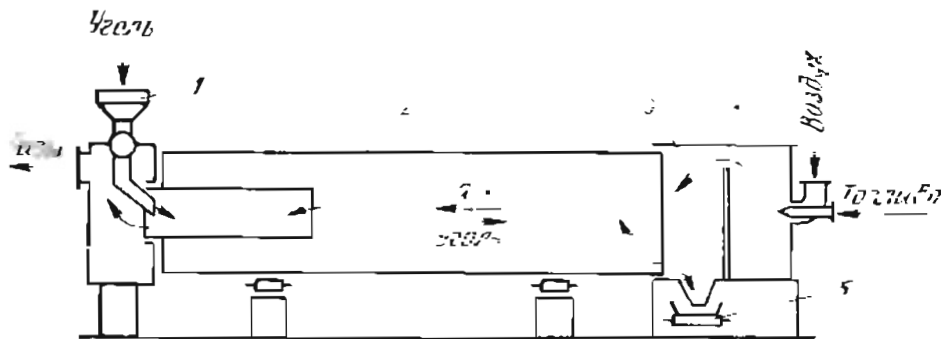


Рис. 84. Барабанная печь для сушки и прокаливания активного гранулированного угля

Для термической регенерации применяется вращающаяся барабанная печь, работающая на жидком топливе, или шахтная печь с гравитационным движением угля, в которой в качестве топлива используется природный газ.

Барабанная печь (рис. 84) представляет собой вращающийся цилиндрический барабан 2, установленный под углом $1,0-1,5^\circ$ в сторону топки. Одним концом барабан примыкает к топке, которая состоит из камеры сгорания 4 и камеры смешения 3. Другим концом барабан входит в камеру для вывода газов.

Внутренняя поверхность барабана и топки выложена огнеупорным кирпичом.

Регенерация осуществляется по принципу противотока при непосредственном контакте угля и раскаленных топочных газов ($750-850^\circ\text{C}$). Влажный уголь, поступающий из пропарника, равномерно подается дозатором 1 в барабан 2 и перемещается навстречу топочным газам, разбавленным водяным паром. При этом органические сахара, адсорбированные углем, сгорают и поверхность угля освобождается. Прокаленный уголь выгружается на вибротранспортер 5, охлаждается водой и просеивается на сите для отделения пыли. Потери угля при регенерации и отсеивании составляют не более 7% к его массе.

Обесцвечивание сиропов порошкообразным активным углем

Для адсорбционной очистки сиропов, кроме гранулированных, применяются также и порошкообразные угли марок КАД, МД, Глюконат-4, щелочной А и др. Порошкообразные угли обладают в 5—10 раз большей удельной адсорбционной поверхностью, размер частичек $0,01-0,05$ мм. После использования порошкообразные угли не регенерируются, а выводятся в отходы, так как их регенерация трудно осуществима. В сухом виде эти угли легко поднимаются потоком воздуха, что приводит

к загрязнению производственных помещений. Поэтому их применяют в виде 20 %-ной суспензии, которую готовят в отдельном помещении.

Для обесцвечивания сиропов порошкообразный уголь используется двумя способами: в смеси (активный уголь и сироп смешивают в мешалке-смесителе) и в слое (обесцвечиваемый сироп пропускают через слой активного угля).

При применении активного угля в смеси сироп обесцвечивают следующим образом. Сироп подают в мешалку-смеситель, куда через мерник добавляют заданное количество суспензии угля, и смесь в течение 10—15 мин перемешивают. Затем центробежным насосом смесь подают на фильтрование в дисковые или листовые фильтры. Первые мутные порции возвращают в сборник нефильтрованного сиропа. При затруднениях в нефильтрованный сироп добавляют суспензию фильтроперлита.

Для придания сиропу искристости и для полного удаления остатков угля, прошедших через первый фильтр, сироп вторично фильтруют на патронных или других фильтрах.

Эффект обесцвечивания сиропа порошкообразным активным углем достигает 60—70 % при расходе 2,5 кг на 1 т сахара-рафинада.

На сахарорафинадном заводе, работающем по самостоятельной схеме, отработавший уголь из фильтров направляют в отдельную мешалку, разбавляют горячей водой до 15 % сухих веществ, нагревают до 90 °С и перемешивают в течение 20—30 мин.

Затем суспензию подают в дисковый фильтр, где осадок промывается горячей водой до содержания в ней 0,4 % сахарозы.

Полученные промывки используют для приготовления сиропов, а отмытый осадок выводят в отходы.

В сахарорафинадном отделении свеклосахарного завода отработавший уголь не отмывают от сиропа, а в виде водной суспензии добавляют к нефильтрованному соку II сатурации.

При фильтровании смеси сиропа с углем нельзя ускорять процесс, повышая давление, так как это может привести к прорыву частиц через фильтрующий слой.

При применении активного угля в слое водная суспензия его подается в подготовленный к работе фильтр для создания слоя толщиной около 10 мм; через этот слой под постоянным давлением пропускают сироп со скоростью 2,0—2,5 л/(м²·мин). Свежий уголь используют для обесцвечивания сиропа на первых ступенях кристаллизации, когда эффект обесцвечивания начинает снижаться, уголь выгружают из фильтра, добавляют к нему свежий и вторично используют для обесцвечивания сиропа на последующих кристаллизациях.

Обесцвечивание сиропов ионообменными смолами

В сахарной промышленности ионообменные смолы (иониты) применяются для обесцвечивания сиропов и удаления несахаров перед кристаллизацией. Иониты представляют собой синтетический адсорбент в виде гранул размером 0,5—2 мм, обладающий способностью поглощать из раствора ионы адсорбтива и отдавать в раствор эквивалентное количество своих ионов, т. е. вызывают эквивалентный обмен ионами. Ионный обмен и адсорбция проводятся в динамических условиях путем пропускания сиропа через реактор, заполненный подготовленной к работе ионообменной смолой (обычно марки АВ-17-2П). Ионообменные смолы делятся на катиониты (обменно адсорбирующие только катионы адсорбтива) и аниониты (обменно адсорбирующие только анионы адсорбтива).

Некоторые основные сведения. Пригодность ионитов для обесцвечивания сахарных растворов определяется их обесцвечивающей способностью, обменной емкостью, степенью набухания, нерастворимостью в воде и органических растворителях, простотой регенерации, термической и механической прочностью и др.

Обесцвечивающая способность смолы характеризуется эффектом поглощения красящих веществ из раствора, выраженным в процентах, величина которого увеличивается с увеличением степени набухания смолы, когда проводящие каналы расширяются и становятся доступными для проникновения крупных ионов. Однако возникающие при набухании сильные внутренние напряжения могут разрушить гранулы смолы. Поэтому степень набухания анионита АВ-17-2П не должна превышать 8 мл/г. Иониты с набухаемостью ниже 2,5 мл/г непригодны для обесцвечивания сахарных растворов.

Обменная емкость ионитов (способность поглощать определенное количество ионов) выражается числом эквивалентов поглощаемого вещества на единицу массы (в г, кг) или объема (в л, м³) ионита.

Для синтетических ионитов она составляет 4—8 мг·эquiv/г.

При эксплуатации смолы под действием температуры, механического перемешивания, изменения степени набухаемости в процессе регенерации и других факторов часть гранул растрескивается, истирается, теряет реакционные центры, в результате чего происходит снижение обменной емкости и эффекта обесцвечивания. Например, через 150—200 рабочих циклов эффект обесцвечивания анионитом АВ-17-2П снижается от 85 до 60 %.

Применяемая для обесцвечивания сиропов ионообменная смола АВ-17-2П представляет собой сильноосновной пористый обесцвечивающий анионит, полученный на основе сополимеров стирола. Она имеет следующую характеристику: плотность 1,12 г/см³; размер гранул 0,4—1,6 мм; полная обменная емкость (по 0,1 н. HCl) 3,5 мг·эquiv/г; удельный объем набухшего ионита в OH-форме 5—8 мл/г; обесцвечивающая способность в статических условиях, не менее 80 %, насыпная масса 0,8—0,9 т/м³.

Обесцвечивание сиропов. Эту операцию проводят циклически в ионообменных установках, состоящих из реакторов и вспомогательного оборудования.

Ионообменный реактор (рис. 85) представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд диаметром около 2 м и высотой 3,6 м. Внутри размещены нижнее и верхнее распределительные (дренажные) устройства, выполненные в виде системы

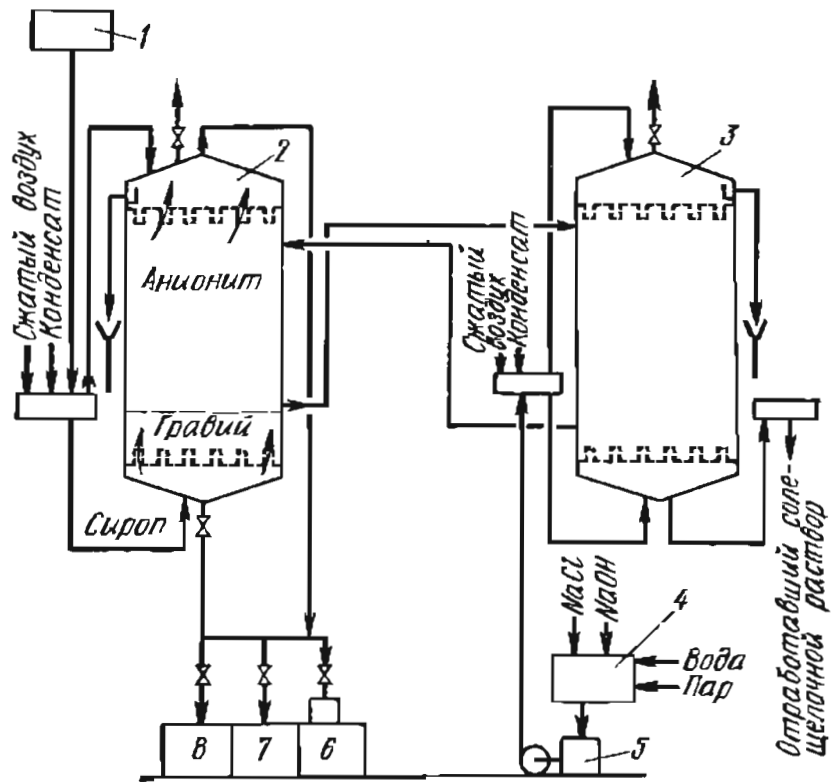


Рис. 85. Ионообменный реактор и схема обесцвечивания сиропа анионитом

труб с перфорированными колпачками. Щелевидные отверстия в колпачках имеют ширину 0,3—0,4 мм.

Нижнее распределительное устройство покрыто слоем гравия, между гравием и верхним распределительным устройством находится анионит.

Реактор снабжен смотровыми окнами, манометром, термометром, плотномером, расходомером, рН-метром, воздушным вентилем.

Оборудование ионообменной установки разделено на две группы, содержащие четное число реакторов. В первой группе обесцвечиваются сиропы I и II рафинадных кристаллизаций, во второй — сиропы III рафинадной и I продуктовой кристаллизаций.

Обесцвечивание сиропов проводят следующим образом. Реактор 2 заполняют анионитом, подготовленным к работе в регенераторе 3, и в него из напорного сборника 1 начинают подавать сироп. Поскольку плотность анионита меньше плотности 65 %-ного сиропа, то анионит всплывает к верхнему распределительному устройству и остается там во время обесцвечивания.

Сначала из реактора вытесняется вода, затем выходят первые порции разбавленного обесцвеченного сиропа, которые отводят в сборник жидкого промоя 8, обесцвеченный сироп с содержанием сухих веществ выше 50 % и густой сироп подают в сборник 6. Удельная нагрузка сиропа на реактор 1,5—2,0 м³/ч на 1 м³ смолы. Продолжительность рабочего цикла реактора при обесцвечивании сиропов рафинадных кристалли-

заций в зависимости от начальной цветности колеблется от 12 до 18 сут. Когда эффект обесцвечивания сиропов начинает снижаться и становится ниже установленного (для сиропов I рафинада 50 %, II рафинада 40 %, III рафинада 30 %) или в трубопроводе перед реактором повышается давление, то подачу сиропа в данный реактор прекращают и в работу включают запасной реактор с регенерированной смолой. Остатки сиропа из отработавшего реактора спускают в сборник густого промоя 7, при этом ионообменная смола опускается на слой гравия. Реактор заполняют горячей водой на 0,25 м выше уровня смолы и смесь перемешивают в течение 20 мин сжатым воздухом. Образовавшийся разбавленный сироп также спускают в сборник 7. Затем для промывания смолы и гравия через реактор сверху вниз прокачивают горячую воду. Промой отводят в сборник жидкого промоя 8. Удельная нагрузка горячей воды при промывании составляет 3—4 м³/ч на 1 м³ смолы, а расход ее 5—6 м³ на 1 м³ смолы.

Промытую смолу из реактора 2 транспортируют в регенератор 3 сжатым воздухом и потоком воды, нагнетаемым в реактор снизу и сверху одновременно.

В регенераторе с антикоррозийным покрытием или изготовленном из коррозиестойкой стали смолу отмывают водой от взвешенных примесей, взрыхляют сжатым воздухом и регенерируют смесью 10 %-ного раствора NaCl и 0,2 %-ного раствора NaOH температурой 75—80 °С. Регенерационный раствор подают в регенератор (сверху вниз) из сборника 4 через гравиевый фильтр 5. Расход регенерационной жидкости на 1 м³ смолы 3,5—4,0 м³.

После регенерации для удаления остатков сощелочного раствора, взвешенных примесей и разрушенных гранул смолы через регенератор снизу вверх прокачивают умягченную воду температурой 70—75 °С с удельной нагрузкой 3—4 м³/ч на 1 м³ смолы. Отмывка смолы заканчивается, когда на выходе рН воды достигает 8.

Анионит можно регенерировать также и настаиванием, набирая регенерационный раствор в регенератор снизу и перемешивая суспензию 20—25 мин воздухом. Отработавший раствор сливают и набирают новый. Так повторяют 3—5 раз.

При длительной эксплуатации анионита в результате необратимой адсорбции несахаров снижается его рабочая емкость. Для ее восстановления проводят углубленную регенерацию анионита 4 %-ным раствором HCl с удельной нагрузкой 1 м³/ч на 1 м³ смолы.

Товарный анионит, еще не бывший в употреблении, отмывают от органических примесей и одновременно регенерируют сощелочным раствором. Регенерационный раствор вводят в регенератор снизу до верхнего уровня смолы и 5—6 ч перемешивают сжатым воздухом при открытом верхнем воздушном

вентиле. Обработку повторяют 5—8 раз. Затем отмывают от регенерационного раствора умягченной водой до постоянной концентрации органических примесей в ней на выходе. Расход воды на отмывку 1 т смолы составляет около 150 м³.

Расход товарного анионита и вспомогательных материалов на обесцвечивание сиропов (в т на 100 т сахара-рафинада) составляет: анионита АВ-17-2П 0,02, едкого натра (100 %-ного) 0,044, поваренной соли 0,47, соляной кислоты 0,016, умягченной воды (конденсата) с содержанием солей не более 0,1 мг·экв./л 22.

Следует отметить, что в ионообменной установке для промывки анионита применяется только умягченная вода. Для получения достаточного количества конденсата на заводах используют поверхностные барометрические конденсаторы вместо конденсаторов смешения. В этом случае конденсат не смешивается с охлаждающей водой и получается чистым.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ САХАРА-РАФИНАДА

Уваривание утфелей

Обесцвеченные фильтрованные сиропы подают в соответствующие сборники перед вакуум-аппаратами. Для рафинадных сиропов сборники изготавливают из коррозионностойкой стали, для продуктовых сиропов — из обычной стали. Вместимость сборников для каждого вида сиропа рассчитана на одну варку, наружная поверхность их теплоизолирована. По форме наиболее практичны горизонтальные цилиндрические сборники.

Во избежание попадания осадка из сборника в вакуум-аппарат штуцер сиропного трубопровода устанавливают выше дна сборника на 200 мм.

На сахарорафинадном заводе утфели уваривают в периодически действующих вакуум-аппаратах такой же конструкции, как и на свеклосахарном заводе, но меньшей вместимости — 15 т утфеля (ВАР-15 и Ж4-ПВА). Появляются в эксплуатации и новые вакуум-аппараты вместимостью по 30 т.

При уваривании утфелей вакуум-конденсационная установка должна обеспечивать остаточное давление в вакуум-аппаратах около 0,014 МПа.

Технология получения рафинадных и продуктовых утфелей принципиально не отличается от принятой в свеклосахарном производстве. Но так как доброкачественность их более высокая, то увариваются они значительно быстрее. Например, рафинадные утфели увариваются в течение 70—85 мин, продуктовые утфели — 2—3 ч.

Особенностью приготовления утфелей рафинадных кристаллизаций является применение минерального красителя ультра-

марина (алюмосиликата натрия, содержащего серу) и гидросульфита натрия.

При выработке рафинированного сахара-песка суспензия ультрамарина (в количестве не более 75 г на 10 т утфеля) вводится в вакуум-аппарат в начале сгущения сиропа для придания товарному продукту, светло-голубого оттенка.

В процессе производства кускового сахара-рафинада суспензию ультрамарина добавляют в пробелочный клерс, что дает бóльший эффект, чем при введении в вакуум-аппарат.

Гидросульфит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) — порошок белого цвета, хорошо растворяется в воде. При растворении выделяются водород и сернистый ангидрид, которые, являясь восстановителями, активно обесцвечивают красящие вещества, и таким образом снижают цветность сиропов. В отличие от адсорбентов, удаляющих красящие вещества и другие несахара, гидросульфит натрия лишь изменяет химическую структуру красящих веществ, превращая их в бесцветные соединения, которые остаются в сиропе. Порошок гидросульфита натрия вводится в вакуум-аппарат (в количестве около 100 г на 10 т утфеля) в два приема: в пересыщенный сироп перед заводкой кристаллов и в конце уваривания утфеля. Обесцвечивание гидросульфитом натрия недостаточно стойко. Бесцветные соединения, окисляясь, вновь восстанавливают свой цвет.

Утфели рафинадных кристаллизаций уваривают до 91,5—92,0 % сухих веществ и содержания кристаллов 58—60 % при температуре не выше 78 °С. Утфели продуктовых кристаллизаций уваривают до следующего содержания сухих веществ (в %): I—91,0—91,5, II—90,5—91,0, III—90,0—91,0, IV—89,0—90,0.

Готовый утфель спускают из вакуум-аппарата в утфелемешалки-кристаллизаторы для дополнительной кристаллизации охлаждением. Во избежание сильного повышения вязкости и истирания кристаллов утфели рафинадных кристаллизаций находятся в этих аппаратах не более 1,5 ч. Изготавливают их без поверхности охлаждения с плотно закрытыми крышками. Подвижность утфеля при охлаждении в утфелемешалках поддерживают добавлением обесцвеченного сиропа с последующей ступени кристаллизации. Для приготовления и подачи такого сиропа над утфелемешалками-кристаллизаторами устанавливают сиропные сборники. Чтобы этот сироп быстрее смешивался с утфелем, его подают через распределительную трубку с 5—6 патрубками.

Для утфеля каждой ступени кристаллизации устанавливают необходимое число утфелемешалок-кристаллизаторов. Вместимость одного аппарата должна быть на 10 % больше объема варки. Бóльшая вместимость утфелемешалок и выход перемешивающих лопастей выше уровня утфеля недопустимы, так как это приводит к засахариванию стенок аппарата и насы-

шению утфеля пузырьками воздуха. Наличие воздуха в утфеле способствует увеличению его вязкости и ухудшению качества сахара-рафинада.

Цикл работы утфелемешалок-кристаллизаторов для утфелей продуктовых кристаллизаций составляет: I—6—8 ч, II—12—16 ч, III—36—48 ч и IV—72 ч.

Из утфелемешалок-кристаллизаторов утфель подают в утфелераспределитель, установленный над центрифугами. Для утфелей рафинадных кристаллизаций можно применять один общий утфелераспределитель с перегородками, представляющий собой U-образный горизонтальный желоб с перемешивающим устройством.

Для утфелей продуктовых кристаллизаций устанавливают распределители отдельно для каждого вида, что исключает смешивание утфелей и перетираание их остатков. В нижней части утфелераспределителей против каждой центрифуги делают спуск с шнбером.

Центрифугирование и пробеливание утфелей

Утфели центрифугируют в центрифугах как циклического, так и непрерывного действия с отбором двух оттеков. При центрифугирования утфелей первой и последней степеней кристаллизаций отбирают по одному общему оттеку.

Утфели рафинадных кристаллизаций и I продуктовой кристаллизации центрифугируют при температуре не ниже 70 °С в горизонтальных автоматических центрифугах непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой сахара. Устройство и схема действия центрифуги с пульсирующей выгрузкой сахара приведены на рис. 86.

Ротор центрифуги состоит из четырех концентрических ситчатых барабанов I, II, III, IV с зазором между ними 0,3—0,5 мм, выдвинутых один относительно другого в продольном направлении и образующих ступени. Диаметр барабанов (ступеней) соответственно 650, 720, 760 и 860 мм. Ситчатая поверхность ступеней образована профилированными пластинками, установленными с зазором 0,35—0,43 мм.

Центрифуга работает следующим образом. Утфель по питающей трубе и загрузочной воронке, состоящей из двух стенок 6 и 7, непрерывно поступает в ротор 4, укрепленный на полом валу 8 и вращающийся с частотой 850 об/мин. Воронка предназначена для равномерного распределения утфеля по всей окружности I ступени ротора. Кроме того что все ступени ротора, толкатель 3 и воронка вращаются синхронно с постоянной скоростью, толкатель 3 и две ступени ротора (I и III), связанные с ним жестко, совершают при помощи поршня 1 и штока 2 еще и возвратно-поступательное движение в осевом направлении.

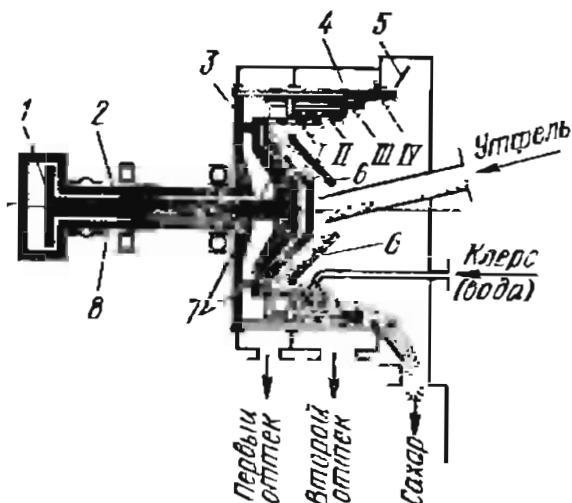


Рис. 86. Устройство и схема действия центрифуги с пульсирующей выгрузкой сахара

нижней части неподвижного конуса 7 и сдвигается на II ступень в освободившееся пространство, которое было занято I ступенью ротора. Аналогично сахар переходит с III ступени на IV, так как III ступень жестко связана с толкателем. При движении толкателя вправо утфель поступает на I ступень, а сахар сдвигается со II ступени на III, а с IV с помощью вращающегося диска 5 отводится в приемник. Таким образом, за один рабочий цикл поршня гидропривода из центрифуги выводится определенное количество сахара.

Пробеливание сахара осуществляется клерсом через две форсунки, которые можно передвигать в центрифуге по ходу утфеля. Из первой форсунки клерс направляют на слой сахара в передней части II ступени ротора, а из второй — на слой сахара, выходящий из этой ступени.

Число пульсаций поршня 30—50 в минуту. От этого числа зависит продолжительность центрифугирования и влажность рафинадой каши.

При использовании пульсирующих центрифуг содержание сухих веществ в утфеле поддерживается в пределах 90,0—90,5%, при меньшем их содержании в центрифуге возникает вибрация.

Клерс для пробеливания сахара-рафинада в центрифугах готовят из лучшего по качеству сахара-песка и обесцвечивают свежим адсорбентом или в качестве клерса используют первые порции сиропа I рафинадной кристаллизации из адсорбера.

В обесцвеченный клерс добавляют суспензию ультрамарина, пропущенную через 3—4 слоя марли или отстоявшуюся в течение 1—2 ч. Интенсивность цвета клерса сравнивается с эталоном, приготовленным в заводской лаборатории. Расход клерса, содержащего 67% сухих веществ, при центрифугировании ут-

Под действием центробежной силы из утфеля, поступающего на I ступень ротора, отделяется межкристальный раствор (первый оттек), который выводится в сборник, а на сите этой ступени остается слой сахара. Осевым движением толкателя, а также вследствие подпора свежего утфеля сахар вытесняется на II ступень, а затем последовательно таким же способом — на III и IV ступени по направлению к выходу из ротора. Происходит это так: при движении толкателя влево масса сахара упирается в кольцо

фелей рафинадных кристаллизаций составляет (в % к массе утфеля): I — 10, II — 14, III — 18. Средний выход рафинадной каши (влажность 2,1—2,8 %) 52—55 % к массе утфеля. Температура клерса должна соответствовать температуре центрифугируемого утфеля.

Пробеливание сахара клерсом вместо воды позволяет увеличить выход кристаллического сахара на 8—10 % к массе утфеля.

Для центрифугирования утфелей рафинадных кристаллизаций при выработке рафинированного сахара-песка и для всех утфелей продуктовых кристаллизаций применяют циклические вертикальные подвесные быстроходные центрифуги типа ФПН-1251Л (см. рис. 63).

Утфель последней продуктовой кристаллизации, сахар которого не пробеливается, можно центрифугировать и в инерционных центрифугах непрерывного действия (см. рис. 68).

Для обеспечения хорошей работы центрифуги необходимо следить за тем, чтобы утфели рафинадных кристаллизаций в центрифугах и в утфелемешалках-кристаллизаторах не охлаждались ниже 70 °С. Они должны быть без комков, сохранять подвижность и равномерно распределяться по стенкам ротора под действием центробежной силы.

Обесцвечивание рафинадной патоки

Оттек последней продуктовой кристаллизации — рафинадная патока — является отходом сахарорафинадного производства, но ее используют в хлебопекарной промышленности при выпечке некоторых сортов ржаного хлеба, так как она придает ему сладковатый вкус и тормозит черствение.

Перед выводом с завода рафинадную патоку подвергают очистке. Для этого ее разбавляют водой до 40—50 % сухих веществ, фильтруют, обесцвечивают адсорбентом, снова фильтруют и сгущают в вакуум-аппарате до 78—82 % сухих веществ. После этого патоку взвешивают и направляют на хранение. Выход рафинадной патоки составляет 1,2—1,5 % к массе сахара-рафинада и зависит от качества перерабатываемого сырья. На 100 кг сухих веществ в патоке содержится 70—75 кг сахарозы, 17—20 кг органических несахаров (половину которых составляют глюкоза и фруктоза) и 8—10 кг минеральных несахаров (преимущественно соли калия, кальция, сульфаты).

Вязкость рафинадной патоки почти всегда выше вязкости свеклосахарной мелассы. Поэтому в «нормальной» патоке вязкостью 4,4 Па·с содержание сухих веществ ниже на 1,5—2,0 %, чем в «нормальной» свеклосахарной мелассе с той же вязкостью.

При обесцвечивании сиропов анионитами значения рН получаемых промежуточных продуктов бывают немного выше, чем

при обесцвечивании активным углем, поэтому в производстве уменьшается распад сахарозы, а следовательно, снижаются содержание несхаров в патоке и ее выход. Нормативное содержание сухих веществ в патоке на заводе, где для обесцвечивания применяют аннониты, на 1,0—1,4 % выше, чем для патоки заводов, использующих активные угли.

Допустимая масса потерь сахарозы при переработке стандартного сахара-песка (доброкачественность 99,75 %) на сахар-рафинад принимается 0,5 % к массе сахара-песка.

Если доброкачественность перерабатываемого сахара-песка ниже 99,75 %, а средняя доброкачественность рафинадной патоки 73 %, то допустимое содержание сахарозы в патоке повышается на 0,27 % (к массе сахара-песка) на каждую 0,1 % снижения его доброкачественности, т. е. $(0,1 \cdot 73) / (100 - 73) = 0,27$.

Пример. На заводе перерабатывается 60 % стандартного сахара-песка и 40 % сахара-песка доброкачественностью 99,4 %. Определить допустимые потери сахарозы в рафинадной патоке.

$$0,5 + \frac{40}{100} \frac{(98,75 - 99,40) 0,27}{0,1} = 0,5 + 0,38 = 0,88\%$$

Прессование рафинадной иашии

Для получения высококачественного прессованного сахара-рафинада кашку утфелей рафинадных кристаллизаций перед прессованием тщательно перемешивают при максимальном сохранении температуры. В момент прессования сахара-рафинада кускового прессованного быстрорастворного содержание влаги в кашке должно быть 1,9—2,1 %, кускового прессованного колотого — 2,2—2,3 %, кускового прессованного со свойствами литого — 2,8—2,9 %.

Рафинадная кашка должна содержать кристаллы определенной величины, так как крупные кристаллы образуют неровную поверхность брикетов, а мелкие, обладая большой площадью поверхности, удерживают лишнюю влагу. На основании опыта ряда заводов рекомендуется следующая кристаллоструктура рафинадной кашки: кристаллов размером 1,0—1,5 мм и более 30 %; размером 0,5—1 мм 60 %; размером до 0,5 мм не более 10 %.

Влажный сахар рафинадных кристаллизаций температурой 60—65 °С из центрифуг спускается в ленточный шнек, расположенный непосредственно под центрифугами, где перемешивается, образуя рафинадную кашку, и подается к ковшовому элеватору. Во избежание потерь тепла корпуса шнека и элеватора покрыты теплоизоляционным материалом. Изготавливают их из коррозионностойкой стали.

Рафинадная кашка, поднятая элеватором на верхние этажи завода, поступает во вращающееся барабанное сито, установ-

ленное наклонно в сторону выхода комков сахара, просеивается через сито на стальную ленту главного транспортера и подается в прессы. От попадания посторонних предметов и для сохранения тепла верхняя ветвь транспортера по всей длине укрыта полуовальными колпаками из органического стекла.

Подача кашки со стальной ленты в бункер пресса осуществляется устройством, снабженным сбрасывающим ножом, на конце которого укреплена полоса из белой резины, непосредственно соприкасающаяся со стальной лентой и кашкой. Резиновая полоса всей кромкой прилегает к плоскости стальной ленты и обеспечивает сбрасывание в бункер пресса всей отделяемой кашки.

Главным ленточным транспортером обслуживается несколько автоматических линий производства сахара-рафинада, установленных вдоль него, поэтому на некотором расстоянии от ковшового элеватора кашка на транспортере уже значительно охлаждена и подсушена. Чтобы восстановить ее качество, у автоматических линий, начиная с 5-й или 6-й от элеватора, устанавливаются увлажнитель-подогреватель, представляющий собой ленточный шнек с герметически закрытым кожухом, внутри которого в нескольких точках подведен пар низкого давления, предварительно пропущенный через каплеуловитель.

При производстве прессованного сахара-рафинада применяются два типа прессов с односторонним прессованием: дисковый (карусельный) циклического действия для прессования брикетов в форме брусков квадратного сечения и роторный (барабанный) непрерывного действия для прессования брикетов в форме параллелепипеда и кубиков.

Схема цикла прессования на дисковом прессе приведена на рис. 87.

В горизонтальном диске пресса размещено четыре пресс-формы, каждая состоит из матрицы и пуансона. Рафинадная кашка насыпается в полость, образуемую перегородками 1 матрицы и плоскостью пуансона 2, опущенного на глубину h_0 (положение диска I). Кристаллы сахара подаются в матрицу в виде рыхлой массы, что позволяет в процессе прессования ее уплотнять. После заполнения матрицы диск пресса поворачивается по стрелке, указанной на рис. 87, на 90° , матрица входит под прижимную плиту, а пуансон в этот момент поднимает

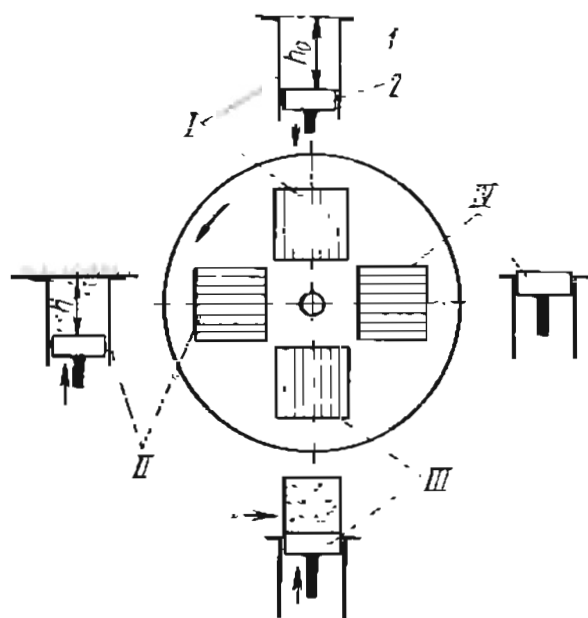


Рис. 87. Схема цикла прессования на дисковом прессе

ется вверх на высоту $h_0 - h$ и спрессовывает кашку (положение диска *II*). При следующем повороте диска на 90° матрица выходит из-под прижимной плиты, пуансон, двигаясь вверх, поднимает бруски сахара-рафинада выше уровня диска на 0,5—0,6 мм и выталкивает их из матрицы (положение диска *III*). После этого бруски (их бывает 8—14 шт. в одной пресс-форме) сдвигаются с диска на сушильную планку.

Диск пресса, освободившись от брусков, поворачивается еще на 90° (положение диска *IV*), заканчивается полный оборот, пресс-форма и плоскость диска очищаются от прилипших кристаллов и одновременно смазываются смесью, состоящей из двух частей стеарина и одной части комбижира (маргарина). После возвращения диска пресса в положение *I* начинается новый цикл прессования.

Основной частью роторного пресса является барабан, непрерывно вращающийся вокруг горизонтальной осн. Пуансоны размещены радиально и во время прессования то приближаются к оси барабана, то отходят от нее. Особенностью пресса является возможность регулировать заполненность объема матриц кашкой, а следовательно, изменять и массу кусочков сахара-рафинада.

На дисковом прессе получают бруски сахара-рафинада размером $23 \times 23 \times 184$ мм.

В процессе колки брусков на кусочки и упаковки часть кристаллов и осколков отделяется и из четырех расколотых брусков сахара-рафинада формируется одна пачка массой 0,5 кг, а из восьми — пачка массой 1 кг. Такой сахар-рафинад плотностью $1,29 \text{ г/см}^3$ называется кусковым прессованным колотым.

На роторных прессах вырабатывают брикеты сахара-рафинада размером $11,1 \times 17,4 \times 27,33$ мм. Плотность высушенного бrikета $1,05 - 1,09 \text{ г/см}^3$. В одноклограммовую пачку таких брикетов укладывается по длине 15 шт., ширине 4, высоте 3 шт., а всего 180 шт. Этот сахар-рафинад менее крепкий, чем сахар-рафинад плотностью $1,29 \text{ г/см}^3$, и поэтому быстрее растворяется в горячей воде, что и определило его название — быстрорастворимый.

Сушка и охлаждение сахара-рафинада

Бруски сахара-рафинада обладают капиллярно-пористой структурой, что способствует их высушиванию. Сушка протекает в два периода: первый — более короткий, в течение которого из брусков интенсивно испаряется влага, второй — более продолжительный, когда остатки влаги испаряются медленно. По мере испарения окружающий воздух насыщается влагой. Чтобы не снижать скорость сушки, требуется непрерывно отводить влажный воздух и добавлять более сухой, нагретый. При удалении воды из сахара-рафинада в процессе сушки происходит пересыщение сахарозы в пленке клерса на поверхности

кристаллов, что способствует дополнительному выкристаллизовыванию сахарозы и связыванию отдельных кристаллов сахара в конгломераты.

Сахар-рафинад влажностью до 2,3% легко высушивается в туннельных противоточных конвективных сушилках при атмосферном давлении (рис. 88).

Такая сушилка представляет собой горизонтальный туннель, перед которым между рельсами в полу смонтирован механизм 1 для продвижения вагончиков с влажными брусками. Сырые бруски укладывают на сушильные планки, изготовленные из алюминия, и загружают в вагончик 3 одна над другой с зазором для прохождения воздуха. С помощью механизма 1 вагончик вкатывается по рельсам в туннель, при этом весь ряд вагончиков, передвигаясь на расстояние, равное длине первого вагончика, выталкивает на противоположном конце из туннеля крайний вагончик с высушенными и охлажденными брусками. В момент передвижения вагончиков двери туннеля с противовесом 2 должны быть открыты.

Над туннелем установлено четыре группы (I, II, III, IV) осевых вентиляторов 4 с подогревателями воздуха, а в конце туннеля стоят вентиляторы 5 без подогревателей, предназначенные для охлаждения брикетов.

При высушивании сахара часть отработавшего воздуха забирается из туннеля вентиляторами 4, смешивается со свежим воздухом, нагревается в подогревателях 6 и снова возвращается в туннель (см. рис. 88, разрез А—А).

Перед подогревателями установлены съемные матерчатые фильтры для улавливания сахарной пыли. Температура воздуха после подогревателей каждой группы вентиляторов должна быть определенной (см. рис. 88). Для достижения более равномерного обдувания и нагревания брусков направление движения горячего воздуха по группам вентиляторов в одном туннеле периодически меняется.

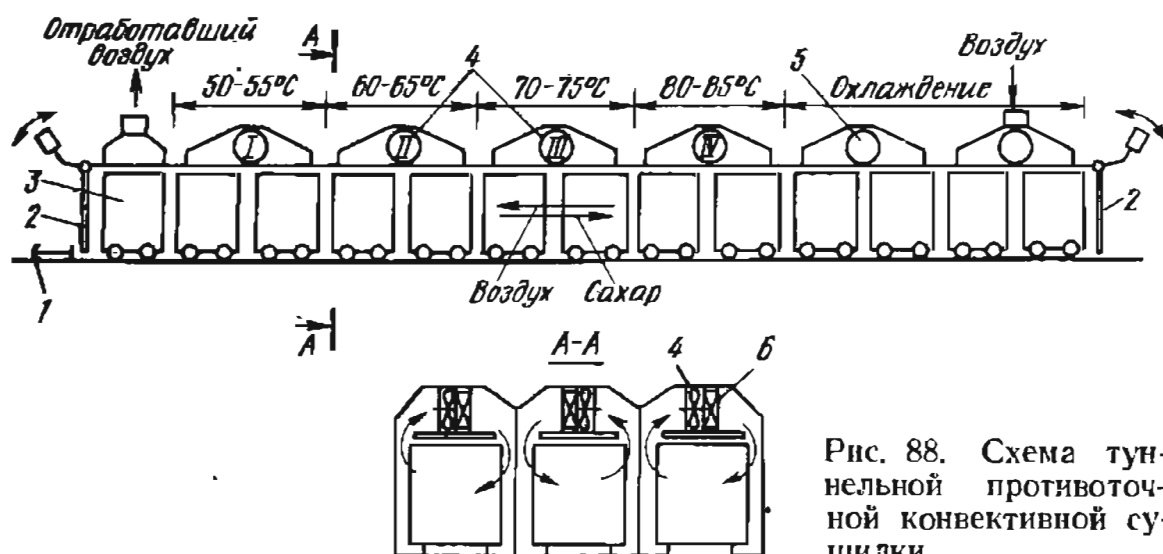


Рис. 88. Схема туннельной противоточной конвективной сушилки

Вагончики с высушенными горячими брусками входят в зону охлаждения, и температура их понижается до температуры окружающего воздуха. Свежий воздух подается в туннель в конце его, а отработавший выводится в начале туннеля. Цикл сушки составляет 8—10 ч.

Высушенные бруски сахара-рафинада подаются к колочно-упаковочному агрегату.

Сахар-рафинад влажностью более 2,3 % высушивают в вакуум-сушилках, где нагревание брусков горячим воздухом при атмосферном давлении трижды чередуется с откачиванием влажного отработавшего воздуха до максимально возможного разрежения в следующем режиме:

Циклы	I	II	III
Длительность нагревания брусков, ч	0,5	1,0	2,5
Длительность откачки воздуха, ч	0,25	0,50	0,75
Температура воздуха в камере после нагревания, °С	60	80	85

Поскольку в брусках с высокой влажностью больше клерса, а следовательно, и растворенной сахарозы, то при кристаллизации она прочно соединяет кристаллы в конгломераты, и сахар-рафинад получается более крепким. Общий цикл высушивания брусков под вакуумом 5—6 ч. Недостаток работы вакуум-сушилок (в отличие от туннельных) — периодичность работы.

ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕССОВАННОГО САХАРА-РАФИНАДА НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛИНИЯХ

Развитие прессового способа производства сахара-рафинада способствовало созданию высокопроизводительных автоматических линий, в которых объединены процессы прессования, сушки, фасовки и упаковки.

Одна поточная линия для выработки сахара-рафинада в пачках состоит из двух самостоятельных агрегатов: прессосушильного (ПСА) и колочно-упаковочного (ПЛР). Компоновка этих агрегатов представлена на рис. 89.

Линия состоит из дискового пресса 1, сушильно-охладительной установки 3, транспортного устройства 6, вентилятора 5 для сушки сахара, вентилятора 7 для охлаждения сахара и подогревателя воздуха 4.

Сушильно-охладительная установка длиной 4,9 м, шириной 2,7 м и высотой 3,2 м имеет два яруса. В ней непрерывно перемещаются 43 подвесных вагончика этажерочного типа. Сначала вагончики проходят через верхний ярус, затем опускаются в нижний и на противоположном конце снова поднимаются на верхний ярус.

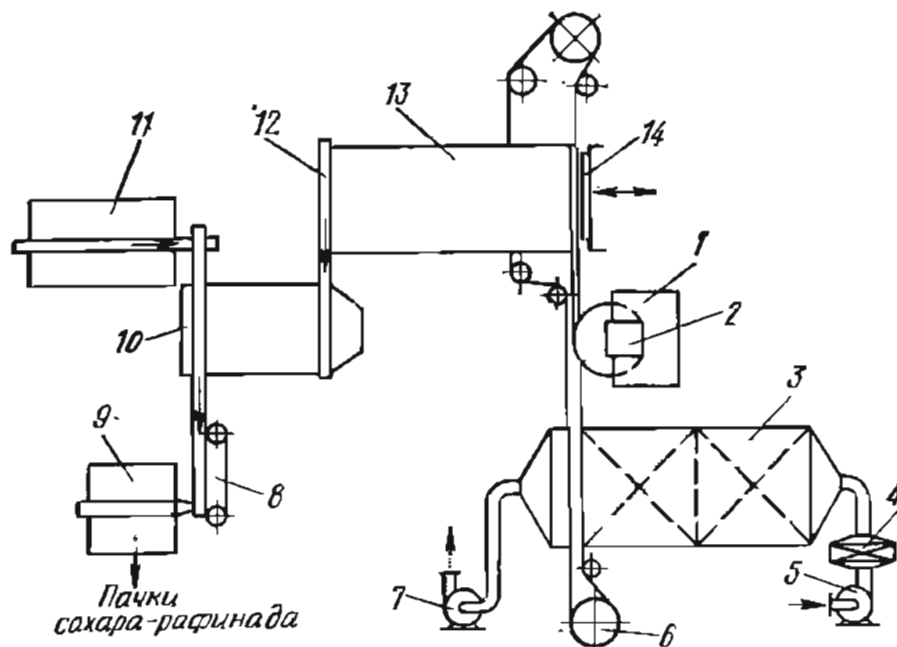


Рис. 89. Схема автоматизированной линии производства сахара-рафинада с использованием агрегатов ПСА и ПЛР

Рафинадная кашка из бункера 2 поступает в пресс-формы прессы. Отпрессованные бруски с диска прессы сталкиваются на верхнюю ленту пульсирующего транспортера и, достигнув сушильно-охлаждающей установки, укладываются на полки вагончиков.

Вагончики представляют собой рамы с полками (44 полки в каждой раме), расположенными одна на другой с зазором для прохождения воздуха. На одной полке размещается 56 брусков.

Сушка сахара-рафинада осуществляется во втором ярусе сушилки противотоком воздуха, нагретого до 85°C , а охлаждение — в нижнем ярусе холодным воздухом. Цикл сушки 420 мин.

Высушенные бруски сахара-рафинада выталкиваются из подвесных вагончиков на нижнюю ветвь стальной ленты транспортера и с помощью автомата 14 поступают в накопитель 13. Оттуда ленточным транспортером 12 подаются к колочному станку 10, раскалываются на кусочки и затем упаковочными машинами укладываются в картонные коробки, изготовленные автоматом 11. Наполненные коробки по ленточному транспортеру 8 доставляются к автомату 9 для оклейки крышкой. Готовые пачки комплектуются в сборные пакеты.

Производственная мощность автоматической линии при упаковке в пачки массой 1 кг составляет 30 т/сут. Крепость сахара-рафинада 2,9—3,4 МПа.

В настоящее время отечественные сахарорафинадные заводы оснащаются более совершенными прессосушильными агрегатами К5-ПРА в комплекте с колочно-упаковочными агрегатами ПЛР. Производственная мощность их 30 т/сут сахара-рафинада.

На некоторых заводах установлены автоматизированные линии фирмы «Шамбон» (Франция) для прессования, сушки и

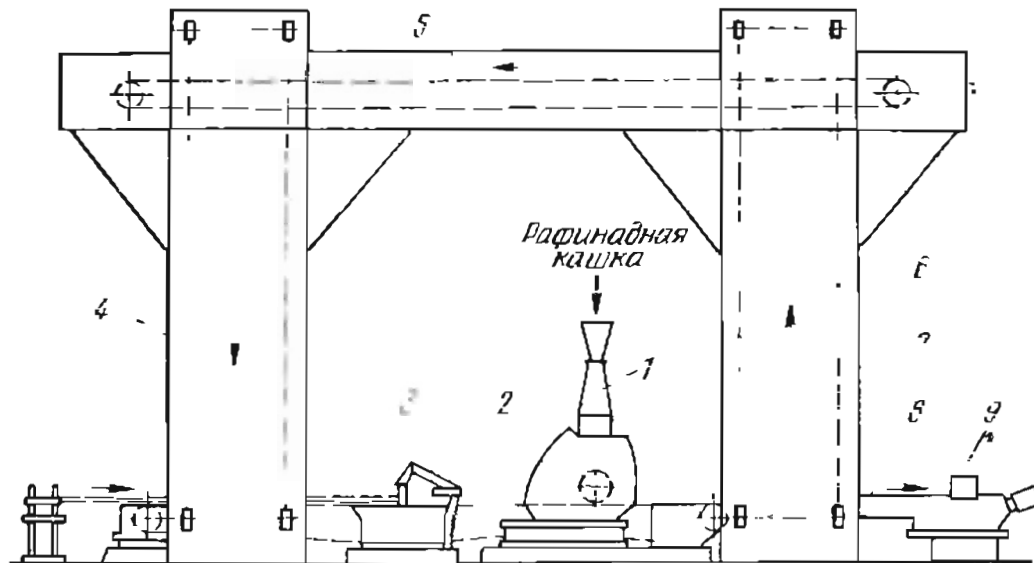


Рис. 90. Линия производства сахара-рафинада фирмы «Шамбон»

упаковки сахара-рафинада производительностью 50 т/сут, оснащенные роторными прессами.

Аппаратурно-технологическая схема линии фирмы «Шамбон» приведена на рис. 90.

Рафинадная кашка влажностью 1,6—1,8 % подается через бункер 1 в наполнительную коробку роторного пресса 2, где поддерживается постоянный уровень кашки, что обеспечивает равномерную подачу ее в пресс-формы. По мере вращения ротора матрицы заполняются кашкой, подводятся под опорную подвижную плиту, и кашка прессуется в брикеты. Брикеты укладываются в кассеты, поднимаются элеватором 6 по восходящей сушильной шахте 7 на высоту 6,1 м, проходят по горизонтальному туннелю 5 и спускаются по нисходящей охлаждающей шахте 4.

На одной кассете укладывается 6 кг сахара-рафинада, зазор между кассетами для прохода воздуха 54,6 мм.

Брикеты высушиваются горячим воздухом при температуре 72—75 °С в восходящей шахте и в горизонтальном туннеле, а во второй половине нисходящей шахты охлаждаются потоком холодного воздуха. Цикл сушки 30 мин.

Из охлаждающей шахты 4 кассеты с сахаром подаются транспортером к механизму укладки 3, где брикеты группируются в три сплошных прямоугольника и перемещаются в зону укладки в коробки.

Присосы укладчика, находящиеся под разрежением, переносят один ряд брикетов в коробку, разрежение в них выключается, и брикеты остаются в коробке. Операция повторяется еще 2 раза, и коробка массой 1 кг нетто оказывается заполненной. В ней помещается 180 брикетов — в три ряда по 60 шт.

Коробки с брикетами сахара-рафинада по ленточному тран-

спортеру 8 подаются к машине 9, где закрываются крышками. Готовые пачки упаковываются в групповые пакеты (в одном пакете 20 пачек массой 1 кг или 40 пачек массой 0,5 кг).

Наряду с выпуском сахара-рафинада в пачках массой 0,5 и 1 кг вырабатывается также кусковой прессованный сахар-рафинад в мелкой фасовке с размером брикетов $10 \times 22 \times 30$ мм, завернутый в отдельные пакетики по два брикета общей массой 15 ± 1 г. За 1 мин автомат заворачивает 150 пакетиков.

ПОЛУЧЕНИЕ РАФИНАДНОЙ ПУДРЫ. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ САХАРОЗЫ И ЖИДКОГО САХАРА

На сахарорафинадных заводах производят также рафинадную пудру, кристаллическую сахарозу, жидкий сахар и сахар-рафинад литой колотый.

Рафинадная пудра представляет собой измельченные кристаллы сахара-рафинада размером не более 0,1 мм. В качестве сырья используются рафинадная крошка и рафинированный сахар-песок, влажность которых перед размалыванием не должна превышать 0,1 %. Во избежание комкования в рафинадную пудру добавляют до 4 % кукурузного крахмала.

Рафинадную пудру упаковывают в пакеты массой по 0,5 и 1 кг и в мешки с двойным слоем (внутренний-слой бумажный непропитанный или полиэтиленовый).

Кристаллическая сахароза с размером кристаллов 0,8—1,5 мм, содержанием сахарозы в пересчете на сухое вещество не менее 99,95 %, влажность не более 0,04 % применяется в производстве шампанского и некоторых других вин.

Для ее изготовления в качестве сырья используется сахар-песок цветностью до 0,8 усл. ед. Возврат брака сахара-рафинада в сироп на данной ступени кристаллизации не допускается. Уфель центрифугируют в вертикальных циклических центрифугах. Сахарозу пробеливают чистой горячей водой, пропаривают сухим паром и досушивают на транспортерах по пути от центрифуг до упаковочного отделения. Сушильно-охладительные установки не применяются.

Жидкий сахар (сироп) вырабатывается трех видов: высшей, первой и второй категорий. Сырьем для его получения служит сахар-песок.

Жидкий сахар высшей категории, профильтрованный и обесцвеченный адсорбентом, используется в безалкогольной, винодельческой, кондитерской, фармацевтической промышленности. Жидкий сахар первой категории, профильтрованный с применением фильтроперлита, находит применение в хлебопекарной, кондитерской, консервной и других отраслях пищевой промышленности. Жидкий сахар второй категории перерабатывается на сахарорафинадных заводах в сахар-рафинад.

Жидкий сахар высшей и первой категорий не имеет постороннего вкуса и запаха, прозрачен, вырабатывается на сахарорафинадных заводах, а сахар второй категории имеет специфический легкий запах сиропа с клеровкой, может быть слегка мутным, вырабатывается на свеклосахарных заводах.

Характеристика качества жидкого сахара приведена в табл. 12.

Таблица 12

Показатели	Категория качества		
	высшая	первая	*вторая
Содержание сахарозы, % к массе сухих веществ, не менее	99,80	99,55	99,55
Содержание сухих веществ, %, не менее	64	64	64
Содержание редуцирующих веществ, % к массе сухих веществ, не более	0,04	0,05	0,065
Цветность, усл. ед., не более	1,0	1,6	2,0
Зола, % к массе сухих веществ, не более	0,03	0,03	0,05
pH	6,8—7,2	6,8—7,2	6,8—7,2

Промышленное использование жидкого сахара вместо сахара-песка и сахара-рафинада экономически целесообразно, так как при этом сокращаются такие трудоемкие операции, как упаковка, складирование, транспортирование мешков с сахаром, их опорожнение, роспуск сахара, фильтрование и др. Жидкий сахар перевозят бестарным способом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите ассортимент вырабатываемого сахара-рафинада. Дайте характеристику основных его видов.
2. Какие физико-химические показатели основных видов сахара-рафинада?
3. Назовите основные этапы технологической схемы получения сахара-рафинада с тремя рафинадными и тремя продуктовыми кристаллизациями.
4. Как получают сахар-рафинад в сахарорафинадных отделениях свеклосахарных заводов?
5. Назовите основные этапы технологической схемы получения сахара-рафинада из тростникового сахара-сырца.
6. Из каких продуктов готовят рафинадные и продуктовые сиропы?
7. Каковы условия фильтрования сиропа через гравий?
8. Как фильтруется сироп через слой фильтроперлита?
9. Что такое адсорбция? Какие адсорбенты применяют в сахарорафинадном производстве?
10. В чем сущность периодического и непрерывного способов обесцвечивания сиропа?
11. Как регенерируют активный гранулированный уголь?
12. Как осуществляют очистку сиропа порошкообразным активным углем?
13. Для чего применяются ионообменные смолы в сахарной промышленности?
14. Что представляет собой ионообменный реактор? Как идет в нем процесс обесцвечивания сиропа?

15. Как проводят регенерацию ионообменной смолы?
16. Чем отличается технология получения уфелей рафинадных кристаллизаций от получения уфеля I кристаллизации в свеклосахарном производстве?
17. Каковы устройство и схема действия центрифуг с пульсирующей выгрузкой сахара?
18. Что такое рафинадная патока, каков его состав и где она применяется в пищевой промышленности?
19. Какова схема прессования рафинадной каши?
20. Как высушивается сахар-рафинад в туннельных сушилках и вакуум-сушилках?
21. Назовите температурные режимы воздуха по зонам туннельной сушилки.
22. Как работает автоматизированная линия для выработки сахара-рафинада?
23. Как работает линия прессования, сушки и упаковки сахара-рафинада фирмы «Шамбон»?
24. Как получают кристаллическую сахарозу?
25. Назовите виды жидкого сахара и дайте их характеристику.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Азрилевич М. Я. Технологическое оборудование свеклосахарных заводов.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Пищевая промышленность, 1979.— 344 с.
- Востоков А. И., Лепешкин И. П. Свеклосахарное производство.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Пищевая промышленность, 1973.— 224 с.
- Демчинский Ф. А. Производство сахара-рафинада.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Пищевая промышленность, 1974.— 200 с.
- Приймак В. М. Технология и техноконтроль сахарного производства.— М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.— 240 с.
- Сапронов А. Р., Жушман А. И., Лосева В. А. Общая технология сахара и сахаристых веществ.— М.: Пищевая промышленность, 1979.— 464 с.
- Силин П. М. Технология сахара.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Пищевая промышленность, 1967.— 624 с.
- Силин П. М., Силина Н. П. Химический контроль свеклосахарного производства.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Пищевая промышленность, 1977.— 240 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Возникновение и развитие сахарной промышленности	3
Характеристика свеклосахарного завода	7
Глава 1. Возделывание и уборка сахарной свеклы	12
Сахарная свекла как растение	12
Посев и выращивание сахарной свеклы	17
Уборка сахарной свеклы	23
Строение, состав и технологические качества сахарной свеклы	26
Глава 2 Приемка и хранение сахарной свеклы	30
Приемка сахарной свеклы	30
Условия хранения сахарной свеклы	34
Влияние различных факторов на хранение свеклы	38
Глава 3. Очистка свеклы от примесей	43
Цель и схема очистки свеклы от примесей	43
Улавливание примесей	45
Мытье свеклы	52
Улавливание обломков свеклы	55
Глава 4. Получение диффузионного сока из свекловичной стружки	57
Цель и принципиальная схема получения диффузионного сока	57
Получение свекловичной стружки	59
Получение диффузионного сока	63
Основы теории процесса	63
Проведение диффузии в колонном диффузионном аппарате (КДА)	66
Проведение диффузии в наклонном шнековом диффузионном аппарате	69
Влияние различных факторов на процесс диффузии	72
Прессование жома	76
Подготовка воды для диффузионного процесса	79
Высушивание жома	79
Глава 5. Очистка диффузионного сока	81
Цель и технологические схемы очистки диффузионного сока	81
Дефекация диффузионного сока	87
Растворимость извести в сахарных растворах	87
Предварительная дефекация	89
Основная дефекация	94
Сатурация сока	98
I сатурация	98

II сатурация	102
Эффект очистки, состав очищенного сока и потери сахарозы	104
Сульфитация сока (сиропа)	105
Глава 6. Фильтрование соков (сиропа)	110
Цель и основные положения процесса фильтрования	110
Фильтрование сока I сатурации	112
Фильтрование сока II сатурации (сиропа)	118
Глава 7. Сгущение сока выпариванием	121
Основные понятия о сгущении сока выпариванием	121
Сгущение сока в выпарной установке	124
Химические изменения, происходящие в соке при сгущении его выпариванием	130
Глава 8. Кристаллизация сахара	133
Цель и технологические схемы кристаллизации	133
Основные понятия о кристаллизации сахарозы	138
Растворимость сахарозы	138
Скорость кристаллизации сахарозы	140
Влияние некоторых факторов на скорость роста кристаллов	141
Получение сахара-песка	143
Уваривание утфеля I кристаллизации	143
Центрифугирование утфеля I кристаллизации	147
Сушка, охлаждение и хранение сахара-песка	149
Глава 9. Переработка оттеков	153
Уваривание утфеля II кристаллизации	153
Уваривание утфеля III кристаллизации	154
Центрифугирование утфеля III кристаллизации	160
Аффинация сахара III кристаллизации	161
Меласса	162
Глава 10. Получение тростникового сахара-сырца и его переработка на свеклосахарных заводах	165
Получение тростникового сахара-сырца	165
Состав и некоторые свойства тростникового сахара-сырца	170
Получение сахара-песка из сахара-сырца	175
Получение сахара-рафинада из сахара-сырца	180
Глава 11. Обеспечение сахарного завода известью, водой и паром	183
Получение извести	183
Получение известкового молока и сатурационного газа	187
Обеспечение водой	188
Обеспечение паром	191
Глава 12. Производство сахара-рафинада	192
Цель рафинирования сахара	192
Технологические схемы получения сахара-рафинада	194
Приготовление сиропов	202
Растворение сахара-песка	202
Фильтрование сиропов	203
Обесцвечивание сиропов адсорбентами	205
Основные понятия об адсорбции несхаров	205
Обесцвечивание сиропов активным гранулированным углем	207
Обесцвечивание сиропов порошкообразным активным углем	210
Обесцвечивание сиропов ионообменными смолами	212
Кристаллизация сахара-рафинада	215

Уваривание уфелей	215
Центрифугирование и пробеливание уфелей	217
Обесцвечивание рафинадной патоки	219
Прессование рафинадной каши	220
Сушка и охлаждение сахара-рафинада	222
Получение прессованного сахара-рафинара на автоматизированных линиях	224
Получение рафинадной пудры, кристаллической сахарозы и жидкого сахара	227
Список рекомендуемой литературы	229

АЛЕКСЕЙ РОМАНОВИЧ САПРОНОВ

ТЕХНОЛОГИЯ САХАРА

Редактор *М. С. Рыжова*
 Художественный редактор *В. А. Чуракова*
 Технические редакторы *Н. В. Черенлова, Т. П. Астахова*
 Корректоры *Н. П. Багма, Е. А. Постникова*

ИБ № 1287

Сдано в набор 24.02.83. Подписано в печать 01.07.83 Т-15409 Формат 60×90/16 Бумага типографская № 2. Литературная гарнитура Высокая печать. Объем 14,5 п. л. Усл. и. л. 14,5. Усл. кр.-отт. 14,75. Уч.-изд. л. 15,85 Тираж 6000 экз. Заказ 889. Цена 55 коп.

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

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126 Ленинград, Социалистическая ул., 14.