

66104,54

С 36

Проф. П. М. СИЛИН
заслуженный деятель науки и техники

ТЕХНОЛОГИЯ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть I

*Допущено Всесоюзным комитетом
по делам высшей школы при СНК СССР
в качестве учебного пособия для вузов*

1282.122

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА



ПОГАЩЕНО

ПИЩЕПРОМИЗДАТ
МОСКВА — 1945

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная книга включает:

- 1) Общий курс технологии свеклосахарного производства (крупный шрифт; заголовки, не отмеченные звездочками).
- 2) Специальный курс технологии свеклосахарного производства (крупный шрифт; заголовки отмечены звездочками).
- 3) Дополнительные сведения — мелкий шрифт (некоторые детали, а также сведения, полезные при прохождении производственной практики).

Рекомендуется начинающим прочесть сначала главы, относящиеся к общему курсу. Лишь после основательного усвоения их будут полезны главы специального курса и мелкий шрифт.

В тексте встречаются цифры, заключенные в прямые скобки. Они указывают на литературные источники, список которых с соответствующими номерами дан в конце книги.

После списка литературы приведена сводка сокращенных обозначений журналов.

Проф. П. Силин.

I. ВВЕДЕНИЕ

1. РОЛЬ УГЛЕВОДОВ И САХАРОЗЫ В ПИТАНИИ ЧЕЛОВЕКА

Нормально питающийся человек обычно съедает в сутки следующие количества основных питательных веществ: белков — 120—150 г, жира — 40—60 г и углеводов — 400—500 г.

Следовательно, углеводы составляют большую часть (около 70 %) пищи человека. Теплота сжигания (калорийность) 1 г белка 5—7 Кал, жира 9,3 Кал, углеводов 4,0 Кал. Углеводы по калорийности уступают и белкам и, особенно, жирам. Однако в суточном рационе человека суммарная калорийность углеводов составляет более 60 %: белки 684—855 Кал, жиры 372—465 Кал и углеводы 1600—2000 Кал, всего 2656—3320 Кал.

Именно углеводы являются основным источником энергии для человеческого организма.

Главным углеводом в питании человека является крахмал (в хлебном зерне, в картофеле и т. п.). Следует заметить, что для усвоения крахмала при переваривании его он должен быть прежде всего осахарен и переведен в раствор ферментами слюны и желудочного сока. Кроме того, крахмал заключен обычно в клетки с твердыми неперевариваемыми стенками (клетчатка). Поэтому он используется (усваивается) человеком не на 100, а на 92%. В отношении легкости переваривания и усваивания значительно выше крахмала стоят растворимые углеводы и среди них наиболее широко применяемая сахароза, т. е. обычный сахар. Поэтому человек так охотно заменяет в своем питании часть крахмала сахаром, имеющим, кроме того, приятный сладкий вкус. В данном случае вкус не обманывает: замена крахмала сахаром не только приятна, но и весьма полезна. Для быстрого восстановления затраченной энергии (при походах, спорте, большой физической работе, для больных и выздоравливающих) сахар как питательное вещество незаменим по скорости и легкости его усваивания.

Во вкусовом отношении, по сладости сахароза превосходит все прочие сахара за исключением фруктозы. В следующих дан-

ных показана относительная сладость различных сахаров (сладость сахарозы принята за 100):

Относительная сладость сахаров

Сахароза	100	Галактоза	32
Глюкоза	53	Рафиноза	22
Фруктоза	173	Арабиноза	35
Мальтоза	33	Ксилоза	40

Хотя фруктоза и слаще сахарозы, но ее получение гораздо сложнее, а хранение затруднительно, так как ее кристаллы гигроскопичны, легко притягивают влагу и расплываются на воздухе.

Благодаря ценным пищевым, вкусовым и физическим свойствам сахароза (сахар) сделалась важнейшим пищевым продуктом первой необходимости.

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. ТРОСТНИКОВО-САХАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ДО XIX в.

Античная Греция и Рим не знали сахара (сахарозы). Сладким пищевым продуктом был лишь мед. Родиной сахарного производства из сахарного тростника является Индия [1 и 2].

Самое слово «сахар» происходит от индусского *sarkara* (по-санскритски), по-персидски *schakar*. Однако в Индии получали не твердый сахар, а лишь сгущенный сок тростника. С этим продуктом и древняя Греция, а потом и Рим познакомились после похода Александра Македонского в Индию и дали ему название «тростниковый мед» (*mel agnidinaceum*); греческое название сахара, заимствованное из Индии, — *sakcharon*. Тростниковый сироп был в Европе весьма редким и дорогим продуктом, который применялся главным образом как лекарство.

В средние века и в начале нового времени культура сахарного тростника из Индии распространилась в Аравию, Сирию, Египет и на о. Кипр. Главным поставщиком сахара для Европы стал Египет (через Александрию). Были попытки культивировать сахарный тростник и в южной Испании и Италии. Повидимому, в XI или XII в. арабы научились делать и кристаллический твердый сахар. Культура сахарного тростника была перенесена также на о. Тенериф и на Канарские острова, откуда сахар вывозился во Францию.

С открытием Америки Колумб завез сахарный тростник на о. Сан-Доминго. Отсюда благодаря прекрасным климатическим условиям эта культура быстро привилась и на прочих Антильских островах (особенно на Кубе, Порто-Рико), а также в Мексике и Бразилии.

В XVIII в. главным центром производства сахара были Антильские острова, а почти вся торговля сахаром находилась в руках англичан. Европа получала лишь импортный тростниковый сахар; культура сахарного тростника требует тропического климата, и попытки ввести эту культуру даже в самых южных частях Европы оказались неудачными.

2. ВОЗНИКНОВЕНИЕ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В XVIII в. (1747 г.) немецкий химик Маргграф показал, что тростниковый сахар содержится также в различных сортах свеклы и может из нее получаться в значительных количествах. Больше всего получалось сахара из белой свеклы, меньше — из красной. О своем открытии Маргграф представил доклад в Берлинскую академию наук, членом которой он был.

Для выделения сахара из свеклы Маргграф изрезывал ее на кружки, высушивал при нагревании, измельчал в порошок и кипятил с ректификованным спиртом; после отфильтровывания и охлаждения из спирта выпадали кристаллы сахара. Спиртовая вытяжка оказывалась довольно чистой, так как в спирте ряд несахаров не растворяется (белки, красящие и пектиновые вещества и т. п.).

Маргграф предложил и более дешевый промышленный метод извлечения сахара. Свеклу истирали, отпрессовывали сок, которому давали отстояться, и декантировали от выпавшего осадка. Затем сок кипятили, снимали всплывающую пену и фильтровали (от коагулята белков). Для лучшей очистки рекомендовалось добавлять при нагревании белок куриного яйца или кровь. Затем сок сгущали до состояния густого сиропа, из которого при стоянии выпадали кристаллы сахара. Такой примитивный метод работы почти без очистки сока при низком качестве свеклы давал, конечно, лишь очень малый выход сахара. В настоящее время при весьма высокой доброкачественности сока свеклы очистка его менее рентабельна. Поэтому вновь начинают предлагать получение сахара без очистки сока почти по методу Маргграфа (Яновчик).

При жизни Маргграфа на его открытие не обратили внимания в промышленности отчасти потому, что изобретатель не закончил разработку промышленного метода получения сахара из свеклы и не проявил настойчивости, главным же образом потому, что не было экономических оснований для развития нового свеклосахарного производства: страны Европы были обеспечены привозным тростниковым сахаром. Лишь через 50 лет (с 1786 г.) работу Маргграфа продолжил с большой настойчивостью ученик его Ашар (француз по происхождению). Он в своем имении под Берлином прежде всего развернул осельскохозяйственные опытные работы с целью найти наилучшие условия выращивания наиболее сахаристой свеклы и выбрать наилучший сорт свеклы для производства сахара (им был произведен посев 22 видов свекловичных).

Наконец, 11 января 1799 г. Ашар представил прусскому королю Фридриху-Вильгельму III первую значительную пробу свекловичного сахара (около 4 кг). В поданной одновременно записке он излагал метод свеклосахарного производства и указывал, что при замене импортного тростникового сахара свекловичным в стране останется свыше 4 млн. талеров, уплачиваемых за затранный сахар, и разовьется новая промышленность, которая даст доход государству и заработок большому числу людей. При поддержке правительства в имении Кунерн в Силезии в 1802 г. начал работать первый свеклосахарный завод, построенный Ашаром. Однако, несмотря на ряд правительственных субсидий, новое производство влечило довольно жалкое существование и через 20 лет в Пруссии совершенно прекратилось. Выход сахара в этих первых опытах был от 3 до 5% по весу свеклы. Свекла, повидимому, содержала от 7 до 10% сахара. Выход сахара зависел, главным образом, от качества свеклы.

Первоначальный метод производства сахара из свеклы по Ашару был таков. Свеклу варили до размягчения, изрезывали на пластинки и прессовали для получения сока. Сок фильтровали через фланель, уваривали до $\frac{2}{3}$, снова фильтровали через плотную шерстяную матерiu, уваривали до сиропа, который разливали в плоские чашки и держали на воздухе в кристаллизационных камерах при 30—50° С. Вода продолжала испаряться, а сахар выпадал в виде

кристаллоид. Затем кристаллическую массу помещали в мешок и кристаллы отпрессовывали от межкристалльной патоки. Полученный желтый сахар высушивали.

При предварительной варке свеклы, очевидно, коагулировали белки и красящие вещества; кроме того, разбухали пектиновые вещества клеточных стенок, что ослабляло эти стенки и облегчало отпрессовывание сока даже при грубом измельчении свеклы (таков и современный метод получения свекловичного сиропа). Сок и сироп получались достаточно прозрачными, не черного, а желтого и коричневатого цвета. Однако, при варке свеклы часть сахара уходила в воду, и сама варка являлась операцией, усложняющей производство. Поэтому Ашар вкоре применил и другой способ получения сахара из свеклы. По этому способу свеклу сначала истирали на механической терке. От полученной каши отжимали сок. Для коагуляции белков сока (и красящих веществ) добавляли на холоду серную кислоту в количестве 0,35% по весу сока. Подкисленный сок оставляли на 12 часов при комнатной температуре. Кислота, кроме коагуляции белков, служила также и для дезинфекции сока. Затем прибавляли около 0,50% мела в порошок для нейтрализации кислоты (выпадает гипс) и сверху того еще 0,15% извести («для разложения аммиачных солей»). Смесь нагревали, прибавляя к ней около 2% снятого молока (?). Нагрет доводили почти до температуры кипения. Затем массу давали остыть до 60°. Выпавшие осадки оказывались отчасти на дне (гипс) и отчасти на поверхности жидкости в виде пены (белки и т. п.). Пену снимали шумовкой, отстоявшийся сок декантировали с осадка. Осадок и пену откидывали на фильтр, чтобы и от них отделить прозрачный сок.

Сок выпаривали до консистенции сиропа (при этом выпадал гипс, который отделялся путем декантации).

Сироп разливали для кристаллизации в широкие глиняные сосуды (диаметром 500 мм и глубиной 100 мм) и выдерживали в особых камерах при 30—40°. Вода медленно испарялась, и сахар выделялся в виде крупных кристаллов (это требовало 40—50 дней). Кристаллическую массу помещали в глиняный копнический горшок (рафинадная форма того времени, весьма похожая на современную рафинадную форму). Оттек отходил от кристаллов через отверстие в дне формы, на что требовалось также 40—50 дней. Оставшийся в формах сахар высушивали на воздухе при частом перелопачивании в течение 15—20 дней.

Применялся также и ускоренный метод кристаллизации путем уваривания сиропа до высокой концентрации (на волос) при температуре, близкой к 100°. Такой утфель сразу разливали в формы, и кристаллизация в них заканчивалась в течение 24 час. Зато стекание патоки замедлялось (50—70 дней), так как кристаллы сахара получались мельче.

Из жома, содержащего еще значительное количество сахара, получали водку (ром, коньяк), уксус. Отходы винокурения шли на корм скоту. Патоку употребляли в пищу или для производства водки и рома.

Таким способом работал, например, завод фон Коппа в Силезии и в одну из производственных кампаний получил 3,16% сахара по весу свеклы и 2,21% патоки.

Ашар был против простой очистки свеклы известью. Применяя серную кислоту, он, конечно, терял некоторое количество сахара вследствие инверсии. Выпадение гипса было также отрицательной стороной его способа.

Одновременно с методами Ашара появились уже в 1802 г. и способы очистки одной лишь известью, например способ Таера — коагуляция при нагревании с 0,1% извести и отделение осадка декантацией. Этого количества извести было недостаточно. В 1815 г. Шпатель рекомендует производить очистку при нагревании уже с 0,25% извести, варьируя несколько количество ее «в соответствии с составом сока» (совпадает с современным представлением об оптимальной точке коагуляции на предварительной дефекации). Отделенный декантацией сок затем доводили серной кислотой почти до нейтральной реакции на лакмус. Рекомендовалось уже и применение животного угля для дополнительной очистки сока.

Пайен в 1825 г. в своем курсе сахарного производства рекомендовал удалять избыток извести углекисмониевой солью (при этом улетал аммиак) и обеспечивать сок костяным углем. Таким образом, впервые начали удалять известь в виде углекислосодержащей соли.

Молодое свеклосахарное производство могло бы совсем прекратиться. Однако экономические причины дали ему новый мощный толчок к развитию. Жесточайшая экономическая борьба между молодой французской и старой английской буржуазией привела в 1806 г. к тому, что Наполеон издал декрет о так называемой континентальной блокаде. Весь континент Европы тогда подчинялся Наполеону, а изданный им декрет воспрещал торговлю с Англией и таким образом почти совершенно преградил доступ сахара на континент. Цены на сахар резко повысились, что сделало более выгодным свеклосахарное производство. Кроме того во Франции Наполеон издал в 1812 г. специальный декрет для поощрения и развития свеклосахарного производства: был создан ряд школ для изучения этого производства, выдано 500 разрешений на производство сахара из свеклы с полным освобождением на четыре года от всяких налогов, решено построить четыре государственных завода и т. п.

Свеклосахарное производство по методу Ашара уже существовало во Франции. Поощрительный декрет Наполеона вызвал такой подъем, что и после прекращения континентальной блокады (в 1814 г.) сахарная промышленность во Франции продолжала развиваться. Во всех странах континента Европы ввозимый тростниковый сахар был обложен дополнительной пошлиной, что способствовало развитию свеклосахарного производства. Повсюду в Европе приблизительно с 1830 г. это производство вступило на путь надежного непрерывного развития.

3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Перед первой мировой войной в 1913/14 г. мировое производство сахара достигло 18,3 млн. т (из них тростникового 9,3 млн. т, свекловичного 9 млн. т). Следовательно, мировое производство свекловичного сахара почти сравнялось с производством тростникового. От первой империалистической войны пострадали, главным образом, свеклосеющие страны (Европа). Поэтому свеклосахарное производство резко сократилось. Оно, правда, довольно быстро было восстановлено, но тем временем тростниково-сахарное производство ушло далеко вперед. Таким образом, за последнее производство до начала фашистских захватов (Чехословакия, Австрия), за производство 1937/38 г. мировая выработка сахара оказалась равной 30 млн. т, из коих свекловичного сахара 11,2 млн. т, т. е. на 24% больше, чем до первой мировой войны, но гораздо меньше, чем было выработано тростникового сахара (18,8 млн. т). Свекловичный сахар составлял лишь 37% мирового производства, а тростниковый 63%, т. е. в 1,68 раза больше.

На рис. 1. показано распределение производства сахара (за 1937/38 г.) между основными сахаропроизводящими странами. Как видно, больше всего тростникового сахара вырабатывалось в Азии и в Северной Америке, а в этих частях света больше всего в Британской Индии, на о. Кубе и на о. Яве. Особенно велико сахарное производство на сравнительно небольших островах: на Кубе и Порто-Рико, Яве, Гавай, на Филиппинах. Это — главные центры экспорта тростникового сахара. Например, о. Куба произ-

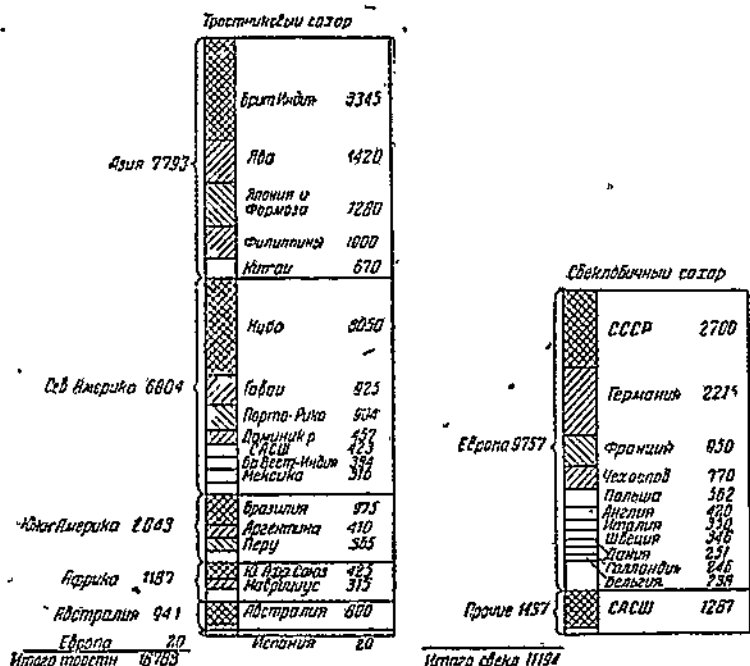


Рис. 1. Мировое сахарное производство (в тыс. т)

водит сахара в три раза больше, чем вся Франция, и даже немного больше, чем СССР. В Европе тростниково-сахарное производство почти совершенно отсутствует, так как климатические условия для этого здесь неблагоприятны. В остальных частях света сахарный тростник распространен также лишь в тропическом поясе.

Свеклосахарное производство (см. рис. 1) развито в основном в Европе и кроме того (10%) в США. В 1937/38 г. максимальное количество сахара из свеклы выработано в СССР (2,7 млн. т); на втором месте стоит Германия (2,21 млн. т); далее идут США, Франция и Чехословакия; значительное место занимают также Польша, Англия, Дания, Италия, Швеция, Гол-

ландия и Бельгия. В остальных странах Европы имеется сравнительно незначительное свеклосахарное производство. Почти во всех странах Европы свеклосахарное производство рассчитано на удовлетворение внутренней потребности в сахаре, но не на экспорт. Только в одной Чехословакии производство в 2—3 раза превышало потребление (такое непропорционально большое производство сахара развилось в Чехословакии до первой мировой войны, когда Чехословакия являлась частью обширной Австро-Венгрии, которую и снабжала сахаром). В некоторых странах, наоборот, свеклосахарное производство далеко не покрывает потребности в сахаре, особенно в Англии и США.

Свеклосахарное производство несколько искусственно поддерживается и развивается, ограждаемое от конкуренции более дешевого тростникового сахара высокими ввозными пошлинами на последний. Является вопрос, правильно ли это, не будут ли такие пошлины в дальнейшем отменены и не прекратится ли свеклосахарное производство, как менее рентабельное? Можно быть уверенным, что этого не произойдет. Свеклосахарное производство не свертывается, а развивается (за время между первой и второй мировыми войнами оно выросло на 24%) и будет развиваться. К этому имеются глубокие причины. Каждая страна, опасаясь войн и международных осложнений, стремится к экономической самостоятельности, к освобождению от импорта предметов первой необходимости. Поэтому за период между первой и второй мировыми войнами свеклосахарное производство появилось в целом ряде стран Европы, где его ранее не было, например в Югославии, Болгарии, даже в Финляндии. В 1937/38 г. из стран Европы только в одной Норвегии не было сахарного производства. Таким образом, свеклосахарное производство имеет как бы оборонное значение: дает более надежное снабжение населения питанием в военный период. Но и независимо от этого нерационально загружать транспорт перевозкой огромных количеств сахара на десятки тысяч километров, тогда как этот продукт не так трудно получить на месте потребления. Наконец, культура свеклы и свеклосахарное производство играют огромную роль в развитии сельского хозяйства. Почву под свеклу необходимо удобрять, так как она весьма «отзывчива» на удобрение, т. е. при этом резко повышается урожай. Однако свекла не использует полностью примененных для нее удобрений, остатки их повышают урожай и следующих за свеклой зерновых культур. Необходимое для свеклы рыхление междурядий и тщательная прополка очищают поле от сорняков, что также повышает урожай и прочих культур. Таким образом введение свеклы в севооборот оказывает огромное влияние на общее повышение урожайности, ведет к более интенсивному использованию земли («сеять свеклу — это значит получать три колоса там, где раньше получали один»). Сверх всего с культурой свеклы связано и развитие животноводства, так как ботва свеклы и отходы сахарного производства (жом и патока) идут на корм скоту. Соли

калия и азотистые вещества, содержащиеся в скормливаемых отходах сахарного производства, обратно возвращаются в почву в виде навоза. Культура свеклы и сахарное производство совершенно не отнимают от почвы питательных веществ, так как выводится лишь сахар, который, как известно, образуется из углекислоты, содержащейся в воздухе, и из воды и не содержит ни азота, ни солей.

4. РАЗВИТИЕ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СССР

В дореволюционной России первый свеклосахарный завод появился в 1802 г. (одновременно с первым заводом Ашара в Германии). Он был построен в Тульской губернии в имении Алябьево генералом Бланкеннагелем, который получил на развитие нового производства казенную субсидию в 50 тыс. руб. ассигнациями. Правительство предлагало помощь всем желающим строить сахарные заводы. Однако, несмотря на всевозможные льготы и субсидии, до 1825 г. существовало всего лишь два завода (оба в Тульской губернии) с суммарной производительностью около 250 ц (центнеров) сахара в год. Затем в связи со стремлением повысить как-нибудь рентабельность падающего крепостного помещичьего хозяйства число сахарных заводов начало довольно быстро увеличиваться. В 1830 г. было уже 20 заводов, в 1840 — 143 и в 1860 — 426. Но это были главным образом весьма примитивные кустарные заводы, эксплуатировавшие труд крепостных. Поэтому с падением крепостного права и о развитии более совершенных промышленных предприятий капиталистического, а не кустарного помещичьего типа, с развитием техники и введением паровой силы эти мелкие заводы не выдержали конкуренции и начали закрываться. Число сахарных заводов в дореволюционной России после отмены крепостного права резко уменьшилось: в 1890 г. их осталось лишь 222. Оставшиеся заводы увеличили свою производительность и превратились в крупные капиталистические предприятия. Поэтому количество вырабатываемого сахара продолжало непрерывно и быстро увеличиваться, несмотря на сокращение числа заводов.

Перед первой мировой войной в России (вместе с Польшей) было 235 заводов, которые за год выработали 17 млн. ц сахара (максимальная выработка дореволюционной России).

За время первой мировой и гражданской войн производство сахара в России упало почти до нуля (до 3% довоенной выработки). Но затем с 1922 г. на новых основах социалистическая сахарная промышленность СССР начала чрезвычайно быстро развиваться. В производстве 1930/31 г. уже была превзойдена максимальная довоенная выработка сахара, а в 1937/38 г. было выработано почти в 1,5 раза больше, чем в 1914/15 г. (27 млн. ц).

Более подробные сведения о развитии сахарной промышленности в СССР приведены в табл. 23.

Развитие производства сахара в России и в СССР

Годы	Тонны	Годы	Тонны
1802/03	5	1900/01	893 000
1820/21	8	1914/15	1 705 340
1845/46	124 000	1921/22	50 290
1864/65	146 000	1930/31	1 781 346
1890/91	466 427	1937/38	27 00 000

Свеклосахарная промышленность была источником значительного дохода для царского правительства. Сахар был обложен акцизом (налогом) сначала в 60 коп. с пуда (в 1848 г.), затем этот акциз поднялся до 1 р. 75 к. и давал свыше 150 млн. руб. в год.

Сахарная промышленность охранялась заградительными импортными налогами от конкуренции с тростниковым сахаром. Предохранялась она и от внутренней конкуренции заводов друг с другом, от возможного перепроизводства, падения цен и кризисов. Сначала такое регулирование осуществлялось путем создания синдиката сахарозаводчиков. Но это не вполне достигало цели, так как организация была добровольной; поэтому был введен государственный закон о регулировании сахарной промышленности. Этот закон на каждый год определял количество сахара к выпуску на внутренний русский рынок. Из этого количества определялась и доля свободного сахара для каждого завода для продажи внутри страны. Кроме того, каждый завод обязан был иметь неприкосновенный запас сахара, который мог поступать в продажу лишь по особому распоряжению правительства в случае повышения рыночных цен на сахар выше назначенного предела. Весь сахар, выработанный сверх определенных для завода норм, можно было реализовать лишь на внешнем рынке, т. е. экспортировать. Таким образом внутри страны поддерживались искусственно повышенные цены на сахар, что снижало потребление его (потреблялось лишь около 8 кг на человека в год). В то же время в урожайные годы значительные количества русского сахара продавались по убыточным низким ценам в Персии и в Англии; например в 1910 г. было вывезено из России 18 млн. пудов сахара.

Распределение сахарной промышленности на территории СССР неравномерно. Главным районом сахарной промышленности является УССР. Особенно много заводов в Правобережной Украине. Приблизительно 80% сахарных заводов расположено в УССР, из них 55% в Правобережье и 25% — в Левобережье. Остальные 20% заводов находятся в прочих частях СССР, главным образом в РСФСР (особенно в Курской, Воронежской и Тамбовской областях).

Всего в СССР было в 1941 г. 217 сахарных и 17 рафинадных заводов. Производительность сахарных заводов СССР колебалась от 4 до 30 тыс. ц перерабатываемой в сутки свеклы.

В правобережной части УССР расположены главным образом более мелкие заводы старой постройки. В Курской и Воронежской областях заводы крупнее. В период 1928—1937 гг. в СССР строились новые сахарные заводы лишь повышенной мощности производительностью не менее 20 тыс. ц в сутки, так как с повышением мощности снижаются накладные расходы производства. Однако, как и в других отраслях промышленности, обнаружилось, что такие за-

воды трудно снабжать нетранспортабельным сырьем — свеклой; стоимость сырья сильно возрастает за счет транспорта, железные дороги загружаются чрезмерными перевозками. Поэтому совершенно правильно т. Молотов на XVIII съезде ВКП(б) выдвинул лозунг «борьбы с гигантоманией» в промышленности. В частности, в сахарной промышленности СССР найдено было, что наиболее рентабельными следует считать заводы средней мощности, на 10—12 тыс. ц свеклы в день. Вообще же вопрос о производительности решается каждый раз созвразно с местными конкретными условиями. Иногда может потребоваться и завод на 20 тыс. ц, в ряде других случаев приходится останавливаться даже на размере в 4—6 тыс. ц (в районах с малым количеством рабочих рук в сельском хозяйстве, с малой плотностью посевов свеклы).

До первой мировой войны русская сахарная промышленность по большинству показателей была на последнем месте среди сахаропроизводящих стран Европы, что видно из табл. 1. По урожайности свеклы и по душевому потреблению сахара Россия стояла на весьма низком уровне.

Таблица 1

Сахарная промышленность европейских стран до первой мировой войны

Страны	Урожай свеклы (в ц/га) 1909—1914 гг.	Получено сахара (в ц/га) 1909—1914 гг.	Потребление сахара (в кг) на человека в год 1909—1912 гг.
Германия	295	44,5	19,2
Австро-Венгрия	274	38,0	11,5
Франция	280	33,6	17,6
Бельгия	316	41,5	13,9
Италия	340	35,1	5,3
Россия	176	24,3	7,2

Перед советской властью встала сложная задача восстановления сахарной промышленности, пришедшей в упадок за период мировой и гражданской войн, задача дальнейшего развития и расширения этой промышленности. Заводы быстро были приведены в порядок, стали работать по рациональной стандартной схеме.

Производительность старых заводов начала повышаться из года в год и далеко ушла вперед от дореволюционного масштаба. Этого достигли двумя путями. Во-первых, устранялись узкие места в оборудовании заводов: часто достаточно было заменить два-три аппарата, задерживавших работу завода, на более мощные, чтобы это привело к значительному повышению производительности всего завода. Во-вторых, начали применять более совершенные методы работы, позволяющие ускорить работу и увеличить производитель-

ность имеющейся аппаратуры. Особенно много дало стахановское движение в нашей сахарной промышленности. Оно позволило увеличить в 1,5—2 раза скорость работы на ряде аппаратов.

Количество сырья — свеклы — в старых районах свеклосеяния также увеличилось не только за счет увеличения посевных площадей, но и за счет улучшения методов культивирования, значительно повысивших урожайность свеклы. Стахановцы свекловичных полей (например Мария Демченко) добились невиданных урожаев — по 500 ц свеклы с 1 га и даже выше (до 1000 ц), что было несравненно выше урожаев в странах Западной Европы.

Наконец, чтобы еще больше увеличить производство сахара, был построен ряд новых сахарных заводов. По указанию товарища Микояна эти заводы строились в восточной части старого района свеклосеяния — в Воронежской и Тамбовской областях, менее насыщенных сахарной промышленностью, и даже в совершенно новых восточных районах, где ранее сахарной промышленности не существовало. Таким образом сахарные заводы появились в Поволжье, в Грузии, особенно в Казахской, Киргизской и Узбекской республиках, в Алтайском и Красноярском краях, на Дальнем Востоке. Такое передвижение сахарной промышленности на Восток имело огромное значение: производство приблизилось к потребителю; уменьшалась загрузка железных дорог перевозками сахара; культура свеклы поднимала сельское хозяйство новых районов на более высокий уровень.

Перечисленные мероприятия дали блестящий эффект. Как уже указывалось выше, свеклосахарная промышленность СССР в производстве 1937/38 г. уже в 1,5 раза превысила дореволюционную производительность и оказалась на первом месте в мире.

Однако на достигнутом результате нельзя было успокаиваться, так как в экономическом отношении, т. е. по количеству сахара, вырабатываемого в СССР в год на одного потребителя, имелось все же отставание от ряда капиталистических стран, на что и указал товарищ Молотов на XVIII съезде ВКП(б).

Поэтому запланировано было на третью пятилетку (к 1942 г.) дальнейшее увеличение производства сахара до 3,5 млн. т (т. е. рост на 45 %). Выполнению этого плана помешали вторая мировая война и нашествие немецко-фашистских захватчиков с его жестокими бессмысленными разрушениями, от которых сильно пострадала УССР — основной старый район свеклосахарного производства в СССР. Перед работниками сахарной промышленности стоит в настоящее время острая, ответственная и почетная задача — в кратчайший срок восстановить разрушенные сахарные заводы и вновь вывести промышленность СССР на широкий путь дальнейшего развития. Эта задача, конечно, будет решена так же, как решена была 25 лет назад задача восстановления сахарной промышленности после первой мировой и гражданской войны.

Чтобы характеризовать ход развития техники сахарного производства, даем хронологию главнейших открытий:

1747 г. — открытие сахара в свекловиче (Маргграф).

1802 г. — первые свеклосахарные заводы: Ашара — в Силезии и Бланкен-нагеля — в России.

1815 г. — применение костяного угля (патент Мертино).

1828 г. — выпарной котел с паровым змеевиком (Хелетт).

1840 г. — сатурация углекислотой (Шаттен и Михаэлис).

1843 г. — выпарка многократного действия (Рилье). Применение поляриметра (Венцке).

1844 г. — применение центрофуги для пробелки (попытка Шеттлера).

1850 г. — ящики Шютценбаха для низших продуктов взамен головных форм; широкое применение центрофуг; вакуумаппараты на заводах; известковые печи с использованием углекислоты (Франция).

1853 г. — уваривание сиропа на кристалл (Валькгоф).

1863 г. — дефеко-сатурация Елинек-Фрея; фильтрпресс (Жакье).

1864 г. — диффузионный способ получения сока (Роберт).

1870 г. — широкое распространение уваривания на кристалл.

1880 г. — полутеневой поляриметр (Шмидт-Гениш).

1883 г. — обессахаривание патоки методом сепарации по Стеффену.

1884 г. — кристаллизация в движении (Вульф); выпарка тройного и четверного действия на заводах.

3. СВЕКЛОСАХАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО (схема)

Современный свеклосахарный завод представляет собой крупное предприятие, перерабатывающее в сутки от 4 до 40 тыс. ц свеклы (в СССР чаще всего встречается производительность от 7 до 10 тыс. ц). Период работы заводов — с I/X по I/III и даже по I/IV. На зимние месяцы и на весну завод должен иметь и хранить запас свеклы (например на 100 дней); свекла, сложенная на хранение в кути-кагаты, занимает около завода большую площадь кагатного поля (10—20 га). Вопросы техники хранения свеклы требуют большого внимания, и они тщательно разработаны в свеклосахарной промышленности.

При большом масштабе сахарного завода все операции должны быть механизированы и выполняться непрерывным конвейерным порядком круглосуточно без остановок на выходные дни.

Механизируются и все предварительные операции по доставке свеклы на завод и ее освобождению от грубых примесей. На завод свекла доставляется гидравлическими транспортерами, т. е. желобами, в которые подается вода: по такой искусственной речке сплавляется свекла на завод. На гидравлическом транспортере обычно устанавливаются механические соломоловушки и камнеловушки, освобождающие подаваемую свеклу от этих грубых примесей.

На заводе свекла поступает на корытообразную мойку, снабженную валом с кулаками, и отмывается от земли. Затем свекла элеватором поднимается высоко (например на 15 м), чтобы дальнейшие операции она могла проходить самотеком. С элеватора вымываемая свекла попадает на автоматические весы, регистрирующие вес поступившего на завод сырья.

Следующей задачей является получение из свеклы сока. Раньше для этого свеклу истирали на терках и выжимали сок на гидравлических прессах, но это была операция, требующая много ручного труда. Поэтому уже около 70 лет назад прессовый способ сокодобывания был заменен диффузионным. При этом способе изрезанная в тонкую стружку свекла при нагревании выщелачивается горячей водой в закрытых сосудах — диффузорах. Сахар и растворимые примеси, или «несахара», диффундируют изнутри свекловичной стружки в воду. При выщелачивании свеклы водой в одном диффузоре, очевидно, можно было бы получить лишь весьма разбавленный сок, из которого пришлось бы выпаривать слишком много воды. Поэтому ставят целую батарею из 12—14 диффузоров и

получаемый первоначально разбавленный сок направляют в следующие диффузоры со свежей стружкой; таким образом сок делается все более и более концентрированным, приближаясь по концентрации к соку, содержащемуся в клетках свеклы. В то же время, ведя методическое выщелачивание в такой диффузионной батарее, удается значительно снизить содержание сахара в удалемом отходе — выщелоченной стружке, так называемом жоме (в нем остается лишь около 0,3% сахара).

Диффузионный сок, полученный на диффузионной батарее, мутен и имеет черный цвет. Его подвергают очистке, для чего сок нагревают при помощи пара на особых аппаратах (решоферах) до 90° и прибавляют к нему известковое молоко (на 100 кг свеклы расходуется от 2 до 3 кг извести). Вследствие нагревания и под действием извести коагулируют белки и черные красящие вещества свеклы. Кроме того, анионы многих солей и кислот, содержащихся в диффузионном соке, дают осадок с ионом кальция известня и таким образом удаляются из раствора (например анионы щавелевой кислоты, фосфорной кислоты и ряда других); происходит, следовательно, очистка сока. Операцию добавления извести для очистки сока называют дефекацией (осаждение).

На дефекацию дается значительный избыток извести. Затем дефекованный сок вместе со всеми осадками насыщают углекислым газом (это — так называемая I сатурация, или насыщение); при этом избыточная известь превращается в нерастворимый мелкий кристаллический осадок CaCO_3 , на поверхности которого собираются (адсорбируются) некоторые, особенно окрашенные, несахара сока; таким образом достигается дополнительная очистка сока путем адсорбции на частицах CaCO_3 .

Отсатурированный сок нагревают до 100° и фильтруют на фильтрпрессах или вакуумфильтрах, которые отделяют фильтрпрессную грязь, содержащую CaCO_3 и несахара, осажденные на дефекации.

Профильтрованный сок светложелтого цвета содержит в растворе еще небольшой избыток извести. Поэтому его подвергают II сатурации углекислотой и выпавший осадок снова отфильтровывают на фильтрпрессах. Перед II сатурацией и фильтрацией сок также нагревают на решоферах до 100°.

Остающуюся в соке тонкую муть удаляют путем повторной фильтрации на так называемых механических фильтрах. Получается очищенный сок II сатурации светложелтого цвета, содержащий около 15% сухих веществ и около 14% сахара.

Сатурационный сок выпаривают на выпарке до концентрации 65% сухих веществ и получают сироп. Сироп обесцвечивают, пропуская через него сернистый газ (продукты горения серы), и фильтруют через механический фильтр.

Наконец, очищенный сироп уваривают под разрежением в вакуумаппаратах до высокой концентрации 92% сухих веществ (85% сахара). Этот продукт называется утфелем. Небольшого ко-

личества воды, остающейся в утфеле (8%), недостаточно, чтобы удерживать в растворе весь сахар. Поэтому при уваривании большая часть сахара выкристаллизовывается, и утфель содержит около 50% кристаллического сахара. Остается лишь отделить этот сахар от окружающей маточной жидкости, содержащей в растворе сахар и примеси (несахара).

Отделение кристаллов сахара из утфеля производят на центрофугах — быстро вращающихся вертикальных барабанах с ситчатой боковой поверхностью (около 1 тыс. оборотов в минуту). Загруженный в центрофугу утфель под действием центробежной силы располагается по боковой поверхности барабана; межкристалльный оттеок центробежной силой прогоняется сквозь ситчатую поверхность, и в барабане остаются лишь кристаллы сахара, которые промывают небольшим количеством горячей воды. Полученный белый сахар высушивают и упаковывают в мешки.

Отделенный на центрофуге маточный раствор (зеленая патока) содержит еще много сахара (например 62%).* Поэтому его еще раз уваривают в вакуум-аппарате до 95% сухих веществ и получают утфель II кристаллизации. Чтобы больше выкристаллизовать сахара, утфель II кристаллизации охлаждают до 40° при перемешивании в корытообразном кристаллизаторе. Затем кристаллы сахара отделяются из утфеля II на центрофуге. Получается сахар худшего качества — «желтый сахар», который не идет на потребление, а возвращается в производство (растворяется в сатурационном соке и прибавляется к сиропу).

Маточный раствор, отделенный от утфеля II, хотя и содержит еще около 50% сахара, но получить этот сахар методом дальнейшего уваривания и кристаллизации уже не удастся, так как он содержит много несахаров. Поэтому этот раствор является отходом производства (кормовая патока, или мелясса). Он употребляется на корм скоту или на производство спирта или дрожжей.

4. ТРОСТНИКОВО-САХАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Сахарный тростник был первым растением, из которого начали получать сахарозу. В настоящее время $\frac{2}{3}$ мировой продукции сахара дает сахарный тростник. Поэтому, хотя в СССР сахарный тростник и не растет, необходимо иметь представление о тростниково-сахарном производстве, из техники которого кое-что следовало бы еще заимствовать свеклосахарному производству.

Сахарный тростник (*Arundo saccharifera*), является растением, принадлежащим к семейству злаков (*Gramineae*), т. е. к тому же семейству, к которому относятся пшеница, рожь, кукуруза и т. п. Этот гигантский злак достигает высоты 2—4 м и имеет стебель толщиной 40—50 мм. Стебель, как и у всех злаков, узловатый и состоит из отдельных суставов (междоузлий); но стебель тростника не пустой внутри, а заполнен рыхлой сочной тканью, содержащей сахар. Стебли тростника и являются сырьем для производства сахара. Из узлов растут листья, которые в нижней части растения опадают, а в верхней образуют пучок (рис. 2). Созревший тростник имеет обычно 40—50 и более узлов и суставов. На верхушке тростника может вырасти цветоносная метелка, дающая семена, но ранее этого тростник обычно убирают для переработки на сахар.

Посадка для культуры сахарного тростника производится обычно не семенами, а черенками. Для этого используют верхние части растений, длиной 500—700 мм. В узлах стебля имеются почки, которые легко прорастают. Как растение многолетнее, высаженный тростник дает целый ряд урожаев; остающийся после уборки черешок с корнями продолжает расти. Таким образом получают от одной посадки 5—6 урожаев, которые однако постепенно уменьшаются вследствие истощения почвы.

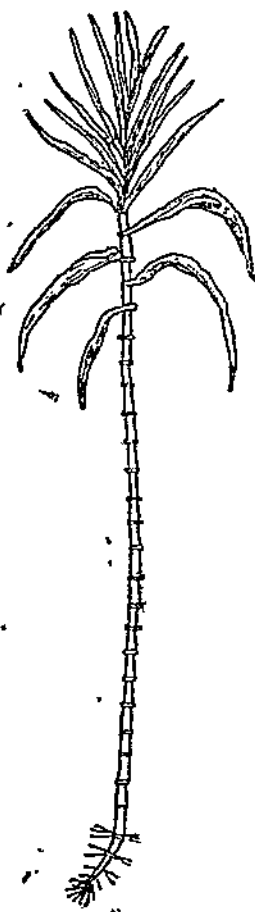


Рис. 2. Сахарный тростник

Для созревания сахарного тростника требуется 12—16 месяцев. Поэтому культура его возможна лишь в тропической и субтропической полосах, где почти нет зимы и где средняя годовая температура не ниже $+16^{\circ}$. Тростник требует почвы, богатой питательными веществами и влагой, с годовым количеством осадков не менее 1700 мм.

Родиной сахарного тростника является Азия (Индия, Китай). В настоящее время он культивируется главным образом на Антильских островах, на Яве и в Британской Индии. На Кубе, Гавайи и в других местах сахарный тростник культивируют часто с искусственным орошением, что дает прекрасные результаты — увеличивает урожай раза в полтора.

Состав сахарного тростника может значительно колебаться, так как имеется много разнообразных сортов его, и кроме того один и тот же сорт в разных местах дает различные результаты.

Содержание сахара в сахарном тростнике колеблется от 13 до 17%. Доброкачественность сока тростника — 81—85%. Содержание мезги (главным образом клетчатки) — 9—12%. Урожайность сахарного тростника (без искусственного орошения) колеблется от 40 до 65 т/га; урожай сахара с 1 га — 7—9 т. Таким образом содержание сахара в сахарном тростнике несколько меньше, чем в сахарной свекле; сок имеет невысокую, сравнительно, доброкачественность, урожай же сахара с 1 га в 2—3 раза больше, чем для свеклы.

Неудобной для производства особенностью в составе сахарного тростника является содержание в нем значительного количества глюкозы (от 0,1 до нескольких процентов). Присутствие глюкозы (может быть, инвертного сахара) не позволяет применять для очистки сока сахарного тростника метод свеклосахарного производства, т. е. обработку нагретого сока избытком извести; при такой обработке в щелочной среде вся глюкоза была бы разрушена с образованием большого количества вредных для производства кальциевых солей ряда органических кислот, сообщающих раствору интенсивную бурую окраску («осмоление»). Приходится применять лишь малые количества извести (около 0,1%), что делает очистку менее эффективной и усложняет отделение осадка. Сок на всех стадиях производства поддерживается при реакции, близкой к нейтральной ($\text{pH} = 7,0$); и таким образом редуцирующие вещества (инвертный сахар) проходят по всем станциям неизменными и накапливаются в патоке.

Второй особенностью тростниково-сахарного производства является метод получения сока путем прессования стеблей тростника на вальцах.

На рис. 3 дана краткая схема получения и очистки сока на тростниково-сахарном заводе Clewiston во Флориде, перерабатывающем 6 тыс. т тростника в день.

Сахарный тростник, предварительно изрезанный на куски, проходит через вальцевую дробилку, а затем через семь трехвальцо-

вых отжимающих прессов (в каждом прессе тростник дважды проходит между вальцами). Перед каждым прессом масса, идущая на отжатие, увлажняется, т. е. происходит так называемая мацерация (вымачивание). Перед каждым из первых четырех прессов применяют для мацерации жидкий сок, полученный с последних трех прессов (после предварительной очистки этого сока).

Сок первых четырех прессов является главным продуктом, идущим дальше на очистку и выпаривание. Последние три пресса служат для обессахаривания уходящего отхода — так называемой багассы. Для этого перед последним (седьмым) прессованием при-

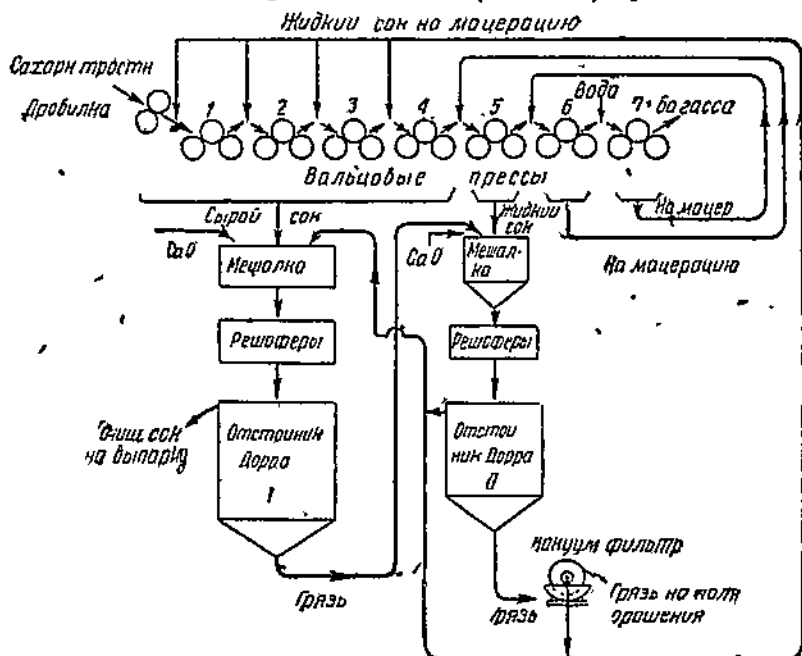


Рис. 3. Схема тростниково-сахарного производства

меняют для мацерации теплую воду. Полученный после седьмого прессования весьма жидкий сок применяют для мацерации перед шестым прессованием, а сок шестого пресса идет для мацерации перед пятым прессованием. С пятого пресса получается все же еще жидкий сок, идущий на отдельную очистку, а после очистки на мацерацию перед 1-м, 2-м, 3-м и 4-м прессованиями. Багасса применяется на заводе в качестве топлива (количество ее вполне достаточно для этой цели).

Итак, с первых четырех вальцевых прессов получается сырой сок тростника, а с последних трех — жидкий сок. Оба сока очищаются. Для этого к главному сырому соку прибавляют известковое молоко в количестве около 0,1% до $\text{pH} = 7,5$. При этом коагулируют белки сока и осаждаются ряд кислот, дающих с известью

нерастворимые соли. Оптимальное количество извести, которое следует прибавлять для получения наилучшей коагуляции, определяется предварительными опытами в лаборатории. После добавления извести сок нагревают в решоферах до 103° и направляют в непрерывно действующие отстойники типа Дорра (I). Здесь декантируется очищенный прозрачный сок, который направляется на выпарку; с конического дна отстойника удаляется сгущенная грязь.

Сгущенная грязь первых отстойников поступает в смеситель, где перемешивается с жидким соком (с пятого пресса). В этот смеситель добавляют также немного известкового молока до $pH = 7,3$ для очистки жидкого сока. Затем смесь через решофер идет во II отстойник Дорра. Здесь грязь вторично осаждается, причем осадок получается более концентрированный, так как осаждение идет в жидком соке малого удельного веса.

Декантированный прозрачный жидкий сок направляют на мацерацию на 1-й, 2-й, 3-й и 4-й вальцевые прессы. Часть жидкого сока идет вместе с главным сырым соком на станцию очистки известью.

Сгущенная грязь из отстойника Дорра поступает на вакуум-фильтры, где отсасывается от сока и промывается водой. Для более легкой фильтрации к грязи прибавляют в качестве дренажного материала мелкую багассу («багацилло»). Отсосанный сок и промой поступают в трубу жидкого сока и направляются на мацерацию. Отделенная от сока и промытая грязь смешивается с водой и выкачивается на прилегающие к заводу тростниковые плантации (поля орошения) в качестве удобрения.

Очищенный сок дальше перерабатывают точно так же, как и очищенный сок свеклосахарного завода, т. е. выпаривают на выпарке до состояния сиропа ($60-65^{\circ}$ Брикса). Затем сироп уваривают в вакуум-аппаратах до получения густой кристаллической массы, так называемого утфеля, в котором содержится лишь 7—8% воды и около 50% сахара в виде кристаллов. Кристаллы сахара отделяют от межкристалльного оттека на центрифугах. Оттек же еще раз уваривают для получения кристаллической массы — утфеля II. На заводе Clewiston оттек от утфеля II также уваривают и получают еще утфель III, оттек от которого является уже отходом — кормовой патокой.

Патока тростниково-сахарных заводов имеет весьма низкую доброкачественность (около 32), так как в ней содержится много инвертного сахара, вращающего плоскость поляризации влево.

5. ИНЫЕ (КРОМЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И САХАРНОГО ТРОСТНИКА) ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛАДКИХ ВЕЩЕСТВ

Сахарное сорго (*Borghum saccharatum*) принадлежит, как и сахарный тростник, к семейству злаковых и является растением однолетним (размеры почти такие же, как у сахарного тростника). Семена его используются на корм или для производства крахмала, а стебли употребляются для получения сладкого соргового сиропа. В СССР сорго разводят на Кубани и в Крыму.

Стебли сорго содержат 11—12% сахарозы, но кроме того 1—2% иных сахаров (глюкоза) и значительное количество крахмала. Присутствие иных сахаров препятствует получению из сорго кристаллического сахара.

Обычно из стеблей сорго отжимают сок на примитивных прессах и уваривают его до консистенции сиропа (так называемый «бекмес»). Сироп имеет приятный сладкий вкус.

Сорго — растение засухоустойчивое. Поэтому более широкое распространение его культуры весьма желательно (в Поволжье, в Туркестане; были удачные опыты посевов сорго даже в Кулундинской степи Алтайского края).

Сахарный клен — дерево, в соке которого содержится 2—3,5% сахара. Сок добывается путем подсочки (надрезы на коре дерева). Сок бесцветен, имеет приятный вкус. Его фильтруют и выпаривают до консистенции сиропа без всякой очистки. Производство сиропа из клена встречается в США.

В соке обычного клена в СССР также содержится до 3% сахара. Кроме того, и в соке березы имеется сахар (1%). Таким образом вполне возможно получение кленового и березового сиропов. Сырье как будто почти бесплатное; на самом же деле оно обходится довольно дорого, так как его приходится собирать понемногу, вручную, в лесу; кроме того это сырье нетранспортабельно. На выпаривание сока надо затрачивать большое количество топлива, так как приходится пользоваться самой примитивной аппаратурой (огневая выпарка однократного действия на противнях). Более сложное и совершенное оборудование не окупается, так как сок собирается лишь в краткий период весеннего движения соков.

Крахмальная патока и глюкоза. Путем осахаривания картофельного или кукурузного крахмала кислотой (серной, соляной) получается или сладковатая густая патока белого цвета или даже мелкокристаллический сахар — глюкоза.

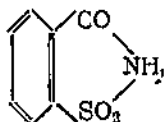
Осахаривание крахмала можно также производить при помощи диастаза (солода), превращая его в сахар — мальтозу. Таким образом получается мальтозная патока.

Производство всех этих продуктов излагается в специальной литературе.

Здесь следует лишь отметить, что все продукты осахаривания крахмала высоко стоят по своей питательности, имеют прекрасный вкус, но недостаточно сладки: глюкоза имеет лишь 60% сладости сахарозы; мальтоза еще менее сладка. В отношении сладкого вкуса они, следовательно, не могут конкурировать со свекловичным сахаром.

Искусственные сладкие вещества. Кроме сахарозы и других углеводов, сладким вкусом обладает много различных веществ, не имеющих с углеводами ничего общего, не имеющих также и никакой питательности. Таким образом их можно рассматривать лишь, как суррогаты сахара. Наиболее известными из таких суррогатов являются сахарин Фальберга и дульцин.

Сахарин имеет формулу:

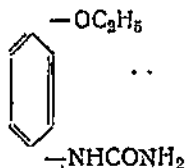


т. е. является имидом ортосульфобензойной кислоты.

Это — кристаллическое вещество, слабо растворимое в воде (0,33%), интенсивно сладкого вкуса (в 500 раз слаще сахарозы). Применяется также порошкообразно более растворимая натриевая соль сахарина (кристаллоза).

Никакого вредного влияния на организм человека сахарин, потребляемый в малых количествах, не обнаруживает.

Дульцин



т. е. пара-этоксифенилкарбамид.

Он представляет собой также кристаллы, плохо растворимые в воде (0,14%). Сладость его в 200 раз больше, чем у сахарозы. Вкус его более чист и приятен, чем вкус сахарина. Безвредность.

дульцина также твердо установлена (при содержании его в пище не выше 0,35%).

Производство сахарина и дульцина сильно возросло за годы первой мировой войны для компенсации недостатка в сахаре. За 1917—1919 гг. в странах Западной Европы было выработано свыше 1 тыс. т сахарина и дульцина. В Америке производство заменителей сахара не прекращалось и в послевоенные годы.

Искусственные сладкие вещества можно было бы использовать для повышения сладости крахмальной патоки (глюкозной и мальтозной); таким образом эта патока, имеющая высокую питательную ценность, приобрела бы и сладкий вкус.

Кроме перечисленных искусственных сладких веществ, получивших широкое распространение, известно очень много и других. Проф. Н. Е. Логинов насчитывает их 232 (68 углеводов и 164 вещества ароматического ряда вместе с неорганическими); сам проф. Логинов, установив ряд закономерностей, определяющих сладкий вкус, открыл весьма много новых искусственных сладких веществ, даже значительно превосходящих сахарин по сладости.

II. САХАРНАЯ СВЕКЛА

1. КУЛЬТУРА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

1. БОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Свекла (*Beta vulgaris*) является одним из видов ботанического семейства маревых (*Chenopodiaceae*).

К семейству маревых относятся также лебеда, шпинат, солоники, саксаул и ряд других растений. Это—в большинстве травянистые растения, типичные ксерофиты (засухоустойчивые) сухих солончаковых степей и пустынь, многие из них встречаются по морским побережьям и вообще на засоленных почвах.

Культура свеклы существовала уже в глубокой древности, за 2 тыс. лет до нашей эры, в долинах Тигра и Евфрата. В пищу употребляли, однако, лишь листья и вывели сорт богатой листьями свеклы (лиственный направленный). Финикийцами за тысячу лет до нашей эры эта свекла была завезена в Грецию. Позже она попала в Рим и наконец вообще в Западную Европу (в I в.). По берегам Средиземного моря также встречается в диком виде местная сахаристая свекла *Beta maritima*.

Свекла корнеплодного типа (выращиваемая ради ее корня) культивировалась в арабских халифатах и во времена крестовых походов перенесена в Западную Европу. Путем гибридизации всех этих разнообразных форм свеклы и образовались те сорта ее, которые оказались в Европе во времена Маргграфа и Ашара.

В Киевскую Русь свекла попала из Византии в IX—X в. Поэтому и самое слово «свекла» имеет греческое происхождение (по-гречески *svekle*, а по-латински *beta*).

Ашар совершенно правильно прежде всего обратил внимание на выбор наиболее пригодного для сахарного производства сахаристого сорта свеклы (им было испытано 22 сорта).

Он нашел, что сорта свеклы желтой и особенно с красной кожурой менее сахаристы (если же и мякоть не белая, а с красными кольцами, то сахаристость еще меньше). Самой же сахаристой оказалась белая силезская свекла конической формы с белой кожурой и с белой мякотью.

Ашар уже производил примитивную селекцию белой силезской свеклы по внешним признакам.

Вильморен вывез семена силезской свеклы во Францию и здесь развернул работу (в первой половине XIX в.) по селекции свеклы, причем применял отбор по удельному весу, пользуясь соляным раствором, что уже ранее практикова-

лось для селекции картофеля (богатая сахаром свекла тонула в соляном растворе определенной концентрации, а бедная сахаром — всплывала).

В Германии селекцией свеклы занялся Раббетте в Клейнванцлебене, который с семидесятих годов прошлого столетия начал пользоваться для этого подрифметром. Кроме того при селекции Раббетте обращал внимание не только на сахаристость, но и на форму и вес корней свеклы (т. е. на урожайность).

Путем селекции, т. е. отбора, из белой силезской свеклы, изменявшейся Ашаром и содержащей лишь 7—10% сахара, постепенно образовалась современная сахарная свекла со средним содержанием сахара 16—18%.

2. БИОЛОГИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Сахарная свекла — растение двухлетнее: в первый год развития из семени вырастает лишь корень и листья, но не образуется



Рис. 4. Свекла 1-го года жизни



Рис. 5. Свекла 2-го года жизни

семени (рис. 4); во втором году из перезимовавшего корня вновь вырастают листья, образуются цветоносные стебли высотой 1,5—2,0 м, цветы и семена (рис. 5).

Для производства сахара применяются исключительно корни первого года развития свеклы.

Семена свеклы представляют собой клубочки — соплодия размером меньше горошины и весом около 0,05 г. Клубочки состоят из рыхлой губчатой ткани, в которой гнездятся несколько семечек

(2—3 и больше). Семечки весьма малы, продолговатой формы, до 3 мм в длину. Они имеют плотную буро-красную оболочку. Большая часть семени занята зародышем, в котором уже можно различить корешок, почку и две семядоли. Семя содержит питательные вещества (крахмал) для прорастающего растения. Однако этих веществ в столь мелком семечке очень мало. Поэтому приходится при посеве семя свеклы заделывать в землю весьма неглубоко (3—4 см), иначе росток не пробьется на поверхность земли.

При прорастании к семечку необходимо подводить из земли влагу. Клубочек семян поглощает до 150—170% влаги от веса. Вероятное назначение рыхлой ткани клубочка именно в том, чтобы удерживать и регулировать количество влаги около семечек.

При нормальной температуре (8—9°) семена свеклы прорастают дней через 8. Через 10—14 дней после посева появляются всходы свеклы: сначала «вилочка», т. е. пара семядолей, затем настоящие листья, образующиеся из почки (первая пара листьев, вторая пара и т. д.).

С появлением второй пары листьев начинает утолщаться корешок свеклы, и постепенно образуется корнеплод, который является складом питательных веществ, обеспечивающим быстрое развитие растения во второй год вегетации.

Корнеплод имеет веретенообразную форму (рис. 4). С двух сторон веретена расположены по спирали углубления — бороздки. Из этих углублений растут тонкие корешки с корневыми волосками, при помощи которых растение получает из почвы влагу и растворенные питательные вещества (соли, азотистые соединения). Корешки весьма широко и глубоко распространяются в почве (даже до 2,5 м в глубину). Поэтому свекла и является довольно засухоустойчивым растением. Растворы солей движутся внутри корнеплода свеклы по сосудисто-волокнистым пучкам к листьям. Также по особым сосудистым пучкам передвигаются в корень образовавшиеся в листьях углеводы. На поперечном разрезе корня свеклы видны кольца, по которым расположены сосудисто-волокнистые пучки (рис. 6). Таких колец бывает 10—12 и более. Чем их больше, чем гуще они расположены, тем сахаристее свекла.

Микроскопическое строение корня сахарной свеклы можно видеть на рис. 7, где дан продольный, радиальный и поперечный разрез наружной части корня. Корень состоит из множества микроскопических клеточек, которые бывают различных видов и образуют разнообразные ткани. На самой наружной поверхности видна перидерма, или наружная кожица свеклы, состоящая из плотных непроницаемых для влаги опробковевших клеток. Далее внутрь корня идет ткань коры, затем волокнистая ткань коры и наконец основная паренхимная ткань, т. е. ткань из кругловатых, а не продолговатых клеток, содержащая в своих вакуолях главную массу сахарного сока свеклы. Эта ткань перемежается с вытянутыми клетками сосудистых пучков и лубяных волокон, придающих корню большую прочность.

Строение клеток паренхимы свеклы показано на рис. 8. Клетка имеет оболочку, или клеточную стенку, состоящую из целлюлозы, гемицеллюлозы и пектиновых веществ. Затем внутри клетки расположен слой протоплазмы (белковых веществ), в котором нахо-

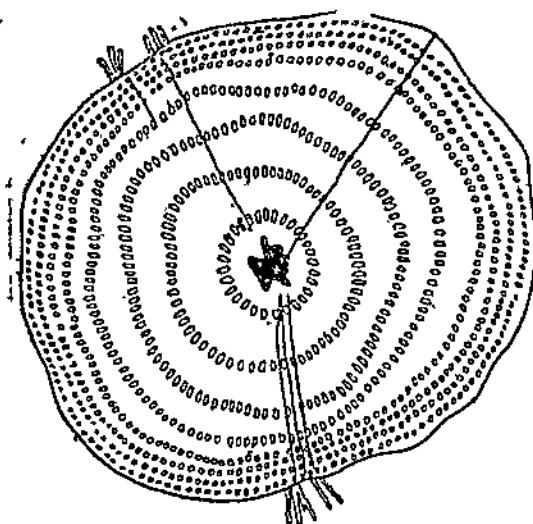


Рис. 6. Поперечный разрез свеклы

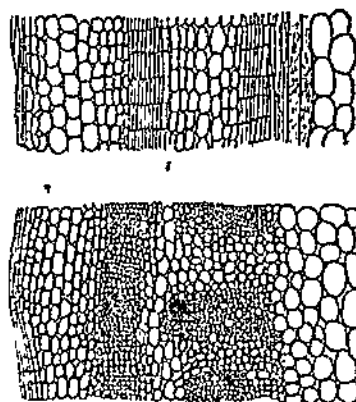


Рис. 7. Продольный и поперечный разрезы тканей корня свеклы

дится клеточное ядро. Протоплазма охватывает так называемую вакуоль — внутреннюю часть клетки, заполненную клеточным соком, т. е. водным раствором сахарозы и различных примесей («несахаров»). Слой протоплазмы не пропускает через себя ни сахара, ни несахаров клеточного сока. Из кусочка свежей свеклы невозможно выщелочить сахар холодной водой. Но это легко сделать, если свеклу сначала нагреть до температуры свертывания белков протоплазмы: протоплазма, распавшаяся на отдельные сгустки, уже не мешает диффузии сахара. Из мороженой свеклы сахар также легко извлекается водой, так как при замораживании протоплазма свертывается.

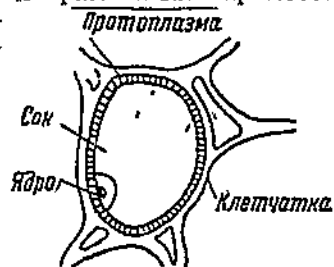


Рис. 8. Строение клетки паренхимы свеклы

Распределение сахарозы в корне свеклы показано на рис. 9. Место наибольшей сахаристости свеклы отмечено цифрой 100, а другие цифры указывают количество сахара в соответствующих местах корня свеклы в процентах от максимальной сахаристости. Распределение сахара в свекле далеко не равномерно. Количество его понижается в направлении головки свеклы и меньше падает к

хвостик. Одновременно с уменьшением количества сахара в головке свеклы мы всегда имеем увеличение количества несахаров (азота, особенно золы) и, следовательно, пониженную доброкачественность сока (77—78).

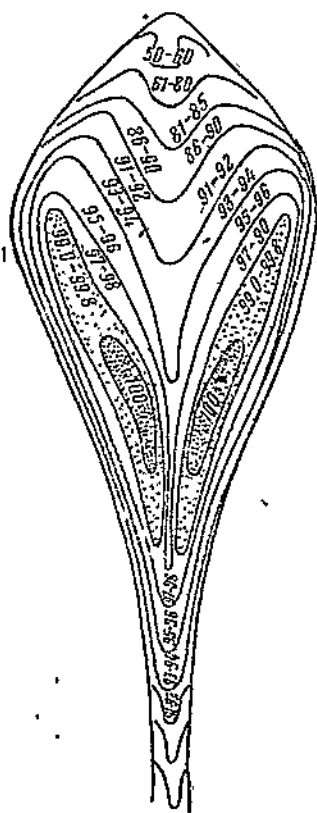


Рис. 9. Распределение сахарозы в корне свеклы

За первый год своего развития сахарная свекла образует около 80 листьев яркозеленого цвета, так как в клетках листьев содержится много зерен хлорофилла. Они и представляют собой те природные лаборатории, где синтезируются углеводы.

Углеводы в листьях образуются под влиянием солнечного света из углекислоты, содержащейся в воздухе, и из воды. По старой теории Байера, первым продуктом ассимиляции является формальдегид: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCHO} + \text{O}_2$. Это процесс эндотермический, поэтому для осуществления его и требуется энергия солнечного света.

Далее молекулы формальдегида немедленно конденсируются, образуя гексозу (глюкозу, фруктозу): $6\text{HCHO} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Моносахара по сосудистым пучкам из листьев перемещаются в корень свеклы, где из них под влиянием фермента сахаразы (инвертин, инвертаза) синтезируется сахароза. Поэтому в листьях свеклы содержится много моносахаров (от 1 до 3,5%), тогда как в корне свеклы имеем сахарозу и лишь очень мало (0,1%) моносахаров.

3. УСЛОВИЯ КУЛЬТУРЫ СВЕКЛЫ

Для успешной культуры сахарной свеклы требуется климат, который обеспечивал бы достаточное количество света, тепла и влаги. Безморозный вегетационный период должен быть 150—180 дней. Сумма температур воздуха за этот период должна в среднем составлять 2500°, а количество осадков в год — в среднем 450—600 мм. Желательно более обильное выпадение осадков, особенно с половины июня до начала августа. Осень (сентябрь — октябрь) желательна сухая для облегчения уборки и вывозки свеклы.

Однако культура свеклы оказалась вполне возможной и в несколько более жестких условиях, например в Алтайском крае, где вегетационный период длится всего лишь 134 дня, но зато имеется высокая интенсивность солнечного сияния. В Киргизии и

Казахстане имеется лишь 200—240 мм осадков за вегетационный период, но культура свеклы при искусственном дополнительном орошении дает блестящий результат, так как имеются большое количество тепла и длинный вегетационный период.

Супесчаные (легкие) почвы мало пригодны для свеклы, как и тяжелые глинистые почвы. Лучшие всего для свеклы почва, средняя между легкой и тяжелой, т. е. так называемый суглинок. Кроме того, пригодный для свеклы суглинок должен содержать: 1) много перегноя (гумуса), 2) достаточно извести, 3) достаточно питательных солей и 4) иметь хорошую структуру.

Перегной весьма важен для свеклы, так как он содержит необходимые азотистые вещества и соли. Кроме того, он удерживает и сохраняет много влаги и, связывая частицы почвы, придает ей благоприятную мелкокомковатую структуру. Содержащие много гумуса почвы называются черноземами.

Наоборот, распыленная бесструктурная почва мало пригодна: она легко испаряет влагу, которая свободно поднимается в ней по капиллярным ходам к поверхности земли и, наоборот, в нее с трудом проникают воздух и вода (образует на поверхности почвы лужи и стекает по уклону); на ней легко после дождя образуется плотная корка, мешающая развитию растений.

Известь в виде CaCO_3 также важная составная часть почвы. Именно она совместно с перегноем (кальциевые соли гуминовых кислот) придает надлежащую структуру почве. Кроме того, она нейтрализует кислоты почвы. Следует заметить, что кислые болотные и торфяные почвы совершенно не пригодны для свеклы.

Свекла содержит около 0,15—0,20% азота, 0,25% окиси калия и 0,09% фосфорной кислоты. Эти необходимые для роста свеклы вещества — азот, фосфор и калий (N, P, K) — должны содержаться в почве в достаточном количестве.

Редко можно встретить почву, удовлетворяющую всем требованиям свекловичной культуры; кроме того, и наилучшая почва постепенно утратила бы свои свойства, если не заботиться о их сохранении и улучшении. Для этого применяют всевозможные удобрения и надлежащий севооборот.

Для повышения количества перегноя и для улучшения структуры почвы применяют удобрение навозом и вводят в севооборот травы. Для кислых почв применяют удобрение получаемой с сахарного завода дефекационной грязью (CaCO_3), вследствие чего почвы становятся пригодными для свеклы.

Навоз не только улучшает структуру почвы; он является так называемым полным удобрением, т. е. содержит и азот и все необходимые соли (P, K). Однако все эти питательные вещества навоз отдает медленно, постепенно разлагаясь. Поэтому для получения современных высоких урожаев свеклы совершенно необходимы быстро действующие дополнительные минеральные удобрения: азот дается в почву в виде натронной селитры или сульфата аммония, фосфор — в виде суперфосфата (кислая монометаллическая фос-

«фосфорнокальциевая соль) или фосфоритной муки (средняя фосфорно-кальциевая соль; она действует медленнее, так как не растворима в воде и годится лишь для кисловатых почв). Калий дается в почву в виде сильвинита (смесь хлористого калия и натрия и других калийных солей). Обычно почвы более богаты солями калия, и поэтому часто ограничиваются лишь фосфорным и азотным удобрением.

Вопросу об удобрениях для свеклы особенно большое внимание посвящают стахановцы свекловичных полей, например Мария Демченко и др., которым удалось получать рекордные урожаи свеклы в количестве 500, 1000 и даже более центнеров с гектара вместо прежних обычных 150—200 ц. Кроме навоза они ввели в практику использование ряда других, еще более ценных местных удобрений (навозная жижа, моча, фекалии, птичий помет, зола). Кроме удобрений до и во время посева, стахановцы широко применяют дополнительное удобрение во время роста свеклы в периоды наибольшей потребности растения в питании (так называемую «подкормку»).

Эффективное применение удобрений не должно быть шаблонным: необходимо дозировку удобрений согласовывать с индивидуальными особенностями и потребностями почвы. Следует избегать односторонних удобрений. Например чрезмерное обогащение почвы одним лишь азотом, особенно в конце развития свеклы, может вызвать понижение качества свеклы и замедленное созревание ее. Для ускорения развития свеклы в первый период после посева большое значение имеет фосфорное удобрение, которое обычно и высевается «в рядки» одновременно с рядовым посевом свеклы.

Вообще по времени применения различают три типа минеральных удобрений: 1) основное удобрение дается обычно при вспашке поля с осени, 2) удобрение в рядки — при посеве; 3) удобрение для подкормки — во время роста, в междурядьях.

Роль удобрений для получения высоких урожаев сахарной свеклы в сравнении в этом отношении свеклы с другими растениями видна из табл. 2.

Таблица 2

Потребность сахарной свеклы, пшеницы и ржи в удобрениях
(в кг на 1 га)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Можно взять из почвы на мощном черноземе	95	45	300
При урожае свеклы в 300—350 ц/га необходимо	131	49	170
" " " " 1000	425	170	625
" " озимой пшеницы 24 " "	70	30	50
" " озимой ржи 24 " "	55	35	63

Как видим, питательных веществ лучшей почвы далеко не достаточно для получения хорошего (300 ц) урожая свеклы, а тем более рекордного стахановского урожая (1000 ц). Следует заметить также, что хороший (300 ц) урожай свеклы берет из земли приблизительно в два раза больше питательных веществ, чем хороший урожай пшеницы.

Количество даваемых минеральных удобрений зависит от ряда условий (плодородия почвы, размера урожая, количества местных удобрений). Для ориентировки могут служить следующие данные о количестве применяемого на 1 га минерального удобрения на мощных черноземных почвах (в кг):

	Удобрение	
	основное	в рядки
N	30	10
P ₂ O ₅	50	20
K ₂ O	30	10

4. МЕТОДЫ КУЛЬТУРЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

а) Место сахарной свеклы в севообороте. Обычное место свеклы в севообороте — после озими, иногда — после трав. И в том и в другом случае уборка урожая происходит достаточно рано, и имеется полная возможность произвести осеннюю подготовку почвы для свеклы. Для озими в севообороте обычно готовят чистый пар и, следовательно, дают навоз (его вывозят на поле еще зимой по 18—30 т на 1 га, весной же в паровом поле его распределяют и заделывают). Заделанный в почву навоз повышает урожай в течение нескольких лет. Поэтому и свекла, идущая за озимой пшеницей, также использует навозное удобрение. Если озимь, предшествующая свекле, не была удобрена, то навоз дают непосредственно под свеклу (он вывозится на поле после осенней вспашки).

Для примера можно привести следующие типичные севообороты со свеклой.

Семипольный севооборот: 1) пар чистый, 2) озимь, 3) свекла, 4) яровые, 5) травы, 6) озимые, 7) яровые.

Шестипольный севооборот: 1) пар занятый, 2) озимь, 3) свекла, 4) яровые, 5) травы, 6) свекла и озимь.

б) Осенняя подготовка почвы состоит из лущения и глубокой вспашки.

Лущение — рыхление почвы на небольшую глубину (8—10 см). Оно имеет целью уничтожение растений, имеющихся на поле, ускорение всходов семян сорняков (чтобы эти всходы уничтожить затем при вспашке) и сохранение и накопление влаги в почве. В плотной почве влага по тонким капиллярам выносится (как по

фитиллю) из глубинных слоев на поверхность, откуда и теряется, испаряясь в воздух. После лущения в рыхлом поверхностном слое эти тонкие капилляры оказываются нарушенными, и влага теряется гораздо меньше. Наоборот, вода дождей легко поглощается рыхлым слоем и передается в глубину почвы. Во избежание излишней потери влаги лущение производится как можно раньше, сразу после уборки озими, т. е. в конце июля — первых числах августа. Лущение, не позволяя земле пересохнуть, облегчает также следующую глубокую вспашку.

Глубокая осенняя вспашка необходима для максимального накопления осенью и весной запасов влаги в почве. Кроме того при вспашке уничтожаются вредные после лущения сорняки и выносятся из глубинных слоев почвы органические вещества, которые, разлагаясь, дают питательные вещества для свеклы. Вспашку производят в конце августа плугами на глубину 25—28 см.

в) Предпосевная обработка и посев. Раннее весеннее рыхление почвы производят, как только земля перестанет мазаться. Это рыхление выполняют боронованием в два следа поперек направления осенней вспашки. Ранняя обработка нужна для выравнивания и разрыхления поверхности поля, чтобы уменьшить потерю влаги из глыб, образовавшихся при пахоте; предупреждается также весьма вредное засыхание выдающихся вверх углов этих глыб: такие засохшие куски потом уже весьма трудно разрыхлить.

Непосредственно перед посевом производят еще одно рыхление и окончательную подготовку почвы. Для этого пускают культиватор, который рыхлит землю на 8—10 см, но не переворачивает ее, что могло бы почву и принести бы лишь вред. Следом за культиватором идет тяжелая зубчатая борона, разбивающая комья и выравнивающая борозды, оставленные культиватором. Наконец, пропускают легкую борону. Все эти орудия идут непосредственно друг за другом. После них получается ровная поверхность поля, сорняки уничтожены, взрыхлен слой на 10 см, а поверхностный слой имеет мелкокомковатую структуру. Это предохраняет от потери влаги и ускоряет прорастание семян.

Немедленно за предпосевной обработкой, чтобы не терять влаги, производят посев свеклы рядовой сеелкой. Величина междурядий — 44,5 см; глубина заделки семян 2—3 см для тяжелых и 3—4 см — для средних почв. При меньшей глубине заделки зерно получает слишком мало влаги из почвы; при большей же глубине росток не может пробиться до поверхности земли и гибнет: ему не хватает запаса питательных веществ, содержащихся в столь маленьком зерне свеклы. Количество высеваемых семян — 30 кг на 1 га (при всхожести 70%). Это дает в 15—20 раз более ростков, чем требуется. Избыток необходим, так как много ростков может погибнуть от вредителей, болезней, плохой погоды. Избыток нужен также, чтобы при прорывке можно было выбрать и оставить лучшие растения.

К семенам предъявляются следующие требования: цвет — светлокориновый (зеленоватый оттенок бывает у незрелых семян); в 1 г — не более 40 семян; мелочи и сору — не более 3% (семян сорняков совсем не должно быть); содержание влаги — не более 14%; всхожесть — не ниже 70%, т. е. из 100 клубочков через 14 дней прорастает не менее 70 (а число ростков должно быть не меньше 140).

Иногда семена за 4—5 дней до посева замачивают водой, что ускоряет всходы. Еще больший эффект дает яровизация семян (по акад. Лысенко), т. е. замачивание и проращивание семян в течение 12—14 дней перед посевом (но чтобы они проросли в количестве не более 10%, что регулируется температурой). Яровизация ускоряет всходы на 4—5 дней и повышает урожай свеклы.

Как уже указано выше, посев производится так называемыми комбинированными сеялками, которые одновременно с семенами высевают в рядки и минеральные удобрения (особенно суперфосфат, ускоряющий развитие свеклы).

Время посева свеклы — приблизительно первая половина апреля (зависит от условий погоды и состояния почвы). Запоздание с посевом приводит к резкому снижению урожая.

г) Уход за плантацией. Нормально всходы свеклы появляются через 10—14 дней после посева.

Если за это время пройдет сильный дождь, а затем наступит ветреная погода, то на тяжелых почвах появляется корка, затрудняющая всходы. Ее необходимо разбивать, прокатывая поле зубчатыми или кольчатыми катками.

Немедленно по появлении всходов проводят шаровку, т. е. рыхление междурядий свеклы на глубину 3—4 см. Это имеет целью сохранение влаги в почве, уничтожение сорняков и улучшенный доступ воздуха в почву.

Когда, кроме «вилочки» (семядоли), появится уже первая пара настоящих листьев свеклы, приступают к прорывке, т. е. к удалению всех излишних растений, оставляя лишь по одному растению через каждые 18 см. С этой работой нельзя запаздывать, так как тесно посаженные растения мешают друг другу развиваться. Прорывка состоит из двух операций:

1) прорезки, или букетировки, выполняемой культиватором, у которого лапки поставлены на расстоянии 18 см; его пускают поперек рядков для удаления большей части излишних свекловичных всходов, причем одновременно уничтожаются сорняки и рыхлится почва на 3—4 см; после работы культиватора остаются все же не отдельные растения свеклы, а «букеты» их;

2) разборки букетов, которую производят уже вручную; при этом оставляют по одному лучше развившемуся растению на каждые 18 см. Таким образом при междурядьях в 44,5 см и промежутках в рядках в 18 см на 1 га остается 120—125 тыс. растений.

Следом за прорывкой проводится проверка свеклы, т. е. удаление случайно оставшихся лишних растений и одновременно рыхление почвы на 6—7 см и уничтожение сорняков. Прорывка занимает около 10 дней и проверка — 6—8 дней (все эти операции заканчиваются не позже 30—35 дней после появления всходов).

Дальнейший уход за свекловичной плантацией сводится к прополкам и рыхлениям междурядий.

Прополки проводят по мере надобности; своевременность прополок имеет большое значение, так как сорняки весьма вредны: они заглушают свекловичные всходы, поглощают питательные вещества и влагу из почвы, отнимая их у свеклы.

Рыхления (мотыжения) выполняются механически и также имеют важное значение: рыхлая почва меньше теряет влаги путем испарения и, наоборот, легче впитывает дождевую влагу, воздух имеет больше доступа в почву, что ускоряет рост свеклы; кроме того при рыхлениях также уничтожаются сорняки. Обычно после проверки свеклы проводят 3—4 мотыжения на глубину 7—10 см. В этот же период и подкармливают свеклу местными и минеральными удобрениями, вносимыми в почву в виде раствора специальными машинами.

Обработка плантаций свеклы продолжается до тех пор, пока разросшиеся растения не закроют междурядия и не сделают дальнейшую работу невозможной.

д) Уборка свеклы. В первый период развития свеклы растут главным образом листья, корень же по весу оказывается меньше листьев. В половине августа вес листьев обычно достигает максимума. В дальнейшем наружные листья начинают постепенно увядать и желтеть, корень же продолжает все еще энергично развиваться и по весу становится тяжелее всех листьев. В сен-

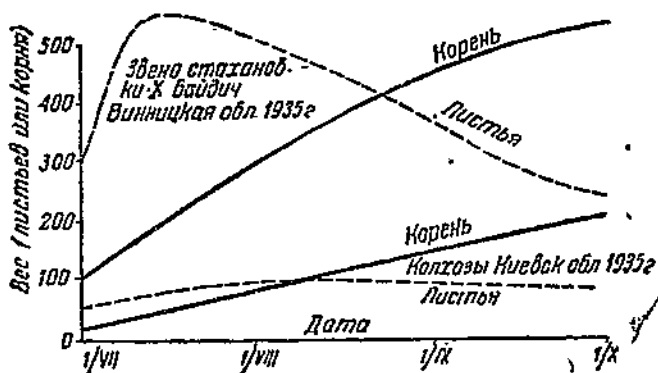


Рис. 10. Ход развития сахарной свеклы

тябре вес корня обычно уже в два раза больше веса листьев. Когда листья начинают желтеть, а корень оказывается в два раза тяжелее листьев, считают, что свекла созрела в техническом отношении, т. е. для переработки на заводе.

Ход развития свеклы и листьев виден из табл. 3 и из диаграммы (рис. 10).

Таблица 3

Ход развития листьев и корня сахарной свеклы
(вес в г)

		Сроки наблюдения									
		1/VII	10/VII	20/VII	1/VIII	10/VIII	20/VIII	1/IX	10/IX	20/IX	1/X
По колхозам Киевской обл., 1935 г.	Ботва	52	71	86	95	101	94	94	97	93	84
	Корень	17	31	52	79	107	129	154	176	197	208
Звено Х. Вайдич Винницкой обл., 1935 г.	Ботва	263	552	547	493	493	421	352	304	270	249
	Корень	105	184	238	350	350	405	457	498	530	542

Однако при определении срока начала копki свеклы приходится учитывать не только спелость свеклы, но и срок пуска завода и возможность провести уборку урожая свеклы до наступления устойчивых морозов. Поэтому начало уборки свеклы для каждого года и для каждой области обычно устанавливается специальным правительственным распоряжением.

Раньше выкапывали свеклу вручную, что было тяжелой работой. Теперь для освобождения корня от связи с почвой применяют свеклоподъемники с тремя подкапывающими лапами, которые подкапывают сразу три рядка свеклы на глубине 18—20 см. В тот же день, чтобы свекла не успела завянуть, ее вручную выбирают из подкопанных рядков и собирают в кучи и затем окончательно очищают корни от земли и обрезают ботву.

При чистке свеклы удаляют все корешки и пристающую к корням землю. Это делается не острой, а тупой стороной ножа, чтобы не ранить боковую поверхность корня, так как такие раны с трудом заживают и корень легко загнивает. Если обнаруживаются при очистке гнилые части корня, то их обрезают до здоровой белой мякоти. Кроме того обрезают хвостик свеклы так, чтобы оставшийся конец был толщиной около 1 см (толщина карандаша).

Ботву обрезают вместе с верхним слоем головки свеклы, чтобы удалить все основания листьев с сидящими там почками (глазками), иначе при хранении почки прорастут, причем усилятся дыхание корня и увеличатся потери сахара. Ранее ботву удаляли вместе с головкой свеклы одним ударом ножа. В настоящее время требуется обрезка «на конус» — четырьмя или пятью ударами ножа, чтобы обрезать со всех сторон листья, но сохранить головку. Это

на 2—4 ц увеличивает вес собранной с 1 га свеклы. Имеются ботворезки разных конструкций, которые облегчают обрезку свеклы на конус.

За последние годы проведен ряд успешных опытов упрощенной обрезки свеклы по методу агронома Ярмошенко: ботва срезается одним ударом ножа так, что удаляется лишь верхушечная почка, которая легче всего прорастает. Таким образом срезается лишь самая верхняя часть головки (диаметр среза головки не больше 2—3 см). Остальные основания листьев с их почками остаются. Опыты показали, что хотя свекла, обрезанная по способу Ярмошенко, и прорастает, но зато менее загнивает, при хранении; в общем она сохраняется не хуже свеклы, обрезанной на конус. Во всяком случае, для не слишком длительного хранения обрезка по способу Ярмошенко, вероятно, окажется вполне приемлемой. Это очень важно, так как этот метод обрезки, весьма прост, экономит рабочую силу и, кроме того, дает возможность сконструировать свеклокомбайн, позволяющий полностью механизировать все операции по уборке и очистке свеклы.

е) Размеры и форма корня свеклы. Обрезанный на конус корень свеклы изображен на рис. 11. В нем различают три части: 1) головку — верхний тупой конус, на котором сидели листья; 2) шейку — ту часть корня, на которой нет ни листьев ни боковых углублений с тонкими корешками; 3) собственно корень — ту часть, где имеются боковые углубления.



Рис. 11. Обрезанный корень свеклы (головка, шейка, корень)

Обычный вес корня свеклы — 200—500 г, но бывают и более крупные корни, например в 1 кг (даже до 8 кг). От среднего размера корня зависит и урожай свеклы. На 1 га при хорошем уходе сохраняется приблизительно 100 тыс. корней. Следовательно, для урожая в 200 ц с 1 га средний вес корня будет 200 г. Для стахановских урожаев в 500 и в 1000 ц, необходимо иметь средний вес корня в 500 и 1000 г. Старое мнение, будто крупные корни менее сахаристы, опровергнуто стахановской практикой. Менее сахаристы лишь те крупные корни, которые разрослись или вследствие гибели соседних корней или под влиянием одностороннего чрезмерного азотистого удобрения.

Иногда встречаются корни свеклы ненормального строения, неудобного для производства. Сюда относятся например ветвистые корни с несколькими хвостиками; их труднее промывать; кроме того хвостики от них обламываются и теряются в воде мойки. Такие корни развиваются, когда главному корню трудно проникать в почву, т. е. при каменистой почве, при мелкой пахоте, при плохой разделке почвы; получают они также и при неравномерной заделке навоза. Иногда встречаются дуплистые корни с сухими или с мокрыми дуплами; такие корни легко загнивают при хранении; дупла образуются чаще всего во влажные годы и при

неполном насаждении на поле; следовательно, во избежание душлистости нужно следить за равномерностью насаждения, чтобы не оставалось на поле густых мест.

Некоторые корни свеклы уже в первый год развития выбрасывают цветоносный стебель. Такие корни менее сахаристы, кроме того они деревенеют и делаются грубоволокнистыми, и изрезать их трудно (забиваются ножи резки). Причиной появления такой «цветухи» является временная приостановка роста свеклы, например весенние холода, образование корки на поверхности почвы после дождей. За этим нужно следить и возможно скорее разрыхлять образовавшуюся корку.

Свекла новых районов на поливных землях (в Казахстане, Киргизии, Узбекистане) отличается крупными размерами (получаются рекордные урожаи) и высокой сахаристостью, что объясняется обилием солнечного света.

В Алтайском и Минусинском краях урожай ниже нормы, вес листьев при уборке равен или больше веса корня, сахаристость пониженная. Очевидно, здесь сказывается уже краткость вегетационного периода (140 дней); поэтому свекла имеет все признаки не вполне спелой. Однако и количество и качество урожая свеклы здесь можно значительно повысить, применяя для удобрения суперфосфат, ускоряющий развитие и созревание свеклы.

При уборке необходимо отмечать особо незрелую свеклу поздних пересевов. Она плохо сохраняется и должна немедленно поступать в переработку. При уборке также нужно отсортировывать подгнившую, порченную свеклу и не смешивать ее со свеклой, идущей на длительное хранение.

ж) Вредители свеклы. Больших забот и труда стоит борьба с многочисленными вредителями свеклы. Упомянем здесь лишь некоторых из них.

1) Земляные блохи — мелкие (1,5—2,5 мм) прыгающие жучки черного цвета. Они вредят особенно в засушливые годы, нападая на медленно появляющиеся всходы. Главное средство борьбы — оптимальный ранний посев и забота о дружных всходах. Применяют и вылавливание блох на марлевые волокна, а также химические меры (опыливание — опрыскивание ядами).

2) Свекловичный долгоносик (рис. 12) — беловато-серый жук, брюшко покрыто черными точками. В длину — 10—15 мм. Личинка белая мясистая до 15 мм длины. Долгоносик питается почти исключительно свеклой. Жук питается листьями, а личинки — корнями свеклы. Зимует взрослый жук в почве свекловичных полей. Весной, когда температура воздуха ниже 20°, жук перемещается «пешком» на новые свекловичные посевы. Когда делается теплее, начинается перелет жука.

Для уничтожения «пешего» жука старые свекловища — основные рассадники долгоносика — ранней весной окапывают лопачи канавками с колодцами, откуда и выбирают свалившихся туда жуков. Применяют и опрыскивание всходов ядами (раствор хлористого бария, парижской зелени, фтористый натрий и т. п.), а также ручной сбор жука. Очень важен и ранний посев свеклы.



Рис. 12. Свекловичный долгоносик

3) Луговой мотылек — маленькая (25 мм) бабочка со светлорусиновыми передними крыльями, со светлой каемкой и пятнышками и с серыми задними крыльями. Зимуют взрослые гусеницы, окукливающиеся в мае. Бабочка появляется с половины мая. Дает за лето два или три поколения. Бабочка безвредна, вредит гусеница; длина ее — до 35 мм, цвет серо-зеленый с темной полоской вдоль спины, окаймленной извилистой желтой каймой; она объедает листья свеклы. При недостатке пищи в одном месте гусеницы переселяются на соседние участки; иногда они движутся огромными массами (останавливают даже ж.-д. поезд).

Меры борьбы: ранний дружный всход, вылавливание бабочек при помощи особых марлевых волоков; опрыскивание или опыливание ядами; отравленные приманки из свежей травы на пути движения гусениц; раздавливание движущихся гусениц особыми шлейфами из хвороста.

4) Совка (озимая) — ночная бабочка серо-черного цвета; гусеница — зелено-серого цвета; подгрызает черешки листьев свеклы. Бабочку можно вылавливать, расставляя корытца с бродящей патокой.

5) Свекловичная нематода — очень мелкие круглые червячки (до 1 мм в длину). Червячки высасывают сок из тонких корешков свеклы. Для освобождения от нематод вводят в севооборот растения, недоступные для нематоды (рожь и ячмень с последующим посевом кукурузы). На сильно зараженных участках приходится на 6—8 лет прекратить посев свеклы.

6) Свекла страдает также от ряда болезней микробиологического характера. Сюда относятся корневые, поражающий корешок свеклы в самой ранней стадии (3—4 листочка). Дружные ранние всходы обычно не поддаются корневым.

Церкоспороз — бурные пятна на листьях взрослых растений (начинается с крайних листьев). Для борьбы применяют и химические методы, особенно же важно удаление всей ботвы с поля при уборке свеклы (на силос или на компост).

з) Свекловичное семенное хозяйство и селекция. Уже Ашар указал, что успех свеклосахарного производства прежде всего зависит от выбора хорошего сорта свеклы. Он был первым селекционером. Затем в области селекции во Франции выдвинулся Вильморен, а в Германии позже — Гизеке, который начал вести селекцию уже полиметрическим методом. Советские свекловоды показали, что для каждого района свекловодства следует культивировать свои специальные сорта свеклы. Этому делу в Советском Союзе было посвящено большое внимание. Здесь работало 11 селекционных станций и свыше 50 сортоиспытательных участков. Таким образом, например для Украины семена получались от Уладовской, Верхнежской и других станций, для Воронежской области — от Рамонской и для Курской — от Льговской станции.

Селекцию ведут в двух направлениях — сахаристом, с высоким процентом сахара в свекле (сорта Z и ZZ) и урожайном (сорт E — Ertrag). Наконец, возник ряд марок промежуточного или нормального направления (N), стремящегося дать хорошую урожайность при высокой сахаристости. Кроме того при селекции стремятся уже учесть и качество (доброкачественность) сока свеклы; вывести сорта свеклы, дающие меньше «цветухи»; дать сорта, более устойчивые против болезней (церкоспороза, корневого, против кагатной гнили).

От селекционной станции совхозы получают маточные семена наилучшего для данного района сорта свеклы. Эти семена слишком

дороги, и поэтому из них не выращивают непосредственно свеклу для заводской переработки, а предварительно размножают эти семена, получая сначала маточную свеклу (высадки), которую на следующий год высаживают для получения семян.

Прорывают посевы маточных семян с промежутками лишь в 5—8 см (а не 18, как для фабричной свеклы). Поэтому маточная свекла получается мелкой, что удешевляет ее хранение. При обрезке высадков срезают лишь ботву, оставляя основания листьев с почками.

При посадке высадков растения размещают достаточно свободно (70 × 70 см). Получается урожай семян около 10—15 ц с 1 га. Из этих семян в дальнейшем выращивают уже свеклу для заводской переработки. Можно было бы часть этих семян применять вновь для получения высадков и второй генерации семян, но доказано, что при многократном непрерывном простом размножении без применения методов селекции сахарная свекла значительно снижает свою сахаристость — происходит так называемая «регрессия».

2. ХРАНЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

1. ВВЕДЕНИЕ

В дореволюционной России вопрос хранения сахарной свеклы был не столь актуален, так как сахарное производство длилось лишь 90—100 дней. Еще менее актуален этот вопрос для стран Западной Европы в настоящее время, где обычная длительность производства еще меньше (60 дней).

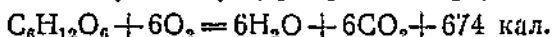
Наоборот, в СССР вопрос хранения сахарной свеклы приобрел первостепенную важность. Посевы и урожай свеклы здесь из года в год быстро увеличиваются. Поэтому, несмотря на строительство новых заводов, нагрузка сырья на каждый завод все более возрастает. Длительность производственной кампании для ряда сахарных заводов СССР уже возросла почти до 200 дней. Это совершенно правильно, так как лучше используется и основной капитал, и труд рабочих и служащих, и снижаются накладные расходы производства. Наоборот, нерационально было старое положение, когда сахарный завод работал лишь 60—100 дней в год, а 300—240 дней стоял.

Но чтобы удлинить сахарное производство до 200 и более дней, пришлось в СССР тщательно изучить вопросы хранения свеклы. Таким образом здесь создана за последние 15 лет новая наука о хранении сырья [18, 25].

2. БИОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ СВЕКЛЫ

Сахарная свекла после уборки и очистки лишена листьев; поэтому прекращен процесс образования и накопления в ней сахарозы; прекращено также поступление в корень влаги из земли. Однако корень продолжает жить. Жизнь проявляется в дыхании корня, которое доставляет энергию, выделяет теплоту.

Дыхание есть процесс окисления сахарозы за счет кислорода воздуха; при этом сахароза сначала распадается на глюкозу и фруктозу (при помощи фермента инвертазы), которые затем окисляются в углекислоту и воду (при участии фермента оксидазы):



Как бы хорошо ни хранили сахарную свеклу, при хранении живых корней ее всегда теряется сахар на дыхание. Интенсивность дыхания и потеря сахара на дыхание зависят от температуры. При низких температурах потери меньше; при повышении температуры

на 10° потери на дыхание увеличиваются почти в 2—2,5 раза, т. е. дыхание, как и большинство других химических реакций, подчиняется (приблизительно) закону Вант-Гоффа. Потеря сахара на дыхание в 1 день в процентах по весу свеклы по нашим определениям следующая:

°C	0	3	5	7	10	12
Потеря	0,0061	0,0070	0,0079	0,0093	0,0136	0,0192

Кроме превращения сахарозы в углекислоту (дыхание), идет превращение ее в какие-то сахара. Поэтому при хранении свеклы полная потеря сахара больше того количества, которое потерялось на образование углекислоты (приблизительно в 1,5 раза).

При анаэробном хранении сахарной свеклы (т. е. без доступа воздуха) количество выделяемой углекислоты уменьшается вдвое, но зато сильно увеличивается превращение сахарозы в какие-то сахара.

Небольшая как будто величина суточных потерь сахара на дыхание дает при длительном производстве весьма значительную суммарную потерю сахара. Например при средней потере 0,01% за 150 дней хранения теряется 1,5% от веса свеклы или около 9% от веса сахара, содержащегося в свекле.

Кроме нормальных неизбежных потерь сахара на дыхание при хранении свеклы в свежем состоянии, всегда имеются потери от микроорганизмов, т. е. от развивающихся на свекле плесеней и бактерий. При самых благоприятных условиях хранения эти потери можно снизить почти до нуля, но при небрежном хранении потери микробиологического характера бурно возрастают и приводят иногда даже к полной гибели огромных количеств свеклы. Поэтому необходимо особенно внимательно изучить условия развития на свекле микроорганизмов и всякими мерами предохранять от них свеклу при хранении.

Убранная свекла не стерильна, наоборот, на ее поверхности вместе с частицами земли имеется множество зародышей всевозможных микроорганизмов. Однако они не развиваются, здоровая свежая свекла не заражается и не заболевает. Она, как и всякий здоровый организм, обладает естественным «иммунитетом» (т. е. защищенностью), оказывает сопротивление развитию болезнетворных зародышей, так как здоровые живые клетки выделяют особые антитела — «лизозимы», убивающие микроорганизмы. Поэтому микроорганизмы вначале могут развиваться лишь на отмерших клетках корня свеклы, которые имеются на пораненных, подмороженных или завядших (подсохших, дряблых) местах. Следовательно, первоначально микробы ведут жизнь сапрофитов (живущих на трупах). Развившись на мертвых местах корня и усилившись здесь,

микроорганизмы начинают поражать и соседние ослабленные живые клетки, т. е. уже начинается разрушительная работа паразитов, развивающихся на живой ткани корня свеклы.

Следовательно, при хранении свеклы важнейшее, решающее значение имеет забота о том, чтобы свекла была в здоровом состоянии и благодаря этому обладала естественным иммунитетом. Никакие искусственные мероприятия против развития микроорганизмов не помогут, если сама свекла утратила естественную способность бороться с ними. Поэтому надо предохранять корни свеклы от ранений. Нужно заметить, что неизбежные ранения при обрезке ботвы и корешка сравнительно легко заживают, но боковые ранения, наносимые при небрежном обращении со свеклой, заживают труднее и легко приводят к загниванию корня. Не менее, чем порезы и царапины, вредят свекле также и ушибы. В ушибленных, помятых местах часть клеток отмирает, и там развиваются микроорганизмы.

При замораживании клетки свеклы также умирают (в них свертывается протоплазма, разрываются стенки клеток). Поэтому подмороженная свекла по оттаивании является прекрасной почвой для развития микроорганизмов и немедленно загнивает.

Нельзя допускать также завядания свеклы, т. е. потери влаги — при этом свекла делается дряблой. Потеря, например, 5—10% влаги кажется как будто не имеющей значения (ведь в свекле очень много влаги — около 75%). На самом деле это чрезвычайно вредно. Дело в том, что влагу теряет главным образом лишь поверхностный слой клеток, и при общей потере веса, например лишь в 5%, из поверхностного слоя уходит, может быть, 50%, что приводит к ослаблению иммунитета и даже к отмиранию поверхностных слоев клеток, на которых при этом пышно развивается плесень. Развитию плесени способствует также и то обстоятельство, что между подсохшими и уменьшившимися в объеме клетками поверхностного слоя оказываются пустые пространства, заполненные воздухом.

Свекла при хранении страдает от двух групп микроорганизмов — от плесеней и от бактерий. Первоначально развиваются обычно плесени, требующие для своего развития воздуха и поэтому образующие колонии на поверхности корня свеклы. Постепенно плесени разрушают плотную ткань кожицы свеклы и дают доступ гнилостным бактериям к внутренним частям корня, где они и развиваются. Для их жизни отсутствие воздуха даже полезно (анаэробы).

Плесени и бактерии различно относятся и к реакции среды. Плесени обычно сами образуют кислоты, окисляя сахар кислородом воздуха, поэтому они лучше развиваются в кислой среде и не могут развиваться в щелочной. Гнилостные бактерии, наоборот, имеют оптимум своего развития в щелочной, а не в кислой среде.

Из плесеней, поражающих сахарную свеклу, следует отметить *Botrytis ci* *negea*, *Phoma betae*, *Rhizopus betavora*.

Botrytis обладает способностью прорывать пробковый поверхностный слой кожицы свеклы; питанием для него могут служить любые углеводы, содержащиеся в свекле, даже клетчатка. Сбраживая углеводы, *Botrytis* образует много щавелевой кислоты путем окисления кислородом воздуха. Поэтому он может развиваться лишь при доступе воздуха (безусловный аэроб). Оптимальной реакцией для *Botrytis* является $pH = 4,5$. Он совершенно не переносит щелочной среды. В присутствии извести и даже мела он не может развиваться, так как нейтрализуется кислота; кроме того грибок не переносит и самого иона кальция (может быть, потому, что он осаждает из раствора щавелевую кислоту).

Botrytis — один из обычных плесневых грибов, развивающихся на завядшей свекле; он дает так называемую бурую, сухую гниль корня.

Phoma betae также питается почти всеми углеводами свеклы (кроме клетчатки). Оптимум развития — при слабощелочной среде ($pH = 6,5$). *Phoma betae* — опасный для свеклы паразит, который вызывает так называемую черную сухую гниль; грибок особенно легко поражает свеклу при недостатке в почве бора.

Rhizopus betavora может хорошо развиваться и в нейтральной среде и в отсутствие воздуха.

Из бактерий, чаще всего портящих свеклу, можно назвать *Bacterium betae viscosum* и *Bacterium betae flavum*. Они вызывают так называемый «слизистый» бактериоз свеклы. Наилучшее раз — $0,2$ — $0,4$ или даже больше, чем в свекле — $7,2$, т. е. при весьма слабощелочной реакции. Интересно, что в присутствии мела резко усиливается развитие слизистых бактерий свеклы (вероятно, мел связывает и обезвреживает какие-либо продукты обмена, выделяемые бактериями). Из корней свеклы, пораженных слизистым бактериозом, вытекает бесцветная мутноватая слизь. Такое же ослизнение вызывают эти бактерии, развиваясь в соке свеклы. Для своего развития эти бактерии не требуют присутствия воздуха. Кроме сахарозы и инвертного сахара, слизистые бактерии усваивают также и пектиновые вещества и пентозы. Среди продуктов их брожения найдена молочная кислота. Ткань пораженного бактериями корня свеклы делается слизистой и приобретает серый или бурый цвет.

Протеолитические бактерии (т. е. разлагающие белки) не играют заметной роли в гниении свеклы, вероятно, потому, что свекла содержит мало белков.

Наилучшая температура для развития плесени и бактерий на свекле — 25 — 30° . Чем температура ниже, тем медленнее идет развитие микроорганизмов. Поэтому и следует хранить свеклу при возможно низкой температуре (около 0°).

Итак, биологические и микробиологические факторы требуют соблюдения следующих условий при хранении сахарной свеклы:

1) возможно низкая температура хранения, так как это снижает потери сахара на дыхание и задерживает развитие микроорганизмов; однако температура ни в коем случае не должна опускаться ниже 0 , чтобы не подморозить свеклу;



Рис. 13. Плесени, поражающие сахарную свеклу: а — *Botrytis*; б — *Fusarium*; в — *Rhizopus*; г — *Phoma* (пикнидия)

2) применение всех мер к сохранению свеклы в здоровом состоянии с неослабленным естественным иммунитетом, чтобы в корне свеклы не было отмерших частей, легко подвергающихся гниению; для этого нужно избегать ранений и ушибов свеклы, не допускать подмораживания, не допускать потери влаги свеклой и увядания ее;

3) тщательная сортировка свеклы: ненадежную (незрелую, подмороженную, завядшую, заплесневевшую, загнившую, дуплистую) свеклу ни в коем случае не применять к свежей, складываемой для длительного хранения, чтобы не вносить очагов заразы и гниения.

3. ТЕХНИКА ХРАНЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В СВЕЖЕМ СОСТОЯНИИ

Уборка свеклы. Заботы о хранении свеклы начинаются уже при ее уборке. Порядок уборки, план ее намечается в зависимости от зрелости свеклы на отдельных полях: более зрелую свеклу убирают раньше.

При подкопке и очистке свеклы стараются, по возможности, не наносить ей ранений: свеклоподъемник должен идти достаточно глубоко, чтобы не перерезать корней свеклы; очистка от мелких корешков и от земли производится не острой, а тупой стороной ножа; при очистке от земли не следует с силой ударять корни друг о друга (вредные ушибы); при всяких перегрузках свеклы применять лишь вилы с тупыми, но не с острыми концами; воспрещается ходить или ездить по свекле.

Обрезку свеклы ведут на конус, а хвостик отрезают так, чтобы толщина среза была около 1 см. Если хвостик оставить несрезанным, то он увядает и загнивает, способствуя заболеванию всего корня. Для короткого хранения — на первые месяцы работы завода — свеклу можно обрезать по методу Ярмошенко, срезая одним ударом ножа лишь верхушечную почку (диаметр среза головки — не более 2—3 см).

При уборке прилагают все усилия, чтобы не допускать потери влаги свеклой и увядания ее. Поэтому вся подкопанная свекла должна быть очищена в день подкопки. Для оплаты труда и учета урожая очищенную свеклу замеряют особыми мерниками. Еще до обмера очищенную свеклу необходимо укрывать матами или ботвой, не оставляя ее на открытом воздухе на солнце. После обмера свеклу немедленно укладывают в полевые кагаты или же в большие конусные кучи емкостью не менее 2 т и укрывают ботвой для защиты от солнца и увядания. На следующее утро ботву убирают и закрывают кучу свеклы слоем остывшей влажной земли толщиной 20—25 см. На вершине кучи оставляют отдушину в 40—50 см в диаметре, закрывая ее лишь ботвой.

При очистке свеклу сортируют на две категории: 1) здоровые неповрежденные корни; 2) дефектные корни, ненадежные при хранении: поврежденные при копке и очистке, с отломанными хвостик-

ками, изгрызанные мышами, с открытыми очищенными дулами, увядшие, а также корни весом менее 100 г. Свеклу второй категории складывают отдельно от здоровой, чтобы ее не заражать; дефектную свеклу увозят на завод и перерабатывают в первую очередь, т. е. не допускают к долговременному хранению.

Итак, главные правила при уборке свеклы сводятся к тому, чтобы: 1) не повреждать свеклу, 2) не позволять ей нагреваться и завядать, 3) сортировать ее на пригодную и не пригодную для хранения.

Возка и приемка свеклы. При возке свеклы на завод или заготовительный пункт необходимо также заботиться о том, чтобы не наносить ей ранений (применение вил с тупыми концами; при гужевой доставке — высокие щиты у задков телег для защиты корней от изгрызания лошадьми; укрывать свеклу рядами или матами, чтобы предохранить ее от увядания; не смешивать свеклу первой и второй категорий (здоровую и порченную).

Свекла вывозится или непосредственно на сахарный завод или на свеклозаготовительный пункт при ж.-д. станции. Здесь ее тщательно осматривают и определяют, годится ли она для длительного или лишь для кратковременного хранения, или же должна быть немедленно направлена в переработку (дефектная). Если свекла оказалась смешанной — нерассортированной, то необходимо рассортировать ее до приемки на особой сортировочной площадке. Принимаемую свеклу взвешивают на возовых весах и направляют соответственно ее качеству в соответствующий кагат для укладки.

Кагатирование свеклы. Кагатами называются длинные кучи трапециoidalного сечения, в которые укладывается свекла для хранения. Для длительного хранения укладывают свеклу лишь после 1 октября: раньше этого срока температура воздуха еще слишком высока, и уложенная теплая свекла энергично дышит и плохо сохраняется. Кагат для длительного хранения делается шириной 6 м и высотой 1,75 м (рис. 14). Кагат может быть любой длины (50—100 м).

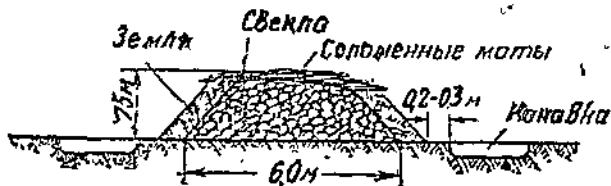


Рис. 14. Свекловичный кагат

До 1 октября погода еще теплая, поэтому необходимо принимать меры к возможному охлаждению свеклы, что происходит по ночам через верхнюю поверхность кагата (днем ее укрывают соло-

менными матами для защиты от солнца и тепла). Чтобы иметь большую поверхность охлаждения и успешно охлаждать свеклу на всю высоту кагата ранней укладки, их делают шире (8 м) и ниже (1,2—1,3 м.). Наоборот, для особо длительного хранения свеклы (дольше 15 февраля), чтобы предохранить ее от промерзания с верхней поверхности, делают эту поверхность меньше, т. е. устраивают более узкие кагаты (ширина 4 м, высота 1,75 м и ширина верхней площадки лишь 0,5 м).

По мере укладки кагат немедленно укрывают с боков землей слоем около 20 см, чтобы снизить циркуляцию воздуха и не допустить завядания свеклы.

Южную и западную стороны кагатов осенью во время жаркой погоды белят густым известковым молоком для отражения солнечных лучей.

С наступлением осенних заморозков слой земли увеличивают еще на 30 см (т. е. всего 50 см), чтобы предохранить свеклу от промерзания.

Сверху кагаты обычно укрывают соломенными матами (длинной 2 м, шириной 1—1,5 м и толщиной по шву 3—4 см; вяжут шпатагом, лыком или лозой). Цель укрывания матами, как и землей, двоякая: осенью, пока тепло, они предохраняют свеклу от нагревания лучами солнца и теплым воздухом, зимой же предохраняют от промерзания.

Осенью при укрытии кагата матами стремятся возможно более снизить в нем среднюю температуру, так, чтобы она была ниже средней температуры наружного воздуха. Для этого укрывают кагаты матами днем, и наоборот, свертывают и убирают их на ночь, чтобы дать прохладному ночному воздуху доступ в кагаты. В пасмурную прохладную погоду кагаты оставляют открытыми и днем. Чем больше снизится температура свеклы, тем меньше опасность развития микроорганизмов.

В дождливую погоду свеклу всегда укрывают, так как влага вызывает развитие плесени и порчу свеклы. Чтобы дать сток влаги и предохранить кагат от затеков воды, верхнюю поверхность кагата делают несколько выпуклой (подъем $\frac{1}{15}$ ширины верхней площадки). С этой же целью маты располагают так, чтобы стебли союмы лежали не вдоль, а поперек кагата и по ним легко стекали капли воды. С этой же целью маты должны лежать над боковыми слоями земли, немного свисая через край кагата. Для отвода влаги и предупреждения подтекания ее под кагат большое значение имеют также канавки, устраиваемые вдоль кагатов (земля, получающаяся при рытье канавок, идет на укрытие боков кагата).

Зимой кагаты укрывают матами возможно плотнее, в два слоя, чтобы предохранить свеклу от замерзания. Для большей плотности укрытия маты кладут внахлестку, а не впритык. Раскрывают маты зимой лишь в исключительных случаях — для удаления гниевшей свеклы. Выпадающий зимой снег прикрывает маты слоем, который тоже предохраняет свеклу от промерзания; однако,

если наступает оттепель и снег начинает таять, то его необходимо стрести с матов, чтобы вода от тающего снега не попала внутрь кагата.

Рекомендуется при хранении свеклы обрабатывать ее перед укладкой небольшим количеством извести, чтобы создать на поверхности корней щелочную реакцию, препятствующую развитию плесени. Известь применяется чаще всего в виде жидкого известкового молока (10% по ареометру Брикса, т. е. с содержанием 50 г CaO в 1 л) или в виде хорошо погашенной сухой известпущонки. Расходятся около 0,2% CaO от веса свеклы. Опрыскивание известковым молоком удобнее всего производить при приемке и взвешивании свеклы на возах: при разгрузке возов и укладке свеклы в кагаты она оказывается хорошо и равномерно покрытой известью. Вместо извести можно применять также тонкий порошок молотого мела (0,4% от веса свеклы).

Известь действует мягко, она не вредит корню свеклы, но препятствует развитию плесени; ее действие — профилактического характера (т. е. она предупреждает заболевание корней). Для более энергичной борьбы с микрофлорой был испытан также ряд ядов, например формалин, медный купорос и т. п., которые могут быстро убивать развившиеся уже плесени, т. е. являются антисептиками. Однако опыты оказались совершенно неудачны. Антисептики, убивая микрофлору, убивают также и поверхностные клетки корней свеклы; таким образом они приносят больше вреда, чем пользы, и приводят в дальнейшем к 100%-ному загниванию свеклы.

Кагаты свеклы располагают на предназначенном для них кагатном поле, которое должно быть заранее подготовлено. Летом кагатное поле не следует использовать под огороды, так как на овощах развиваются именно те микроорганизмы, которые потом могут вредить свекле при ее хранении. К осени поле вспахивают, боронуют, укатывают и дезинфицируют известью (2 т извести на 1 га). Устраивают также каналы для стока вод. Заранее производят планировку будущих кагатов и дорог для подвоза свеклы. Кагаты располагают по длине с севера на юг, чтобы холодный северный ветер не ударял в боковые стороны кагатов. Кагаты удобно располагать попарно, оставляя между каждым кагатом одной пары промежуток в 3 м, а между двумя соседними парами кагатов — 5 м (для удобного проезда). На 1 га кагатного поля обычно размещается около 50 тыс. ц свеклы.

Надзор и уход за кагатами свеклы. Важнейшим показателем, по которому судят о состоянии кагата свеклы, является его температура. Поэтому на свекловичных кагатах устанавливают длинные ртутные кагатные термометры в деревянной оправе с металлическим наконечником. На каждые 2 тыс. ц свеклы устанавливают по одному термометру. Полезно кроме того устраивать в кагатах дополнительные отверстия путем установки кольев; в эти отверстия периодически помещают переносные термометры для более детального наблюдения температур. Одновременно с температурой внутри кагатов следует измерять и температуру наружного воздуха.

Осенью, как уже было сказано выше, главной задачей является возможно большее снижение температуры кагатов, так, чтобы эта температура была ниже средней температуры воздуха; это достигается путем раскрытия матов ночью для доступа в кагат холодного воздуха. Несмотря на все усилия, температура в кагатах осенью держится сравнительно высокая (5—10°); однако свекла все-таки хранится хорошо, так как осенью она еще свежая, здоровая, обладает поэтому хорошим иммунитетом и успешно сопротивляется развитию микроорганизмов. Потери же сахара на дыхание повышенные.

Зимой (с 15 ноября по 1 февраля) температуру в кагатах следует держать несколько выше 0° (4—1°) и не допускать снижения ее ниже 0°. Это достигается путем регулирования толщины покровного слоя кагатов (землей, матами). Свекла в это время имеет уже несколько пониженный иммунитет, но микроорганизмы не развиваются, так как температура слишком низка; поэтому же низки и потери сахара на дыхание. При хорошем укрытии кагатов разница между утренней и дневной температурами в кагате не должна быть больше 1—2°, каковы бы ни были колебания наружной температуры.

Весна (февраль—март) — самое опасное время для хранения свеклы, которая уже значительно ослаблена длительным хранением, а микроорганизмы легко развиваются, так как температура постепенно повышается. Задачей кагатчика в этот период является возможно длительное сохранение низкой температуры в кагатах. Для этого следует возможно лучше укрывать свеклу от теплого воздуха; полезно также белить известью южную и западную стороны кагатов для отражения лучей весеннего солнца.

Зимой и особенно весной следует тщательно следить, не появляются ли в кагатах очаги гниения от попавшей туда менее надежной свеклы. Наличие таких очагов открывают по повышению в этих местах температуры кагата. О развитии гнилостных процессов в кагате можно узнать также по появлению на его поверхности мокрых пятен, а при снеговом покрове — по появлению проталин и по выделению легкого пара (что особенно заметно по утрам).

Очаги гниения нельзя потушить посредством обработки их известью, так как щелочная реакция лишь усиливает гниение. Поэтому немедленно по обнаружении очагов гниения всю порченную свеклу выбирают, направляя лучше сохранившиеся корни на завод в переработку. После того как зараженное гнездо удалено из кагата, образовавшуюся яму заполняют здоровой свеклой, продезинфицированной известью-пушонкой.

Если свекла в кагате частично подмерзла, то необходимо или весь кагат немедленно пустить в переработку, или выбрать подмороженную свеклу, чтобы переработать ее, или заморозить окончательно и хранить отдельно в замороженном состоянии. Но ни в коем случае нельзя оставлять подмороженную свеклу вместе со свежей, так как в мороженой свекле при таянии начнется бур-

ное гниение, которое передается и здоровой свекле, и весь кагат будет обречен на гибель.

Тщательно наблюдая за состоянием свеклы в кагатах, назначают и очередность переработки свеклы: в первую очередь на переработку идет менее надежная свекла, которая может легко испортиться; на долговременное хранение оставляют лишь самую здоровую свеклу («золотой фонд»).

Полевое кагатирование свеклы. Уборку свеклы проводят в сжатые сроки (не более 50—60 дней), так как слишком раннее начало «отпки» свеклы связано с недобором сахара из-за незрелости свеклы; затягивание же уборки на поздние сроки невозможно из-за угрозы наступления зимы. При быстрой уборке вывозка свеклы на завод или свеклозаготовительный пункт всегда отстает. Поэтому значительную часть свеклы приходится хранить на поле. Для кратковременного (сравнительно) хранения, как уже было сказано, свеклу укладывают на поле в большие конусные кучи (не менее 20 ц), прикрытые землей. Для более длительного хранения укладывают свеклу на поле в полевые кагаты (например длиной 20—50 м) по всем изложенным выше правилам.

Потери сахара при хранении свеклы. При хранении свежей живой свеклы всегда имеются потери сахара на дыхание; к ним присоединяются в большей или меньшей степени потери от присутствия микроорганизмов. Для определения потерь сахара при хранении свеклы недостаточно определить лишь процент сахара в ней в начале и в конце хранения; кроме этого необходимо определить и потерю веса свеклы от испарения влаги. Для этого применяют так называемый метод сеток. При укладке свеклы в кагат в него закладывают в вертикальном положении узкий длинный сетчатый мешок из просмоленного шпагата, заполненный укладываемой свеклой. Одновременно отбирают пробу этой свеклы и в ней определяют процент сахара. Сетку со свеклой перед закладкой в кагат взвешивают. В конце хранения кагата сетку со свеклой извлекают и вновь взвешивают, а свеклу вторично анализируют.

Предположим, что первый вес свеклы в сетке был 25,8 кг, а после хранения 24,6 кг. Первоначальное содержание сахара было 17,7%, а после хранения — 16,9%. Потеря веса при хранении:

$$25,8 - 24,6 = 1,2 \text{ кг, или } \frac{1,2 \cdot 100}{25,8} = 4,6\%.$$

В заложенных в сетку 25,8 кг свеклы содержалось

$$\begin{aligned} \text{сахара } \frac{25,8 \cdot 17,7}{100} &= 4,57 \text{ кг, а после хранения оказалось лишь } \frac{24,6 \cdot 16,9}{100} = \\ &= 4,16 \text{ кг. Следовательно, потеряно при хранении } 4,57 - 4,16 = 0,41 \text{ кг сахара,} \\ \text{или } \frac{0,41 \cdot 100}{25,8} &= 1,6\% \text{ по весу свеклы.} \end{aligned}$$

Если бы не учитывались изменения в весе свеклы, то потери определились бы лишь в $17,7 - 16,9 = 0,8\%$, что гораздо меньше действительной величины. Если бы свекла хранилась в кагате, например, 120 дней, то суточная потеря сахара равнялась бы $\frac{1,6}{120} = 0,013\%$.

Наимизшие потери сахара наблюдаются в зимние месяцы (ноябрь—январь) при наимизшей температуре в кагатах; осенью потери выше, так как выше температура и дыхание свеклы энергичнее; наибольшие потери сахара наступают весной как от усилившегося дыхания, так и от деятельности микроорганизмов.

Главсахаром установлены следующие нормы суточных потерь сахара в процентах от веса свеклы (табл. 4):

Таблица 4

Нормы потерь сахара в сутки при хранении сахарной свеклы
(в %)

Группа заводов	Месяцы хранения							
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
I	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,013	0,016	0,020
II	0,015	0,013	0,012	0,012	0,012	0,016	0,020	0,023
III	0,017	0,015	0,013	0,013	0,013	0,017	0,021	0,024
IV	0,020	0,016	0,015	0,015	0,015	0,020	0,023	0,027

Примечание. I группа — Украинская ССР — Правобережье Днепра.

II — — — Левобережье и Одесская, Курская, Воронежская области.

III группа — казахская ССР, Киргизская ССР, Алтайский край.

IV группа — Кубанские заводы, Узбекская ССР.

Как видно из табл. 4, нормальные суточные потери сахара при хранении свеклы должны быть в пределах от 0,01 до 0,02%. При небрежном хранении, особенно весной, эти потери могут возрастать в несколько раз (например от 0,04 до 0,05% в день), а при более крупных дефектах в хранении наступает бурное гниение и полная гибель огромных масс свеклы.

Стахановские методы хранения свеклы. При тщательном выполнении оптимальных условий хранения стахановцы-кагатчики снижают потери сахара при хранении свеклы ниже норм Главсахара. Например г. Путенко на Сальковском сахарном заводе хранил свеклу в течение 165 дней с минимальными потерями (около 0,01%), причем длительность производства сахара была доведена до 205 дней (в 1936/37 г.).

Изложенная выше методика хранения сахарной свеклы разработана не только путем научных работ — в нее вложен и богатый практический опыт стахановцев-кагатчиков. Успех хранения свеклы

сводится к настойчивому и методическому выполнению сравнительно немногих основных требований: 1) избегать ранений и ушибов свеклы; 2) оберегать ее от потери влаги и увядания; 3) строго, тщательно сортировать свеклу, допуская к длительному хранению лишь лучшие здоровые корни, без всякой примеси порченных; 4) при укладке в кагаты обрабатывать свеклу известью; 5) следить за температурой при хранении, добиваясь ее снижения в теплое время и не допуская замерзания свеклы в холодное; 6) своевременно находить и удалять из кагатов очаги гниющих корней, а также подмороженных; 7) соблюдать очередность в переработке свеклы, направляя на завод менее пригодную для хранения.

4. ХРАНЕНИЕ СВЕКЛЫ В МОРОЖЕНОМ СОСТОЯНИИ

Хранение свежей свеклы связано всегда с потерей сахара как на дыхание, так и от деятельности микроорганизмов. Клетки хорошо замороженной свеклы мертвы и потому не теряют сахара на дыхание. Микроорганизмы при низких температурах также не развиваются. Следовательно, теоретически возможно хранить свеклу в замороженном состоянии совершенно без потерь. Поэтому и появились предложения хранить свеклу в мерзлом виде. Кроме того в некоторых районах, например в Алтайском и Красноярском краях, где зимы суровы и устойчивы, хранить мороженую свеклу гораздо легче, чем предохранять ее от примораживания. Первые опыты по хранению мороженой свеклы в условиях сибирского климата провел проф. Лебедев С. В., затем этот вопрос изучался проф. Опариным А. И.

Оказалось, что сахарная свекла и при температуре ниже 0° все еще продолжает дышать. Лишь при температуре ниже -7° дыхание постепенно (через несколько суток) прекращается, т. е. происходит окончательное промерзание и смерть клеток. Необходимость низких температур для замораживания свеклы понятна, так как замерзает не чистая вода, а раствор сахара, температура замерзания которого ниже 0°. При замерзании выделяются ледяные кристаллы чистой воды, а незамерзшая часть жидкости является еще более концентрированным раствором сахара, который может замерзнуть лишь при еще более низкой температуре. Для быстрого примораживания свеклы за 12—15 час. нужен мороз минус 15°. Корень при этом делается твердым, как кость. Все клетки мерзлого корня свеклы оказываются убитыми, так как протопlasма свертывается вследствие вымораживания воды. Ткани корня во многих местах разорваны.

В замороженном состоянии свекла, действительно, может храниться без потерь. Но мерзлая свекла может легко оттаивать не при 0°, а уже при минус 5°. На оттаявшей мертвой свекле, лишенной иммунитета, даже при температуре ниже 0° уже начинают быстро развиваться микроорганизмы. Кроме того оттаявшая свекла содержит свободную инвертазу, которая производит быструю инверсию сахарозы (может появиться 1—2 и более процента инвер-

та). Все это показывает, что при хранении мороженой свеклы нельзя допускать ее оттаивания, и температура внутри катата должна быть не выше минуса 5°.

Свекла, предназначенная для замораживания, все же прежде всего должна быть сложена в кататы по всем правилам хранения в свежем состоянии, так как до наступления больших (не менее минуса 15°) и устойчивых морозов приходится после уборки свеклы ждать месяца два, даже больше, и небрежно уложенная свекла может потерять за это время много сахара. От первых легких неустойчивых морозов необходимо эту свеклу укрывать как обычно, потому что частичное замораживание и затем оттаивание во время оттепели может совершенно погубить свеклу.

Лишь после наступления сильных морозов приступают к замораживанию свеклы. Для этого кататы раскрывают и «разваливают», т. е. свеклу разбрасывают тонким слоем (0,40 м), который и промерзает насквозь в течение 1—2 дней. Затем замороженную свеклу немедленно вновь укладывают в кататы и тщательно укрывают для предохранения от оттаивания во время возможных оттепелей. Все работы по замораживанию и укладке свеклы надо проводить быстро — в течение 2—3 дней.

Если замороженную свеклу предполагается переработать зимой, то сложных укрытий не требуется. Ограничиваются обычным укрытием матами для предохранения от оттепелей. Но метод хранения свеклы в замороженном состоянии можно использовать и для длительного хранения — для удлинения производственной кампании на март и апрель. Таким образом длительность производства можно довести до 240 дней (сентябрь — апрель). Опыты показали, что в условиях Сибири при особо основательном укрытии мороженная свекла может храниться даже до июня. Для длительного хранения требуется довольно сложное укрытие мороженной свеклы, так как нельзя допускать, чтобы внутри катата температура поднималась выше минуса 5° (при 0° имели бы уже катастрофическую порчу свеклы). Нельзя также допускать, чтобы внутрь катата попадала вода. Вода здесь играет роль как бы греющего катат топлива: она замерзает в катате, выделяя при этом скрытую теплоту замерзания (80 Кал на 1 кг), и за счет этой теплоты повышается температура свеклы.

Если предполагают переработать свеклу в марте, то для укрытия ее применяют 4 слоя матов. Для экономии можно обойтись и одним слоем матов, заменив верхние три слоя соломой (толщиной слоя 30 см).

При апрельском хранении свеклы на первый слой матов кладут слой сена толщиной 40 см, утрамбовывают его и закрывают четырьмя слоями матов (их также можно заменять соломой).

Замораживание свеклы путем развалки кататов весьма трудоемко. Кроме того можно легко погубить свеклу, если наступит оттепель до окончания новой укладки в кататы уже замороженной свеклы. Поэтому проф. А. И. Опарин предложил способ заморажи-

вания свеклы в самом кагате, без его развалки, путем продувания холодным воздухом. Для этого при укладке кагата в него закладываются деревянные вентиляционные трубы. Система труб изображена на рис. 14а.

Трубы, подающие воздух (нагнетательные), заложены поперек широкого (12 м) кагата на высоте 0,5 м от земли и на расстоянии 0,5 м друг от друга. Нижняя сторона этих труб решетчатая, а сверху к каждой из этих труб примыкают две вертикальные трубы, выходящие из кагата; они заканчиваются насадками с горизонтальными раструбами. Эти раструбы поворачивают против ветра — его давлением и подается наружный холодный воздух внутрь кагата. Чтобы упорядочить движение воздуха внутри кагата, устраивают, кроме нагнетательных, еще и вытяжные трубы, которые расположены также горизонтально в промежутках между нагнетательными трубами, но на высоте 1—1,2 м от земли. У этих труб решетчатой устроена не нижняя, а верхняя сторона. Из каждой вытяжной трубы имеется выход в две вертикальные трубы, выводящие воз-

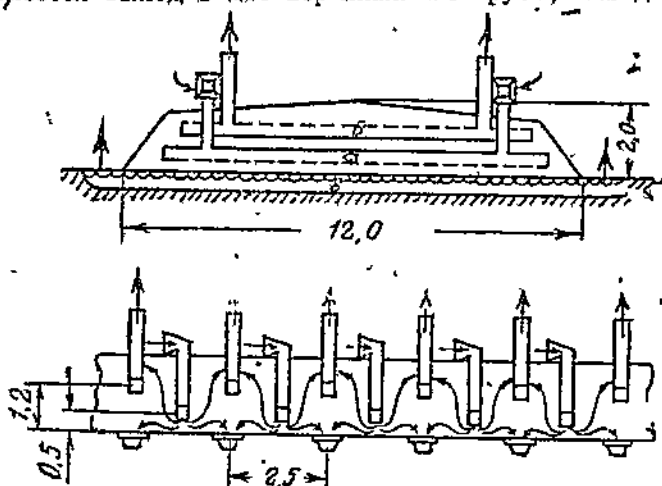


Рис. 14а. Свекловичный кагат с вентиляционной системой для замораживания

дух из кагата (они не имеют насадок с раструбами). Таким образом главный поток холодного воздуха направляется в кагате от решетчатой нижней стороны нагнетательных труб к решетчатой верхней стороне вытяжных труб. Часть воздуха уходит также и через верх кагата, вследствие чего охлаждается верхний слой свеклы.

Чтобы охладить нижние слои свеклы и проморозить самую почву, на которой расположен кагат, в земле под кагатом параллельно вытяжным трубам устраивают канавки глубиной 0,4 м, покрытые сверху поленьями, образующими как бы решетку. Длина канавок больше ширины кагата на 2 м. Таким образом концы канавок выходят с каждой стороны за пределы кагата. Часть хо-

лодного воздуха из нагнетательной трубы устремляется в эти канавки и по ним уходит наружу.

После укладки кагата его укрывают с боков матами в один слой, а с наступлением заморозков — в 2 слоя. Верх, как обычно, укрывается матами для защиты от увядания свеклы в теплое время и от подмораживания — в холодное. Вентиляцией осенью пользуются по ночам для охлаждения кагата. Так свеклу хранят в охлажденном состоянии (со снятыми раструбами и закрытыми трубами) до наступления устойчивых морозов. Тогда (при морозе не меньше минус 15°) на трубу надевают раструбы, направляя их против ветра, и начинают замораживание свеклы, которое заканчивается через 10—15 дней (при морозе —15, —25°). Кагат считают промороженным, когда кагатные термометры покажут 12—15° мороза. В конце замораживания снимают также и все маты с боков суток на двое, чтобы и наружный слой свеклы хорошо промерз.

Если во время замораживания наступает оттепель, то закрывают все трубы, бурт укрывают матами и ждут следующего мороза, чтобы закончить процесс промораживания.

По окончании замораживания в период морозов тщательно укрывают кагат описанным уже способом для длительного хранения.

Однако замораживание по методу проф. Опарина требует слишком много времени. Можно заморозить свеклу в 4 раза скорее (в 3,5 суток), если принудительно вдувать вентилятором воздух в нагнетательную систему труб (способ агр. Шемякина), но это требует значительной затраты энергии.

При переработке мороженой свеклы весьма важно направлять ее в производство, пока она не успела еще оттаять. Оттаявшая свекла мягка, как губка, из нее легко выдавливается сок, так как ткани корня разорваны и протоплазма скоагулирована. В гидравлическом транспортере и в мойке такая оттаявшая свекла быстро теряет сахар (можно потерять например до 1—2% сахара от веса свеклы). Вообще и при неоттаявшей свекле потеря сахара в воде гидравлического транспортера и мойки всегда значительно больше, чем при переработке свежей свеклы.

В оттаявшей свекле быстро накапливается инвертный сахар (вместо обычного для свежей свеклы содержания менее 0,1% в оттаявшей свекле находим от 0,3 до 0,5 и даже до 1,0%). Значительное содержание инвертного сахара влечет за собой увеличенное количество кальциевых солей в соках и большой выход кормовой патоки.

В общем же переработка мороженой свеклы идет без затруднений, и завод не снижает своей обычной мощности. Замораживание свеклы является особенно перспективным методом хранения в восточных и северо-восточных районах СССР (Челябинская, Омская, Новосибирская области, Алтайский и Красноярский края). Кроме того необходимо прибегать к замораживанию попадающей на завод частично подмороженной свеклы, если нет возможности переработать ее немедленно; в этом случае окончательное замораживание является единственным методом спасения свеклы.

5. ИНЫЕ (КРОМЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ) МЕТОДЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ СВЕКЛЫ ДЛЯ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сохраняя свежую свеклу со всеми предосторожностями, удается продлить сахарное производство от 160 до 200 дней. Прибегая сверх того к хранению части свеклы в замороженном состоянии, можно удлинить производственную кампанию до 240 дней (до конца апреля). Однако 240 дней составляют лишь $\frac{2}{3}$ года, и сахарное производство не перестает быть сезонным, плохо использующим свое оборудование, рабочий и технический персонал. Для борьбы с сезонностью сахарного производства был предложен еще ряд методов консервирования сырья: свеклосушение горячими газами и на солнце, консервирование диффузионного сока свеклы, упрощенная первичная переработка сока на полупродукт — брикеты закристаллизовавшегося неочищенного сока.

Свеклосушение [26]. При высушивании свеклы, так же как и при замораживании, клетки ее убиваются и потери сахара на дыхание свеклы отсутствуют; потерь от микроорганизмов при хранении тоже нет, так как при отсутствии воды микроорганизмы не могут развиваться. Поэтому и высушиванием можно пользоваться как методом хранения свеклы. Сушеная свекла весит в четыре раза меньше, чем сырая; поэтому, высушивая свеклу на месте ее выращивания (в колхозах и совхозах), можно значительно снизить расходы на доставку сырья к заводу.

Проф. Опарин нашел, что на сушеной свекле не развиваются микроорганизмы, если содержание влаги в ней не больше 12%.

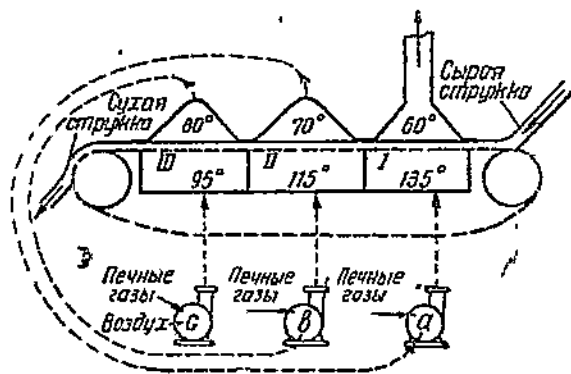


Рис. 15. Схема свеклосушки О эпа

Для надежности свеклу высушивают с оставлением в ней лишь 5—6% влаги.

Техника высушивания свеклы была разработана в Италии (Де-Веккис) и в Англии (Скотт и особенно проф. Оуэн).

Схема высушивания по методу Оуэна следующая. Свеклу моют, нарезают на крупную стружку (шириной 5—7 мм) и подают в сушильный аппарат (схема рис. 15). Сушат стружку на

широкой конвейерной ленте из дырчатого железа. Стружка лежит на ленте слоем толщиной 150 мм и медленно движется вместе с лентой в течение часа (длина пути около 17 м). На этом пути свекла высушивается, и с другого конца конвейера сыпается уже совершенно готовая сухая стружка. Высушивание производится посредством продувания горячего воздуха сквозь слой стружки снизу вверх через отверстия дырчатой конвейерной ленты. Воздух для этого подается вентиляторами в особые камеры (I, II, III), расположенные под лентой; сверху камеры закрыты лишь движущейся дырчатой конвейерной лентой.

Камер имеется три (I, II, III) с тремя вентиляторами (a, b, c) — по одному для каждой камеры. Обогрев производится за счет горения каменного угля, сжигаемого в отдельно расположенной топке (на схеме она не показана). Продукты горения с температурой около 1000° присасываются вентиляторами вместе с воздухом и поддерживают надлежащую температуру. В вентиляторе с свежий воздух с небольшой примесью топочных газов имеет температуру лишь 95°; он нагнетается в камеру III и проходит сквозь почти уже высушенную стружку, отнимая от нее лишь немного влаги и охлаждаясь поэтому только на 10° (до 80°). Этот отработавший здесь воздух не выпускается наружу, а засасывается в вентилятор b, где путем добавки печных газов температура его повышается до 115°. С этой температурой воздух нагнетается в камеру II и проходит сквозь более влажный слой свеклы. Поэтому температура воздуха здесь падает больше (со 115 до 70°). Воздух из пространства над камерой II идет в вентилятор a, здесь примесь печных газов повышает его температуру до 135°; затем этот нагретый воздух идет в камеру I и проходит сквозь сырую свежую стружку, отдающую много влаги. Поэтому и температура проходящего воздуха резко снижается (со 135 до 60°). Теперь воздух уже достаточно насыщен влагой; кроме того температура его невысока; поэтому он выбрасывается наружу.

Таким образом процесс в сушилке Оуэна ведется вполне рационально по принципу противотока. Сухой и не слишком горячий воздух поступает на почти сухую стружку; он энергично отнимает влагу, но не может вызвать карамелизации стружки. Затем воздух все более насыщается влагой (над камерой II), и наконец очень горячий воздух (135°) попадает на сырую стружку, которую он не может испортить, потому что она очень влажна, и температура воздуха моментально снижается, так как теплота затрачивается на испарение большого количества воды.

В СССР Центральный институт сахарной промышленности (ЦИНС) еще более усовершенствовал конструкцию конвейерной сушилки: в камере II стали пропускать воздух не снизу вверх, как в камерах I и III, а сверху вниз. Таким образом добились более равномерного высушивания верхнего и нижнего слоев свеклы и могли увеличить толщину слоя стружки на конвейере.

Производительность сушилки ЦИНС — 1200 ц сырой свеклы в

сутки. Расход энергии на сушилку (главным образом на вентиляторы) — 200 л. с. Кроме того нужна энергия для мойки, резки и транспортера в количестве около 50 л. с., т. е. всего на агрегат 250 л. с. Расход топлива (условного) на высушивание — около 10—11% от веса свеклы. Выход сушеной стружки — около 25% от веса сырой свеклы.

При хранении и перепрузках сушеной стружки нужно обращаться с ней осторожно, так как она весьма хрупка, большая же примесь мелочи очень затрудняет ее переработку. Хранить стружку следует в сухом помещении с относительной влажностью воздуха не более 60%, так как стружка весьма гигроскопична и, поглотив влагу, плесневеет.

Продукты горения каменного угля, применяемые для высушивания свеклы, содержат сернистый газ. Поэтому сушеная стружка имеет довольно кислую реакцию ($\text{pH} = 5$) и содержит несколько больше инвертного сахара. При получении диффузионного сока накопляется еще больше инвертного сахара. Белки и красящие вещества сушеной свеклы коагулированы. Поэтому при выщелачивании ее получается мутноватый сок, но не имеющий темной окраски обычного диффузионного сока и обладающий повышенной доброкачественностью. Зато очистка такого сока известью дает малый эффект и окраска сока при очистке обычно возрастает (за счет осмоления инвертного сахара).

Сушеная стружка содержит более 60% сахара. Поэтому предполагалось, что при получении из нее сока в диффузионной батарее будут достигнуты высокие концентрации (50—60% сухих веществ), получится почти сироп, после очистки которого почти не потребуется выпаривания на выпарке, что даст экономию топлива на переработку сушеной свеклы на сахар. Это ожидание не оправдалось, так как сушеная свекла в диффузионной батарее перерабатывается нелегко. Сильное разбухание ее в воде и наличие примеси мелочи приводит к забиванию диффузоров и к замедленной откачке сока. Чтобы не снижать производительность завода, приходится работать на укороченной диффузионной батарее (т. е. например, вместо работы на батарее из 14 диффузоров работать на двух батареях по 7 диффузоров). Чтобы при этом не повысить потерь в отходах, приходится увеличивать откачку. Таким образом получается сок с концентрацией не 60, а лишь 25% сухих веществ. В остальном переработка сушеной свеклы идет почти так же, как и свежей.

Первоначальное увлечение свеклосушением быстро прошло, так как этот метод консервирования свеклы имеет ряд недостатков: 1) огромный расход топлива (11% от веса свеклы и еще около 5% для переработки на сахар, т. е. всего 16%, тогда как при непосредственной переработке сырой свеклы на сахар тратится топлива в два раза меньше); 2) огромный расход энергии на сушку — 200 л. с. на 1000 ц суточной переработки, т. е. немного меньше, чем тратится на обычном сахарном заводе для переработки

свеклы на сахар; 3) низкая производительность сушильного агрегата — лишь 1200 ц в сутки; следовательно, чтобы высушить в день количество свеклы для суточной работы обычного сахарного завода (на 10 тыс. ц), нужно иметь 8 сушильных агрегатов.

В последнее время на родине свеклосушения — в Италии — сушили еще свеклу, но лишь на корм скоту, а не для переработки на сахарном заводе. В СССР свеклосушение также не применяется.

Воздушно-солнечная сушка сахарной свеклы [27]. В Узбекской и Казахской ССР в половине августа уже поступает сахарная свекла, а температура воздуха еще высокая и солнечное сияние интенсивно. Поэтому с половины августа до половины октября, т. е. в течение 2 мес., здесь возможна воздушно-солнечная сушка свеклы, изрезанной в стружку. Удачный опыт такой сушки был проведен в 1942 г.

Сушку свеклы на солнце организуют в мелком кустарном масштабе. Оборудование почти никакого не требуется. Нарезают свеклу на ручной шинковке, в которую вделан диффузионный нож. При большем масштабе производства можно применять или корнерезки с вставленными в них диффузионными ножами или специальную резку сист. ЦИНС.

Сушку проводят на солнце на открытом утрамбованном земляном току, на который подстилают старые мешки, или плетеные из камыша берданы, или соломенные или камышовые маты. На 1 м² площади тока загружают 4—6 кг стружки. Стружку раскладывать для сушения лучше всего с утра и не позже 4 час. дня: разложенная утром — к вечеру уже высыхает, разложенная позже 12 час. дня досыхает на другой день.

Свекла воздушно-солнечной сушки успешно перерабатывается на сахарном заводе и дает хороший сахар. Воздушно-солнечная сушка свеклы может иметь в Средней Азии серьезное значение, так как не требует ни затраты топлива и почти никакого оборудования, но при вовлечении в это дело широких колхозных масс может доставить сахарным заводам большие количества хорошо хранящегося сырья.

Консервирование диффузионного сока свеклы. Проф. Головин П. В. в 1930 г. предложил консервировать диффузионный сок, подбавляя к нему 0,5% извести и наливая сверху тонкий слой нефти. Таким образом можно было бы во время работы завода на сырой свекле сделать запасы консервированного диффузионного сока и перерабатывать его затем весной (апрель, май), увеличивая длительность производственной кампании. Но опыты проф. Головина П. В. по хранению сока на Дерюгинском сахарном заводе были неудачны. Однако через несколько лет инж. Хелемский М. З. провел на заводе «Возрождение» вполне удачный опыт хранения и переработки консервированного диффузионного сока.

Анализируя результаты заводских опытов, можно утверждать, что сок с добавкой извести и покрытый нефтью, действительно, может храниться, но при условии, что он будет покрыт слоем льда и не повысит своей температуры. Известь замедляет, но не исключает развития микроорганизмов. Если к действию извести прибавляется также замедляющее порчу сока действие пониженной температуры, то сок хранится хорошо. Нефть нужна лишь для того, чтобы углекислота воздуха не действовала на известь, содержащуюся в соке, и не осаждала ее в виде углекальциевой соли. Опыт инж. Хелемского был удачен

потому, что его сок хранился в большой паточной цистерне и оставался до конца опыта холодным (на нем плавал лед); опыт проф. Головина, наоборот, был неудачен, так как он взял для опыта сравнительно мало сока, лед на нем растаял, и сок прогрелся.

Метод хранения консервированного диффузионного сока все же неприменим, пока не будут изобретены дешевые и надежные цистерны для такого сока. Для суточной работы обычного сахарного завода на 10 тыс. ц требуется диффузионного сока около 1100 м³. Если желательно продлить сахарное производство на месяц путем переработки консервированного сока, то потребуется запастись такого сока 33 тыс. м³, т. е. емкость баков для сока должна быть раз в 15 больше емкости всех паточных баков.

Первичная переработка свеклы [28]. Инж. А. Б. Фремелъ предложил организовать упрощенные заводы по первичной переработке сахарной свеклы на полупродукт, из которого можно было бы на центральном сахарном заводе получать сахарный песок.

Схема первичной переработки по Фремелю весьма проста. Свеклу моют, превращают на резке в стружку, из которой в диффузионном аппарате получается диффузионный сок. К соку прибавляют известь (0,1%) лишь для нейтрализации свободных кислот сока. Затем сок без фильтрации вместе с осадком подают на 3-корпусную выпарку. Сироп в вакуум-аппарате возможно быстрее доводят до высокой концентрации (92% сухих веществ). Получается утфель с очень мелкими кристаллами. Его разливают по вагонеткам, имеющим ряд перегородок. Вследствие дополнительной кристаллизации сахара при охлаждении разлитый утфель застывает в кристаллический монолит коричневого цвета. Тогда вынимают из вагонеток перегородки и куски утфеля, имеющие форму и размер крупных кирпичей; эти брикеты утфельной массы и являются полупродуктом, который выпускает завод первичной переработки свеклы.

Между кристаллами сахара в брикетах находится густой сироп, насыщенный сахаром и содержащий также все сахара сока свеклы. Этот сироп вследствие его вязкости и наличия молекулярных сил притяжения не вытекает из брикетов. Поэтому их легко хранить, складывая в штабели, и перевозить без всякой тары. Вес брикетов составляет лишь 20% от веса переработанной свеклы; содержание сахара в них около 75—80%. При хранении брикетов сахар не теряется.

На центральном заводе брикеты растворяют в горячей воде и получают сироп, который после обычной очистки известью идет непосредственно в вакуум-аппарат для уваривания на утфель I кристаллизации. Таким образом переработка брикетов на сахарном заводе значительно проще и дешевле, чем переработка свеклы.

К преимуществам метода Фремеля относится также и то, что жом с пользой и без дальних перевозок потребляется в районе работы завода первичной переработки свеклы. Для возможно большего снижения расходов по транспорту свеклы, размеры заводов первичной переработки намечены от 500 до 1000 ц свеклы в сутки. Таким образом расходы по транспорту сырья снижаются в четыре раза.

Для удешевления и упрощения оборудования и работы на заводе первичной переработки свеклы устанавливают не диффузионную батарею, а непрерывно-действующий барабанный аппарат сист. Гузенко. Выпарку составляют из аппаратов с выносными поверхностями нагрева, которые легко чистить, не останавливая завода, и на которых удастся выпаривать пенящийся неочищенный диффузионный сок.

Отмечая все преимущества организации заводов первичной переработки свеклы, следует заметить, что аппаратура этих заводов все же достаточно сложна: по сравнению с обычным сахарным заводом они не имеют лишь приспособлений для очистки сока и центрофуг, зато должны быть оборудованы громоздкими аппаратами по розливу в формы и по охлаждению брикетов, причем дают все же не сахар, а лишь полупродукт.

Заключение. Итак, вопрос о преодолении сезонности сахарного производства остается открытым и до настоящего времени. Необходимы дальнейшие усилия для решения этой важной и сложной задачи. По сравнению со старыми традиционными нормами короткой производственной кампании в 60—90 дней, в СССР все же имеются огромные достижения, так как, применяя улучшенные методы хранения свежей свеклы, уже возможно увеличить период производства до 200 дней, а при работе на замороженной свекле — даже до 240 дней, т. е. уже имеется возможность использовать сахарный завод в 3 раза лучше, чем он использовался раньше.

Метод же первичной переработки свеклы дает дальнейшие возможности для удлинения производства на центральных заводах.

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Возникновение свеклосахарной промышленности связано с работой двух ученых химиков — Маргграфа и Аншара. Дальнейшее развитие сахарного производства также неизменно шло при содействии крупных химиков. Поэтому и химический состав сахарной свеклы изучен подробно. Действительно, чтобы понимать процессы сахарного производства, необходимо знать состав свеклы и свойства отдельных химических соединений, входящих в этот состав.

1. ОБЩИЙ СОСТАВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ [2,29]

От обычных средних количеств различных групп соединений, входящих в состав свеклы, могут быть значительные отклонения в зависимости от ряда условий (почва, условия вегетации, семена и т. п.).

Сухие вещества и вода. Главная масса свеклы состоит из воды (около 75,0%) и лишь около $\frac{1}{4}$ ее веса (25,0%) составляют сухие вещества.

Сок. Свекла содержит в вакуолях своих клеток сок. Путем анализа можно узнать процент сахара в свекле и процент сахара в соке, выжатом из этой свеклы. Предположим, что в свекле оказалось 17,5% сахара, а в соке (так называемый «нормальный» сок¹) — 19,0% сахара.

По этим данным можно вычислить количество сока на 100 кг свеклы путем следующих соображений. Допустим, что в 100 кг свеклы содержится x кг сока. В 100 кг свеклы содержится 17,5 кг сахара (17,5%), в соке же — 19,0%, или $\frac{19,0 \cdot x}{100}$ кг. сахара; но так как весь сахар свеклы находится в растворе, т. е. в соке, то:

$$17,5 = \frac{19,0}{100} \cdot x, \text{ или } x = \frac{17,5}{19,0} \cdot 100 = 92,1\%.$$

Это так называемый «соковой коэффициент» свеклы.

¹ Термин «нормальный» сок сохранился с тех отдаленных времен (лет 70—80 назад), когда в производстве сок из свеклы добывался методом прессования, и поэтому тогда выжатый сок был, действительно, «нормальным», т. е. аналогичным заводскому соку.

Мякоть и связанная вода. Так как в свекле имеется 92,1% сока, то, казалось бы, что нерастворимых веществ свеклы, т. е. так называемой «мякоти», должно содержаться $100 - 92,1 = 7,9\%$. На самом деле это не так. Определить количество мякоти можно непосредственно путем промывания навески тонко измельченной свеклы и высушивания промытого остатка. Это определение показывает, приблизительно, 5,0% мякоти.

Таким образом сухая мякоть и сок вместе, составят $5,0 + 92,1 = 97,1\%$. Остается $100 - 97,1 = 2,9\%$ воды, которая не входит в состав сока (иначе мы получили бы соковой коэффициент не 92,1, а выше). Очевидно, эта вода связана в свекле с сырой мякотью, но непрочно ею удерживается и испаряется при определении сухой мякоти путем высушивания. Вода эта держит мякоть свеклы в набухшем состоянии; ее называют «имбибиционной», или «коллоидной» водой; вернее называть ее «связанной» водой (обычный термин коллоидной химии): она связана гидрофильными коллоидами мякоти и не является растворителем, не находится в соке. Итак, свекла состоит из следующих составных частей (на 100 кг):

сок (раствор сахара и несахаров)	92,1 кг
мякоть (нерастворимые несахара)	5,0 "
связанная вода (удерживаемая мякотью)	2,9 "

Итого . . 100,0 кг

Сахар и несахара. В 100 кг свеклы, как уже сказано, содержится 25,0 кг сухих веществ; из них 17,5 кг составляет сахароза и $25,0 - 17,5 = 7,5$ кг — так называемые «несахара», т. е. все прочие примешанные к сахарозе вещества.

Правильнее было бы называть эти примеси «сахароза», а не «несахар», так как в числе примесей находятся и сахаристые вещества, например рафиноз и инвертный сахар, которые в производстве лишь вредят. Однако мы будем применять обычный термин «несахар» как общепринятый.

Растворимые и нерастворимые несахара. Нерастворимые несахара свеклы, или мезга, как уже указано, составляют 5,0 кг на 100 кг свеклы. Следовательно, на долю растворимых несахаров из общего количества несахаров (7,5 кг) остается:

$$7,5 - 5,0 = 2,5 \text{ кг.}$$

Состав нормального сока свеклы. Вес сока, как мы уже определили, составляет 92,1 кг на 100 кг свеклы. Количество сахара в нем — 17,5 кг и растворенного несахара — 2,5 кг, или всего сухих веществ $17,5 + 2,5 = 20,0$ кг. Состав сока, следовательно, будет следующий:

$$\begin{aligned} \text{количество сухих веществ} &= \frac{20,0 \cdot 100}{92,1} = 21,72\%; \\ \text{количество сахара} &= \frac{17,5 \cdot 100}{92,1} = 19,00\% \end{aligned}$$

В сахарном производстве весьма широко применяется понятие доброкачественность сока. Так называют процентное содержание сахара в растворенном сухом веществе. Если имеем раствор чистой сахарозы, то все сухое вещество на 100% состоит из сахара, т. е. доброкачественность будет 100,0%. В нормальном соке из 21,72% сухих веществ сахара содержится лишь 19,0%, т. е. доброкачественность будет равняться $\frac{19,0 \cdot 100}{21,72} = 87,5\%$; следовательно, в 100 частях сухого вещества нормального сока сахар составит 87,5 части и несахар $100 - 87,5 = 12,5$ части. Доброкачественность — весьма важный показатель: он характеризует степень чистоты сока. В производстве, по мере очистки сока и удаления несахаров повышается доброкачественность его.

Состав мякоти. В 100 кг свеклы содержится около 5,0 кг мякоти, которая представляет собой клеточные стенки свеклы. Мякоть состоит из клетчатки ($\frac{1}{4}$ ее веса), гемицеллюлозы ($\frac{1}{4}$ веса), и пектиновых веществ ($\frac{1}{2}$ веса). Кроме того в мякоти находится небольшая примесь нерастворимых белков, сапони-на и золы.

Состав мякоти на 100 кг свеклы приблизительно следующий:

Клетчатка	1,2 кг, или 24%
Гемицеллюлоза	1,1 " " 22%
Пектиновые вещества	2,4 " " 48%
Белки	0,1 " " 2%
Сапонины	0,1 " " 2%
Зола	0,1 " " 2%
Итого	5,0 кг, или 100%

Общая химическая характеристика главных составных частей мякоти такова:

1) клетчатка — наиболее устойчивая часть мякоти: она не растворяется при нагревании ни с водой, ни с разбавленными 1%-ными кислотами или щелочами;

2) гемицеллюлоза менее стойка: горячая вода на нее не действует, но при нагревании с 1%-ными растворами кислот она переходит в раствор (в условиях сахарного производства гемицеллюлоза устойчива, так как в этих условиях никакими кислотами на нее не действуют);

3) пектиновые вещества наименее стойки: они нерастворимы лишь в холодной воде, в горячей же воде постепенно набухают и переходят в раствор; при кислой же или особенно при щелочной реакции переход пектиновых веществ происходит еще быстрее. Таким образом и в условиях сахарного производства пектиновые вещества могут переходить в раствор, поэтому на них должно быть обращено особое внимание (надо заметить, что и количество их в свекле весьма значительно — оно равняется 2,4%, т. е. третьей части всех несахаров свеклы).

Растворимые сахара (несахара сока) на 100 кг свеклы имеют такой состав:

Органические сахара {	азотистые	1,1 кг, или 44%
	безазотистые	0,9 " " 36%
Зола (минеральные сахара)		0,5 " " 20%
Итого		2,5 кг, или 100%

Следует заметить, что понятие «растворимый» здесь имеет неточный характер. Точнее следовало бы сказать, сахара, находящиеся в нормальном соке, который представляет собою полидисперсную систему: раствор кристаллоидов, золь коллоидов, нефилтровываемые жели белков и тонкие суспензии нерастворимых белков, жиров и зольных элементов.

Присоединяя к азотистым веществам сока (1,1 кг) азотистые вещества мякоти (белки — 0,1 кг), найдем, что на 100 кг свеклы имеется 1,2 кг азотистых веществ. Отсюда выясняются удельный вес и важность для производства азотистых веществ свеклы.

Азотистые вещества свеклы. Распределение азотистых веществ по отдельным группам на 100 кг свеклы таково:

Белок	0,7 кг, или 58%
Прочие	0,5 " " 42%
Итого	1,2 кг, или 100%

Белки выделены особо как почти безвредная для производства часть азотистых веществ свеклы: они коагулируют при нагревании и под действием извести и легко удаляются из сока.

Таким образом «вредных» азотистых веществ имеется лишь около 40% от общего количества азота. Из них более $\frac{1}{3}$ (0,2 кг) падает на бетаин.

0,1 кг вредных азотистых веществ приходится на амиды и соли аммония. По Амдэрлику, амиды и соли аммония причисляются к безвредным азотистым веществам на том основании, что под влиянием щелочей они разлагаются, выделяя аммиак, который улетучивается; следовательно, азот их удаляется во время производства. На самом деле они вредны: аммиак улетучивается, но остаются вместо него соли кальция тех кислот, амиды которых были разложены.

Остальные 0,5—0,2—0,1 = 0,2 кг азотистых веществ приходятся главным образом на аминокислоты (и очень немного — на пуриновые основания).

Азот свеклы (вредный, безвредный и общий). Содержание азота составляет около $\frac{1}{6,25}$ от содержания азотистых веществ.

При анализах идут обычно обратным путем: определяют содержание азота (метод Кьельдаля) и находят количество азотистых веществ, умножая условно найденное количество азота на 6,25.

По Андрику, вредным азотом считается общий азот за вычетом белкового, аммиачного и амидного. Следовало бы, однако, считать вредным общий азот за вычетом только белкового азота, а тот азот, который Андрик назвал «вредным», правильнее было бы назвать «неудаляемым», т. е. остающимся в соке после очистки его.

Обычное содержание разных форм азота в свекле следующее:

Форма азота	На 100 кг свеклы (в кг)	На 100 частей общего азота (в %)
Белковый азот	0,115	57,5
Аммиачный и амидный азот	0,020	10,0
Вредный азот (по Анд- рику)	0,065	32,5
Общий азот	0,200	100,0

Содержание азота в свекле, особенно вредного азота, весьма значительно колеблется в зависимости от условий вегетации и хранения свеклы.

Безазотистый органический несахар сока свеклы. Обычно такого несахара имеется около 0,9 кг на 100 кг свеклы. Он состоит из следующих групп соединений:

Группы безазотистых соеди- нений сока	На 100 кг свеклы (в кг)	Соотношение в группе (в %)
Инвертный сахар	0,10	11
Пектиновые вещества	0,10	11
Органические кислоты	0,47	52
Жиры	0,03	3
Сапонины	0,10	11
Прочие	0,10	12
Итого	0,90	100

Итак, главная масса среди безазотистых растворимых несахаров свеклы относится к органическим кислотам. Из них в наибольшем количестве (около 0,15%) содержится щавелевая кислота.

Следующей по важности группой является группа пектиновых веществ. Растворимых пектиновых веществ больше бывает в незрелой свекле [29]. В зрелой же иногда их почти нет.

Количество инвертного сахара также несколько больше в незрелой свекле; особенно же оно возрастает (раз в 10 и более) при порче свеклы (замораживание и растаивание) путем инверсии сахарозы.

Зола свеклы. Зола имеется около 0,6 кг на 100 кг свеклы (0,5 кг в соке и 0,1 кг в мякоти). Состав ее приблизительно таков:

Соединение	На 100 кг свеклы (в кг)	На 100 частей, зола
K_2O	0,25	42
Na_2O	0,05	8
CaO	0,08	13
MgO	0,08	13
P_2O_5	0,09	15
SO_3	0,02	3
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	0,01	2
SiO_2	0,01	2
Cl	0,01	2
Итого чистой зола . . .	0,60	100

Итак, в основном зола свеклы представляет собой фосфорнокальциевую соль. Прочие катионы и анионы находятся в ней в гораздо меньшем количестве.

Если сделать соответствующий подсчет, то окажется, что перечисленных анионов зола свеклы нехватает для образования солей со всеми имеющимися в золе катионами. Это и понятно: в свекле значительная часть катионов связана с органическими кислотами.

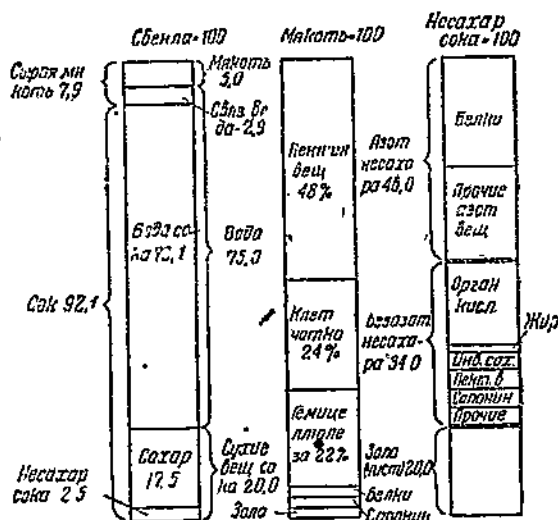


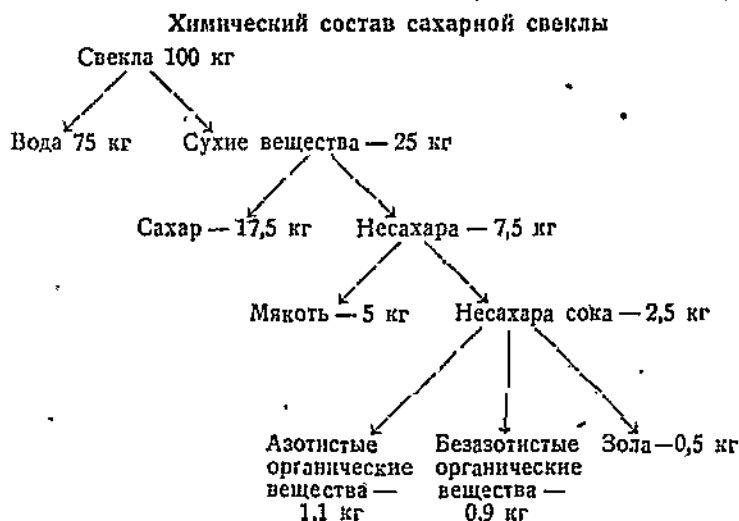
Рис. 16. Общий состав сахарной свеклы

При сжигании эти кислоты сгорают, а металлы оказываются в золе в виде карбонатов. Таким образом обычно определяют так называемую «карбонатную» золу, в которой, однако, CO_2 является совершенно нехарактерной для свеклы составной частью, образующейся лишь при сжигании. Поэтому различают еще так называемую «чистую» золу, т. е. карбонатную золу за вычетом углекис-

лоты (выше и приведен состав такой «чистой» золы). Углекислой золы на 100 кг свеклы имеется около 0,7 кг.

Сводка данных об обычном составе свеклы дана в табл. 5 и на диаграмме (рис. 16).

Таблица 5



Состав свеклы в зависимости от условий роста и хранения. От обычного нормального состава свеклы встречаются значительные отклонения в зависимости от ряда факторов.

а) Сахар и несахара. Обычно более сахаристая свекла имеет и большую доброкачественность сока. Содержание сахара в свекле может колебаться приблизительно от 12 до 25%.

б) Размеры корней. Если аномально крупные корни (например 1 кг и более) получены вследствие изреженности плантации или вследствие одностороннего азотистого удобрения, то они содержат меньший процент сахара (10—12%). Если же урожай равномерно крупных корней получился благодаря особо тщательному уходу и своевременному полному удобрению (стахановские методы), то крупные корни имеют обычную — не сниженную — сахаристость.

в) Метеорологические условия. Обильные осадки в июне, июле и августе обеспечивают пышное развитие свеклы, а сухая осень (сентябрь, октябрь) гарантирует хорошее качество ее (высокий процент сахара и высокую доброкачественность).

Если же последний осенний период будет дождлив, то получится хороший урожай, но малая сахаристость и меньшая доброкачественность свеклы.

Если во время роста свеклы вообще стоит засушливая погода, то в свекле наблюдается накопление большого количества вредно-

го азота и уменьшение доброкачественности сока. Количество вредного азота может колебаться в 2—3 раза в зависимости от изменяющихся условий вегетации. Корни свеклы в засушливые лета имеют меньший вес с повышенным процентным содержанием сахара.

При обилии осадков в период вегетации свекла обычно содержит увеличенное количество золы. Таким образом отношение органических несахаров к золе свеклы для влажного лета будет меньше, а для сухого — больше. Процент сахара в свекле при влажном лете бывает меньше.

г) Зрелость свеклы. Зрелая свекла почти не содержит ни инвертного сахара, ни пектиновых веществ. Наоборот, в незрелой свекле имеется увеличенное количество инвертного сахара (например 0,15%) и растворимых пектиновых веществ (0,20—0,30%) [29—Нахманович]. Это объясняется, повидимому, тем, что пектиновые вещества образуются сначала в растворе в клеточном соке и лишь затем откладываются в клеточной стенке в нерастворимом состоянии. Инвертный сахар (вернее, «редуцирующие» вещества) является также промежуточным продуктом при синтезе сахарозы в корне свеклы.

Вредных азотистых веществ в незрелой свекле также всегда больше, чем в зрелой; доброкачественность сока понижена и содержание сахара меньше, так как он не успевает накопиться.

д) Климат. Передвигаясь по Европе с запада на восток (Франция, Германия, СССР и РСФСР — Воронежская, Тамбовская области, Поволжье), мы попадаем в области с более и более континентальным климатом. На востоке лето более сухое и жаркое. Поэтому по мере передвижения на восток свекла приобретает свойства выросшей в засушливое лето, т. е. содержит больше вредного азота, имеет меньшую доброкачественность, дает больший органический коэффициент очищенного сока (отношение органического несахара к золе), дает больший выход патоки. Содержание сахара в свекле высокое.

На западе — в Германии и особенно во Франции — при большом количестве осадков получается свекла с несколько меньшей сахаристостью, с малым количеством вредного азота, дающая очищенный сок с малым органическим коэффициентом; в производстве сахара получается сравнительно малый выход патоки, но повышенный доброкачественности.

На Северном Кавказе (Кубань) обычно бывает засушливое лето, причем сдерживается рост свеклы, завядает и отмирает часть листьев; затем выпадают дожди, и в теплую осень начинается вторичный рост свеклы (вновь появляются листья), на что затрачивается часть сахара. Получается свекла с пониженной сахаристостью и низкой доброкачественностью, дающая большой выход патоки.

На поливных землях Средней Азии (Казахская, Киргизская, Узбекская республики), где имеется жаркое и длительное лето, свекла дает весьма высокие урожаи и содержит высокий процент

сахара. Она вполне вызревает и хорошо хранится. Однако она все же обладает свойствами свеклы континентального климата и дает много патоки.

В условиях Южной Сибири (Алтайский и Минусинский края) вырастает также свекла континентального климата с большим количеством вредного азота. Кроме того при малом вегетационном периоде (140 дней) свекла здесь часто не вполне вызревает (вес корня меньше веса листьев), что снижает содержание в ней сахара. Поэтому доброкачественность сока обычно низка и выход патоки повышенный.

Влияние климата на качество сахарной свеклы для различных районов СССР иллюстрируется табл. 6.

Таблица 6

Сахарная свекла различных районов СССР
за 1935—1937 гг.

Район	На 10 IX ¹			Доброкачественность		Потеря сахара в патоке (в % по свекле)
	Вес корня (в г)	Вес листьев (в г)	Дигестия	сока II сатурации	кормовой патоки	
Киевский трест . . .	219	191	15,0	91,1	60,1	2,03
Лоренбургский трест .	251	218	15,7	89,9	57,9	2,37
Средняя Азия ² . . .	538	288	16,7	90,5	61,0	2,70
Алтайский трест . . .	226	295	14,9	88,3	58,3	2,79
Кубинские заводы . .	—	—	—	85,7	54,9	2,53

е) Удобрение и агротехника. На урожайность и на качество свеклы большое влияние оказывают агротехнические мероприятия и удобрение. Они могут частично сгладить неблагоприятные климатические условия. Например искусственное орошение в Средней Азии способствует получению прекрасных урожаев свеклы, тогда как без орошения это было бы невозможно. Для районов с коротким вегетационным периодом важен возможно ранний посев и применение суперфосфата в рядки при посеве, что ускоряет вызревание свеклы. Чрезмерное применение одностороннего азотистого удобрения, наоборот, замедляет созревание свеклы и снижает содержание сахара в ней.

ж) Сорт свеклы имеет огромное значение. Высокая сахаристость и урожайность свеклы поддерживаются непрерывными усилиями селекционных станций. Простая репродукция семян без селекции быстро приводит к вырождению сахарной свеклы, к снижению содержания сахара в ней.

¹ По данным пробных участков совхозов.

² По заводам им. Джамбула, им. Кирова, им. Фрунзе, Кара-Балтинскому.

По данным работы опытных участков устанавливают, какой сорт свеклы дает наилучшие результаты в данном районе. Для производственных посевов следует рекомендовать так называемые нормальные сорта свеклы (N), но не сахаристые (Z и ZZ), которые дают обычно меньший урожай сахара с 1 га, и неурожайные (E), которые могут давать больший урожай сахара с 1 га, но оказываются менее сахаристыми и позже вызревающими.

Например, в Германии в погоне за большими урожаями фашистское правительство отдало распоряжение сеять лишь урожайные сорта свеклы. Но вскоре (в 1940 г.) случилось, что лето было холодным и пасмурным. Свекла оказалась весьма мало сахаристой (12%), незрелой; она очень плохо перерабатывалась на заводе. Таким образом горький опыт показал, что урожайные сорта можно сеять не в массовом порядке, а лишь в особых случаях (на высоких солнечных местах, где сев проводится раньше и свекла вызревает быстрее).

з) **Хранение свеклы.** Даже при нормальном хорошем хранении свеклы все же теряется сахар на дыхание и увеличивается количество нес сахаров, т. е. доброкачественность свеклы понижается и выход патоки делается больше. Количество вредного азота при хороших условиях хранения не возрастает, а даже может несколько уменьшиться, так как, по видимому, в корне свеклы синтезируется белок за счет аминокислот.

При действии микроорганизмов, а также при прорастании свеклы убыль сахара и падение доброкачественности ускоряются. Кроме того увеличивается количество вредного азота, инвертного сахара и растворимых пектиновых веществ. Нерастворимые пектиновые вещества делаются менее устойчивы; поэтому гнилую свеклу приходится перерабатывать на диффузии при пониженной температуре.

Подмороженная и растаявшая свекла всегда содержит большие количества инвертного сахара (1—2%).

2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ХИМИЯ УГЛЕВОДОВ

В данной главе приводятся подробные сведения о свойствах и реакциях углеводов, имеющих ближайшее отношение к сахарному производству, но совсем не излагается учение о систематике углеводов, о сложных синтезах их, о всевозможных производных углеводов и т. п. (метилирование, ацетилирование и т. п.). Все это можно найти в специальной литературе по углеводам [30].

Для сахарного производства имеют значение лишь немногие из углеводов: из моносахаридов или моноз — глюкоза, фруктоза, галактоза и арабиноза; из полисахаридов I класса или олигосахаридов — сахароза, рафиноза; из полисахаридов II класса, или сахарокolloидов, — клетчатка и гемицеллюлоза.

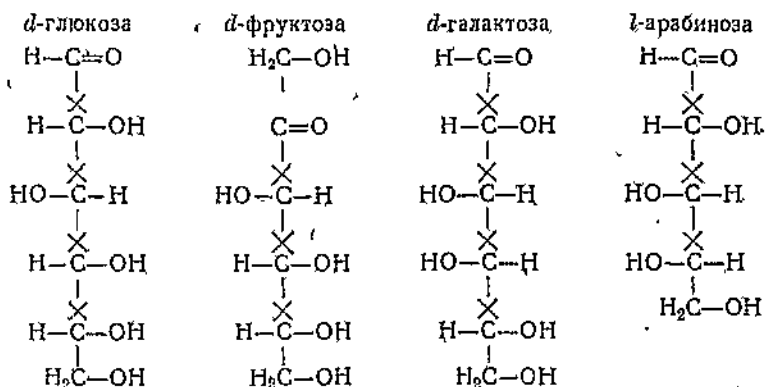
Моносахариды

Из моносахаридов наиболее важны для сахарного производства глюкоза и фруктоза, как элементы, из которых построена молекула сахарозы, а также потому, что всегда присутствующий в свекле продукт распада сахарозы — инвертный сахар — является смесью

глюкозы и фруктозы (следовало бы называть эту смесь не инвертным сахаром, а просто редуцирующими, т. е. восстанавливающими фелингову жидкость веществами, так как в соке свеклы обычно содержится смесь глюкозы и фруктозы совсем не в равных количествах, а всегда глюкозы значительно больше, чем фруктозы).

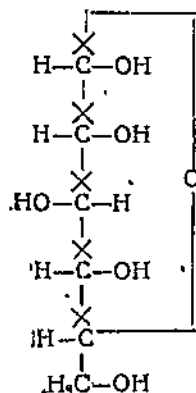
Галактоза представляет интерес как составная часть имеющейся в свекле рафинозы. Из пентоз большое значение имеет арабиноза как составная часть пектиновых веществ.

Формулы моноз, имеющих важное значение для сахарного производства, следующие:

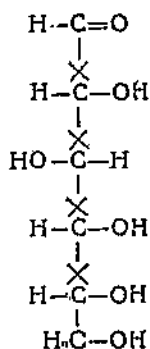


Это — так называемые карбонильные формулы (с альдегидной или кетонной группой). Они хорошо объясняют все главные реакции сахаров, поэтому ими и следует пользоваться. Однако нужно помнить, что раствор какой-либо монозы представляет собой находящуюся в подвижном равновесии смесь трех изомеров: карбонильного (его обычно содержится очень немного) и двух кольцевых форм (α и β), получающихся путем замыкания кольца от карбонильного углерода; в этом кольце имеются пять атомов углерода и один атом кислорода (это понятно с точки зрения теории напряжения Байера, так как первый и пятый атомы углеродной цепи весьма близки друг к другу в пространстве и могут поэтому вступать в реакцию). Такое кольцо (пять атомов углерода и один атом кислорода) в органической химии называется кольцом Пирана; поэтому кольцевые формы моноз можно назвать пиранозами. При образовании кольцевых форм моноз исчезает карбонильная двойная связь кислорода и появляется новый асимметричный атом углерода (например карбонильная форма *d*-глюкозы имеет четыре асимметричных атома углерода, а кольцевая форма имеет их пять). Поэтому возможны и имеются в действительности два кольцевых изомера для каждой из моноз. Все это видно из приводимых формул изомеров для глюкозы (аналогичные формулы легко написать и для прочих моноз);

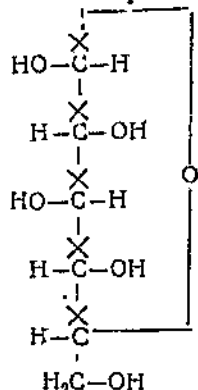
α -D-глюкоза
(α -D-глюкопираноза)



D-глюкоза (карбонильная форма)



β -D-глюкоза
(β -D-глюкопираноза)



Так как в растворе гексоза в карбонильной форме имеется лишь в малом количестве, то гексозы не дают некоторых реакций карбонильных групп, например не реагируют с фуксинсернистой кислотой.

В твердом состоянии удается получить отдельно в чистом виде α -или β -форму гексоз. Например, при кристаллизации из водного раствора получается α -глюкоза, а при кристаллизации из раствора в пиридине — β -глюкоза.

α - и β -формы моноз имеют каждая свою особую удельную вращательную способность в водном растворе. Например, для α -глюкозы $[\alpha]_D = +111,2^\circ$, а для β -глюкозы $[\alpha]_D = +19,3^\circ$. Растворяя α -глюкозу, мы и получаем в первый момент вращательную способность $+111,2^\circ$, но постепенно часть α -глюкозы переходит в β -глюкозу, и вращательная способность падает. Когда наступает равновесие между α - и β -формами, мы получаем обычную вращательную способность водного раствора глюкозы ($+52,74^\circ$), соответствующую смеси — 36,5% α - и 63,5% β -форм глюкозы.

Итак, вначале имеем вращательную способность, равную $+111,2^\circ$, которая затем уменьшается почти в два раза, снижаясь до $+52,74^\circ$. Такое явление называется мутаротацией, или муль-тиротацией. Она оказывается обычной для растворов моносахаридов. Равновесие и окончательная вращательная способность наступают медленно при обычной температуре и очень быстро — при нагревании или в присутствии кислот и особенно щелочей (аммиак).

Физические свойства моноз.

D-глюкоза, или декстроза, или виноградный сахар — $C_6H_{12}O_6$; гидрат $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$.

1) Растворимость в воде с повышением температуры быстро увеличивается. Насыщенный водный раствор при различных температурах содержит следующее количество глюкозы (в %):

Температура (в °C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Процент глюкозы	35,0	41,6	47,7	54,6	61,8	70,9	74,7	78,0	81,3	84,6

При температуре выше 50° выкристаллизовывается лишь ангидрид глюкозы.

2) Плотность водных растворов может быть выражена формулой:

$$d_4^{20} = 0,99840 + 0,003788 p + 0,00001412 p^2,$$

где p — процент глюкозы в растворе (в пределах от 4 до 30).

3) Вращательная способность водных растворов:

$$[\alpha]_D^{20} = 52,50 + 0,0188 p + 0,000517 p^2 \quad (p \text{ — от 0 до 35\% весовых}).$$

d-фруктоза, или *левулеза*, или *плодовый сахар* $C_6H_{12}O_6$; гидрат $(C_6H_{12}O_5)_2 \cdot H_2O$.

1) Растворимость в воде больше, чем у глюкозы:

Температура (в °C)	20	30	40	50	55
Процент фруктозы . . .	78,5	81,6	84,3	86,9	88,1

2) Вращательная способность: $[\alpha]_D^{20} = -(88,16 + 0,258 p)$.

Итак, фруктоза сильно вращает плоскость поляризации влево. Вращательная способность значительно изменяется с температурой: с повышением температуры левое вращение делается меньше, что учитывается следующей формулой:

$$[\alpha]_D^t = [\alpha]_D^{20} + (0,566 - 0,0028 C) \cdot (t - 20),$$

где t — температура в градусах Цельсия и C — концентрация в граммах на 100 cm^3 .

d-галактоза $C_6H_{12}O_6$; гидрат $C_6H_{12}O_5 \cdot H_2O$; имеет вращательную способность $[\alpha]_D^{20} = +80,0$, которая с повышением температуры уменьшается приблизительно на 0,3 на каждый градус Цельсия.

l-арабиноза $C_6H_{12}O_5$ имеет вращательную способность $[\alpha]_D^{20} = +105,0$

Химические свойства моноз обуславливаются наличием в их молекуле карбонильной и гидроксильных групп.

Карбонильная (альдегидная или кетонная) группа дает:

1) реакции присоединения (благодаря двойной связи в карбонильной группе), например образование глюкозидов, осазонов, оксимов, циангидринов;

- 2) реакции окисления в одно- и двухосновные кислоты;
- 3) реакции восстановления в многоатомные спирты;
- 4) реакции осмоления под влиянием щелочей при нагревании с образованием ряда сложных продуктов со свойствами кислот.

Гидроксильные группы также проявляют себя в целом ряде реакций:

- 1) образование ацетильных производных (сложные эфиры);
- 2) образование метильных производных;
- 3) образование с металлами алкоголятов, которые здесь носят название сахаратов.

Кроме того монозы могут изменяться вследствие нагревания их или их растворов и вследствие нагревания с кислотами. Они могут также бродить, давая спирт или кислоты.

Из перечисленных реакций будут рассмотрены лишь некоторые, имеющие производственное значение, а именно:

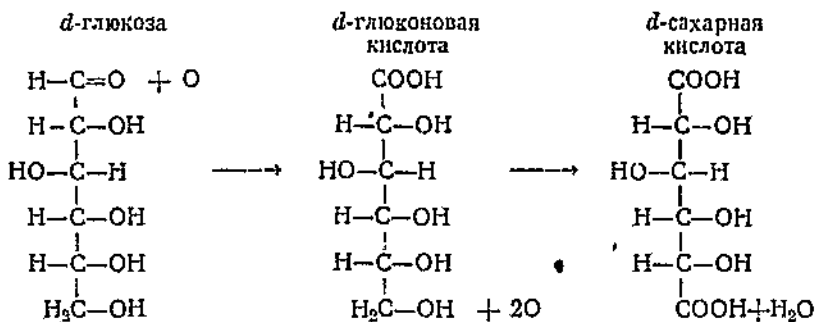
1) окисление (и отчасти восстановление), так как оно играет роль в анализе;

2) действие щелочей, так как в производстве (на дефекации) на монозы действует известь;

3) действие кислот, так как оно тоже имеет значение в анализе (определение пентоз).

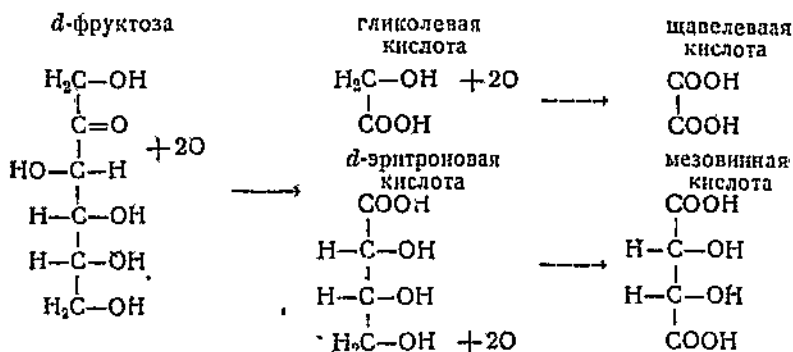
Реакции окисления (и восстановления). Амальгамой натрия можно карбонильные группы моноз восстановить в спиртовые и получить многоатомные спирты.

Путем окисления альдоз (например глюкозы) сначала окисляется альдегидная группа, превращаясь в карбоксильную; получается одноосновная кислота (из глюкозы — глюконовая). При дальнейшем действии окислителя сверх того окисляется и противоположный конец молекулы, причем метоксильная группа дает также карбоксильную. Получается двухосновная кислота (из глюкозы — сахарная кислота).

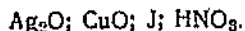


Для первой стадии окисления требуется один атом кислорода, и для второй стадии — еще два атома кислорода. Подобным же образом галактоза дает галактоновую и слизевую кислоты, а арабиноза — арабиновую и триоксиглутаровую кислоты.

При окислении фруктозы молекула ее разывается по месту карбонильной (кетонной) группы, и получается смесь различных кислот (в первую очередь — гликолевая и мезовинная кислоты);



Для практики реакции окисления имеют большое значение (в анализе). В качестве окислителей применяются:



1. Ag_2O действует на монозы как окислитель, отдавая кислород и превращаясь в металлическое серебро: $\text{Ag}_2\text{O} = \text{Ag}_2 + \text{O}$.

Окисление идет в щелочной среде (например в присутствии NaOH); так как Ag_2O нерастворима в воде (бурый осадок), то прибавляют аммиак, дающий с окисью серебра растворимое комплексное соединение:



Рецептура реакции: к раствору AgNO_3 приливают раствор NaOH ($2\text{AgNO}_3 + 2\text{NaOH} = \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$); растворяют выпавший осадок окиси серебра в небольшом количестве NH_4OH . Приготовленный таким образом реактив называется реактивом Толленса. Если к раствору, например, глюкозы прилить реактив Толленса и подогреть, то выделяется металлическое серебро (в виде зеркала, если пробирка чиста), а глюкоза превращается в глюконовую кислоту, затем в сахарную кислоту. Однако на этом реакция не останавливается, и идет дальнейшее разрушение и окисление молекулы сахарной кислоты до щавелевой кислоты. Таким образом реактив Толленса действует чрезвычайно энергично: одна молекула глюкозы восстанавливает 16—18 атомов серебра. Подобная же реакция идет и со всеми прочими монозами.

2. Азотная кислота (уд. вес. 1,15, т. е. 25%-ная) при нагревании на водяной бане окисляет альдозы в двухосновные кислоты (с фруктозой же реакция более сложна, с разрывом углеродной цепи).

Таким образом глюкоза дает сахарную кислоту, а галактоза — слизевую кислоту. Слизевая кислота плохо растворима в воде (лишь 0,3% при температуре 14°); поэтому этой реакцией пользуются для определения количества галактозы, так как слизевая кислота получается из нее со значительным выходом — около 77—78% от веса галактозы. Сахарная кислота в противоположность слизевой чрезвычайно легко растворяется в воде. Слабо растворима кислая калиевая соль сахарной кислоты (1,1% при температуре 7°).

3. Окись меди в щелочном растворе окисляет все монозы (в том числе и фруктозу) в двухосновные кислоты (главным образом). Окись меди при этом, отдавая кислород, превращается в нерастворимую в воде красную закись меди:



Окись меди также нерастворима в воде; поэтому для реакции применяют ее комплексное растворимое в воде соединение (или коллоидный раствор) с сегнетовой солью, т. е. с виннокислым калием-натрием.

Рецептура реактива (фелингова жидкость): раствор I — CuSO_4 в воде и раствор II — NaOH и сегнетова соль в воде.

Для определения моноз смешивают I и II растворы в равных объемах. При кипячении этой смеси с раствором монозы выделяется в осадок красная закись меди, по количеству которой можно судить о количестве определяемого сахара.

Имеется целый ряд различных видоизменений в приготовлении фелинговой жидкости (различные концентрации и т. п.) и различных методов работы с ними (кипячение 2, 3, 4 и 15 мин. и т. п.). Для каждого метода составлены свои эмпирические таблицы для определения моноз. Следует иметь в виду, что реакция с фелинговой жидкостью не является строго определенной, и количество выделенной закиси меди увеличивается и с продолжительностью кипячения и с концентрацией растворов. Поэтому, пользуясь какой-либо из эмпирических таблиц, необходимо весьма точно соблюдать соответствующую этой таблице методику работы.

4. Иод в щелочном растворе (т. е., вернее, иодонатонатриевая соль NaJO_3) окисляет глюкозу (и прочие альдозы) в глюконовую кислоту (вообще в соответствующую одноосновную кислоту). Сам иод при этом дает с водородом воды H_2 , а кислород воды идет на окисление альдоз, т. е. $\text{J}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HJ} + \text{O}$; правильнее же, имея в виду, что мы работаем со щелочным раствором иода:



Реакция идет количественно и может служить для определения глюкозы и других альдоз по количеству израсходованного иода (метод Вильштеттера). Особенно ценно и интересно то, что на кетозы (например, на фруктозу) под почти не действует. Поэтому здесь мы имеем способ для отдельного определения глюкозы в присутствии фруктозы, тогда как фелингова жидкость дает суммарное количество глюкозы и фруктозы.

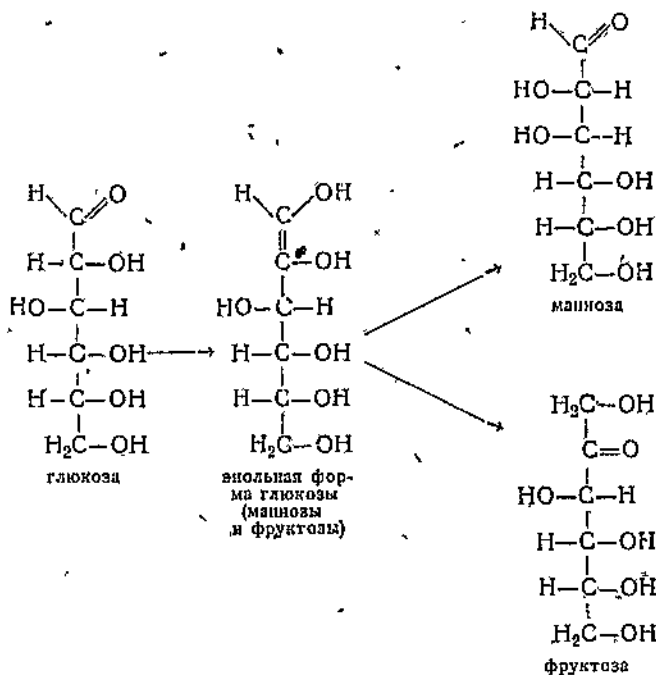
Действие щелочей. При действии щелочей на глюкозу и на другие монозы наблюдается окрашивание раствора в коричневый цвет (осмоление), уменьшение вращательной и редуционной способности до 0, образование ряда продуктов; при этом, смотря по условиям реакции, бывает перевес в сторону получения то одного, то другого из них. Эта реакция происходит и при очистке сока свеклы на сахарном заводе под действием извести. Поэтому необходимо подробнее изучить действие щелочей на монозы. Реакции, происходящие при этом, удобнее всего рассматривать в порядке нарастающего по энергии воздействия щелочей, например на глюкозу (концентрация, температура, время воздействия).

а) Образование глюкозатов происходит при действии щелочей — NaOH , Ca(OH)_2 и других — на холоду на раствор глюкозы. Глюкозаты аналогичны алкоголятам — это соединения, являющиеся продуктом замещения водорода гидроксильных групп глюкозы на металл. Здесь проявляются кислотные (очень слабые) свойства моноз; константа электролитической диссоциации глюкозы, как кислоты, при 18° равна $3,6 \cdot 10^{-13}$, а фруктозы — $6,6 \cdot 10^{-13}$. Как соли очень слабой кислоты, глюкозаты в водном растворе частично гидролизуются и имеют щелочную реакцию. Физико-химические отношения растворов глюкозатов качественно те же, что и растворов сахаратов, получаемых с сахарозой. О них подробно будет сообщено дальше.

б) Превращение одних моноз в другие путем внутренней перегруппировки под влиянием малых количеств щелочей при нагрева-

нии (также и на холоду, но медленнее: неделя на холоду, вместо 15 мин. при 100°), например при действии 1 г NaOH на 20 г глюкозы в 100 см³ воды. Таким образом глюкоза частично превращается в маннозу и фруктозу.

Для объяснения реакции предполагают промежуточное образование энольной формы:



При этом наблюдается постепенное падение вращательной способности раствора до нуля, иногда на холоду до небольших левых вращений.

Редукционная способность (восстановление меди) также падает до 70—80% первоначальной величины; следовательно, кроме взаимных превращений моноз при этих условиях идут уже и более сложные их изменения с утратой свойств моноз.

В результате вместо 100 частей *d*-глюкозы остается 82 части моноз, из которых оказывается 49 частей *d*-глюкозы, 5 частей *d*-маннозы и 28 частей *d*-фруктозы (при действии 2,5% KOH на 20%-ный раствор при кипячении в течение 5 мин.).

в) Глюциновая кислота ($C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$) образуется при умеренном воздействии щелочи (известь или гидрат окиси бария) на разбавленный раствор глюкозы при нагревании до температуры не более 80° (иначе — более глубокое разложение). При этом щелочная реакция исчезает и наблюдается уже помутнение раствора. Избыток извести удаляют углекислотой, а глюциновую кислоту

выделяют путем осаждения свинцовым уксусом, причем отбрасывают первые темноокрашенные порции осадка. Осадок разлагают сероводородом, получая PbS в осадке и глюциновую кислоту в растворе. По высушивании получается кислота в виде аморфной массы, похожей на дубильную кислоту. Она хорошо растворима в воде и алкоголе.

С солями окиси железа глюциновая кислота дает интенсивное фиолетово-синее окрашивание. Кальциевая и баритовая соли глюциновой кислоты растворимы в воде, но основные соли их нерастворимы. Глюциновая кислота энергично восстанавливает фелингову жидкость.

Раствор глюциновой кислоты быстро делается коричневым и разлагается, особенно быстро при нагреве выше 70° , и получается апоглюциновая кислота с одновременным выделением гуминовой, муравьиной, уксусной и угольной кислот.

г) Апоглюциновая кислота ($C_6H_{10}O_5?$) получается при кипячении раствора глюциновокальциевой соли на воздухе. Из раствора апоглюциновая кислота осаждается алкоголем. Это коричневая аморфная масса, растворимая в воде и трудно растворимая в алкоголе. Соли кальция и щелочей растворимы в воде (кровоокрашающее окрашивание). Осаждается не только свинцовым уксусом, но и уксуснокислым свинцом (свинцовым сахаром).

д) Сахарумовая кислота ($C_{14}H_{18}O_{11}?$) получается в осадке при обработке раствора глюкозы или фруктозы баритовой водой при получении глюциновой кислоты: соль последней с барием, как указано выше, оказывается в растворе. Сама кислота — коричневого цвета, растворима в воде и алкоголе. Ее растворы при стоянии распадаются, выделяя гуминовые вещества. Сахарумовая кислота восстанавливает фелингову жидкость. Она дает нерастворимые соли с $Ca(OH)_2$ и $Ba(OH)_2$; осаждается также свинцовым уксусом и свинцовым сахаром.

е) Мелясиновая кислота ($C_6H_8O_5?$) образуется также при действии баритовой воды на глюкозу. Она оказывается в растворе в виде растворимой соли бария (темнокоричневая окраска) и выпадает в осадок при подкислении раствора соляной кислотой в виде черных хлопьев. Ее свойства: нерастворима в воде, растворима в алкоголе. Соли с $Ba(OH)_2$ и $Ca(OH)_2$ растворимы в воде. Осаждается уксуснокислым свинцом.

ж) Гуминовые кислоты — это те темноокрашенные вещества, которые получают в почве при гниении растений. Они обладают свойствами кислот, растворимы в щелочах и в $(NH_4)_2CO_3$ и, следовательно, образуют со щелочами растворимые соли. Сами свободные кислоты в воде нерастворимы и поэтому выпадают в осадок черного цвета при подкислении растворов их солей.

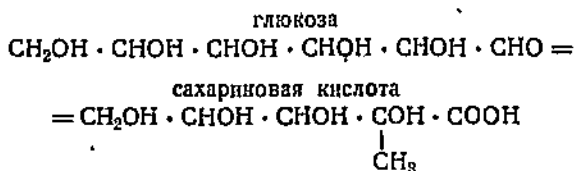
Некоторые из гуминовых кислот нерастворимы и в щелочах. С известью и барием дают нерастворимые в воде соли. Различают целый ряд гуминовых веществ: нерастворимый ни в воде, ни в щелочах гумин, растворимая в щелочах и аммиаке, нерастворимая

в воде, нерастворимая в спирте гиматомелановая кислота и растворимая в щелочах и аммиаке, но нерастворимая ни в воде, ни в спирте гумусовая кислота. Гумусовой кислоте Свен-Оден приписывает формулу $C_{60}H_{122}O_{24}(COOH)_4$. Даваемые формулы вообще весьма разнообразны, но все они отличаются от формул углеводов большим содержанием углерода; это как бы углевод, потерявший уже больше половины элементов воды, это как бы промежуточные соединения на пути к обугливанию углеводов. Они также являются одним из продуктов действия щелочей и кислот на монозы. По своим свойствам и составу они очень близки к упомянутой выше меляссиновой кислоте.

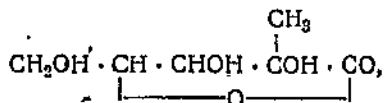
Следует заметить, что лучше изучены гуминовые вещества торфа и бурых углей, которые образовались из лигнина, и не идентичны с гуминовыми веществами, получаемыми из углеводов под действием щелочей или кислот.

Дальнейшие исследования в области гуминовых веществ из углеводов должны вестись методами коллоидной химии, что внесет больше ясности в этот запутанный отдел химии. Это же следует сказать и о ряде упомянутых выше кислот (глюциновая, апоглюциновая, сахарумовая, меляссиновая).

з) Сахариновые кислоты и сахарин. При очень продолжительном воздействии избытка извести или $NaOH$ на холоду или в течение 3—4 час. при кипячении глюкоза (и другие монозы) дает сахариновую кислоту¹ в виде ее соли в растворе:



Если удалить известь (щавелевой кислотой) и выпарить раствор, то выкристаллизовывается лактон сахариновой кислоты, так называемый сахарин:

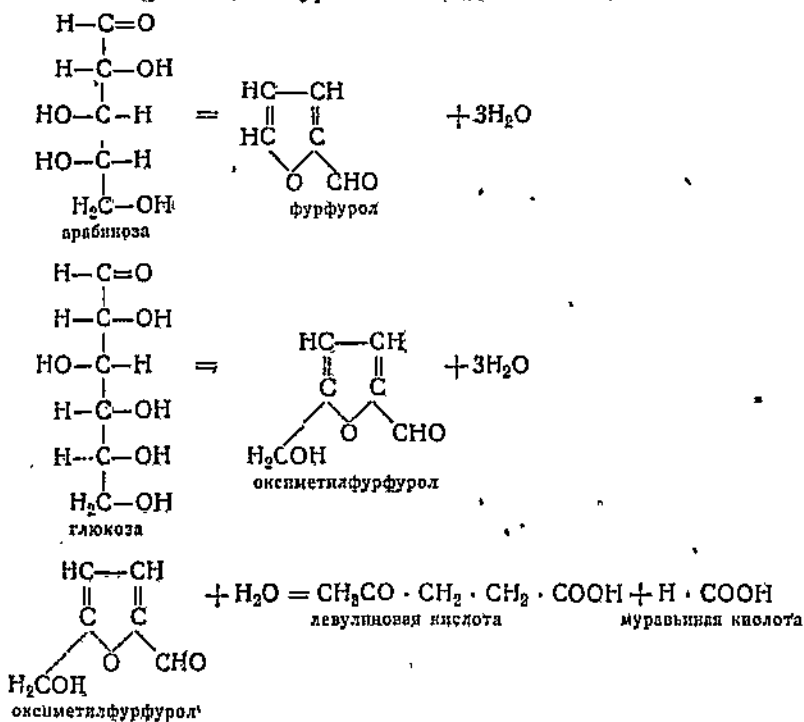


который со щелочами легко дает соли сахариновой кислоты.

Свойства сахарина: растворяется в воде (в 8 частях при 15°), в спирте и эфире. Растворы не сладки, не восстанавливают фелинговую жидкость. Известь и $Ba(OH)_2$ сахариновую кислоту не

¹ Кроме того, образуются частично и изомерные кислоты: метасахариновая, изосахариновая и парасахариновая.

Наоборот, оксиметилфурфурол непрочен и немедленно разлагается с образованием леволиновой и муравьиной кислот:



Следует иметь в виду эту существенную разницу между пентозами и гексозами, которая и служит основой аналитического метода определения пентоз.

Брожение. Под влиянием микроорганизмов глюкоза и фруктоза легко приходят в брожение, причем превращаются в ряд новых веществ.

Из таких видов брожения следует отметить следующие.

а) Алкогольное брожение под влиянием дрожжей *Saccharomycetes* идет по уравнению:



Галактоза сбраживает гораздо медленнее, чем глюкоза и фруктоза. Эта реакция является основой производственных процессов спиртовой промышленности (между прочим, и при винокурении из меляссы сахарных заводов). Оптимальная температура для развития дрожжей — около 30° и максимальная 40°. При температуре 68—70° они погибают. Оптимальное развитие дрожжи дают при слабокислой реакции.

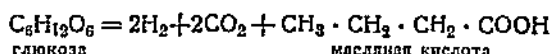
Все это указывает на то, что в сахарном производстве, где имеются обычно температуры выше 68° и щелочные соки, спиртовое брожение имеет малое значение.

б) Молочнокислородное брожение вызывается целым рядом молочнокислых бацилл (палочки, не дающие спор). Уравнение реакции:



Оптимальная температура 30—45°. При температуре 70° бациллы молочнокислого брожения уже погибают.

в) Маслянокислородное брожение вызывается маслянокислыми бактериями, которые образуют споры и являются бактериями анаэробными, т. е. развиваются хорошо лишь в отсутствие воздуха. Вызываемое брожение может быть выражено уравнением:



глюкоза

масляная кислота

Оптимальная температура — от 35 до 40°. При температуре 50° развитие уже прекращается.

г) Слизевое (декстранное) брожение вызывается особой бактерией, которая называется «лейконосток» — *Leuconostoc mesenteroides*. Бактерия эта развивает вокруг себя особую студенистую оболочку (капсулю), что придает ее колониям вид лягушечьей икры. Появление такой икры часто наблюдается на сахарных заводах. Поэтому на этой бактерии следует остановиться подробнее.

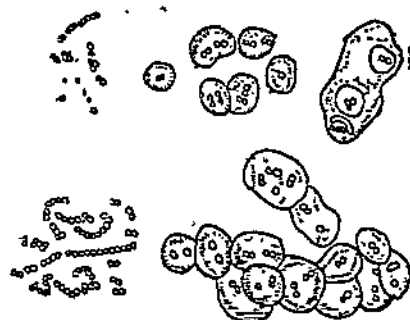


Рис 17

Она выдерживает температуры выше 80°, когда же она окружена желатинозной оболочкой, то даже до 87—88°. До температуры 43° она еще способна размножаться. Поэтому следует принимать меры, чтобы нигде на заводе температура соков не опускалась ниже 50°. Во всяких мертвых углах аппаратов, где понижена циркуляция и возможен застой и охлаждение сока, может развиваться лейконосток,

например в мернике диффузионного сока и диффузорах, даже в ловушках Годека; нам приходилось его встречать даже в контрольном ящике сатурации.

Желатинозная оболочка (декстран) является продуктом ассимиляции этой бактерии, но не продуктом брожения. В результате брожения образуется молочная кислота. Следовательно, брожение это не совсем точно называется «слизевым», или «декстранным». Лишь в присутствии избытка питательных веществ образуются желатинозные капсули, иначе же бактерия может давать и голые формы (без капсулю). Слабощелочная среда оказывается благоприятной для развития лейконостока.

Декстран, образующий слизистую оболочку лейконостока, нерастворим в воде, но растворяется при обработке щелочью или известковым молоком и из нейтрализованного раствора может быть

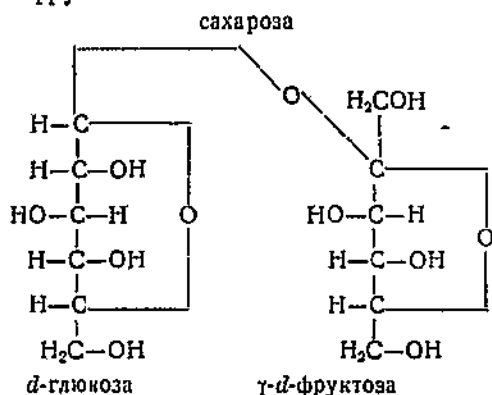
осажден алкоголем. Это вещество уже растворимо в воде, имеет формулу $C_6H_{10}O_5$; растворы получаются коллоидные. Вращательная способность декстрана равняется $[\alpha]_D^{20} = +200$. Он при кипячении с кислотами, присоединяя воду, количественно превращается в глюкозу.

Полисахариды I класса (олигосахариды)

Сахароза (тростниковый сахар)

Сахароза как главная составная часть свеклы и продукт сахарного производства должна быть рассмотрена подробнее.

Формула сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$. Как видно из приводимой формулы, сахароза представляет собой сложный сахар-дисахарид — соединение *d*-глюкозы с γ -*d*-фруктозой; так называется фруктоза, у которой имеется кольцевая оксидная связь между вторым и пятым атомами углерода, а не между вторым и шестым, как у обычной *d*-фруктозы:



т. е. имеется так называемое «бутиленоксидное кольцо» вместо более устойчивого — амиленоксидного; наличием такого неустойчивого элемента объясняется легкая расщепляемость, способность легко инвертироваться у сахарозы; при инверсии получается *d*-глюкоза и обычная *d*-фруктоза, так как γ -*d*-фруктоза перегруппировывается в нее в момент инверсии.

Формула сахарозы подтверждена как методом анализа (метилирование и изучение полученных продуктов метилирования), так и методом синтеза: в 1928 г. Пикте и Фогель произвели синтез сахарозы, однако повторить синтез сахарозы пока не удается.

Физические свойства. 1. Кристаллы сахарозы принадлежат к моноклинической системе, имеют сложную многогранную форму. Удельный вес кристаллов сахарозы $d_4^{25} = 1,5879$.

2. Растворимость сахарозы в воде весьма значительна. Она быстро растет с температурой.

Растворимость сахарозы была изучена Герцфельдом (1892 г.). В последнее время Грут дал новые точные определения раствори-

мости сахарозы [31], причем указал, что Герцфельд не определял растворимость сахарозы между 60 и 100°; таким образом данные интерполяции в этих широких температурных пределах не могут быть достаточно надежны. Растворимость сахарозы по Герцфельду и по Груту заметно расходитя между собой, особенно при температуре 70—80° (табл. 7).

Таблица 7

Растворимость сахарозы

Температура (в °С)	Герцфельд		Грут
	процент сахара	количество сахара на 1 часть воды	количество сахара на 1 часть воды
70	64,18	1,792	—
10	65,65	1,911	—
20	66,92	2,023	—
30	68,50	2,175	2,18
40	70,33	2,370	2,38
50	72,33	2,614	2,62
60	74,43	2,911	2,93
70	76,59	3,271	3,31
80	78,74	3,703	3,80
90	80,85	4,221	—
100	82,87	4,837	—

Хорошо изучены удельные веса растворов сахарозы и их коэффициенты преломления, так как они являются основой дензиметрических и рефрактометрических методов анализа в сахарном производстве.

В этиловом спирте (абсолютном) сахароза не растворяется. В смесях же спирта с водой растворимость тем больше, чем больше воды содержит смесь.

То же самое относится и к растворимости в метиловом спирте.

3. Тепловые свойства. Теплоемкость кристаллического сахара $c = 0,2387 + 0,00173t$, где t — температура. Следовательно, между 22 и 51° средняя теплоемкость $c = 0,3019$ (Hess).

Для водных сахарных растворов теплоемкость в зависимости от процента содержания сахарозы и от температуры выражается формулой (Яновский):

$$c = 1 - (0,6 - 0,0018t) \frac{p}{100}$$

При растворении сахара в воде наблюдается поглощение теплоты около 0,8 Кал на 1 г-молекулу сахарозы. Следовательно, при кристаллизации сахарозы, наоборот, должна выделяться теплота. Однако по Бертелло этот эффект зависит от температуры растворения: при 12° он равен 0,79, при 31° — 0, а при 100° равен +3,00 Кал.

Теплота сгорания сахарозы равна 3941 кал на 1 г сахарозы. Температура плавления сахарозы равняется 188°.

4. Вращение плоскости поляризации растворов сахарозы правое. Удельная вращательная способность очень мало зависит от концентрации и температуры. Поэтому сахарозу особенно удобно определять поляриметрическим методом:

$[\alpha]_D^{20} = 66,67 - 0,0095 C$, где C — число граммов сахарозы в 100 см³.

В среднем $[\alpha]_D^{20} = 66,50^\circ$.

Зависимость вращательной способности от температуры мала:

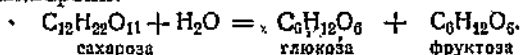
$$[\alpha]_D^t = [\alpha]_D^{20} \cdot [1 - 0,000217 \cdot (t - 20)].$$

Для растворов в этиловом спирте (70%) вращательная способность на 0,16 больше, чем в воде.

На вращательную способность сахарозы значительно влияют щелочи и соли слабых кислот, имеющие вследствие гидролиза щелочную реакцию (сода, бура). Вращательная способность при этом понижается. Например, если на молекулу сахарозы имеется в растворе две молекулы извести, то вращательная способность будет равна 51,8° вместо 66,5°. Это объясняется образованием сахаратов. Аммиак на вращательную способность сахарозы не влияет (при концентрации NH_3 не более 10%), так как является очень слабым основанием.

Инверсия. Под влиянием кислот сахароза в водном растворе, присоединяя воду, распадается на глюкозу и фруктозу. Ион водорода кислоты действует при этом, как катализатор. Полученная смесь глюкозы и фруктозы вращает плоскость поляризации уже не вправо, как сахароза, а влево. Так как левая вращательная способность образованнейшей фруктозы больше правого вращения глюкозы, происходит превращение правого вращения в левое, вследствие чего и реакция эта названа инверсией сахарозы.

Реакция инверсии:



Реакция — бимолекулярная, т. е. идет между двумя молекулами: сахар и вода. Но если рассматривать реакцию инверсии лишь в разбавленных водных растворах, то количество воды будет мало изменяться, так как лишь незначительная часть ее будет связываться с сахарозой. Меняться постепенно будет лишь количество сахарозы, а реакция таким образом будет идти, как мономолекулярная и необратимая (глюкоза с фруктозой обратно под влиянием кислоты не соединяется). Законы таких реакций были изучены именно путем наблюдения инверсии (Вильгельми).

* Так как при нормальной работе сахарного завода никогда не допускают значительной инверсии сахарозы, то концентрацию сахарозы можно считать почти постоянной: лишь ничтожно малая доля этой концентрации затрачивается на образование инвертного сахара. Поэтому можно здесь при вычислении накопившегося инвертного сахара обойтись без обычного логарифмического уравнения мономолекулярной реакции. По закону действующих масс ко-

личество образовавшегося инвертного сахара i должно быть пропорционально начальной концентрации сахарозы z_0 (действующая масса) и пропорционально времени t , т. е.:

$$i = cz_0 t. \quad (1)$$

* Коэффициент пропорциональности c выражает скорость инверсии; он показывает, сколько образуется инвертного сахара в единицу времени ($t = 1$) при начальной концентрации сахарозы, равной единице ($z_0 = 1$). Время t будем выражать в минутах; i и z_0 можно выражать в любых, но одинаковых мерах (например, если z_0 выражено в процентах по весу раствора, то и i будет найдено в процентах по весу раствора; если же принять $z_0 = 100$, то найдем i — количество инвертного сахара на 100 частей сахарозы).

* Скорость инверсии, т. е. коэффициент c , пропорционален концентрации ионов водорода C_H , так как ион водорода является катализатором реакции инверсии. Следовательно:

$$c = c_0 C_H. \quad (2)$$

Здесь c_0 — коэффициент, уже не зависящий от концентрации ионов водорода, но c_0 весьма быстро увеличивается с повышением температуры: температурный коэффициент реакции инверсии — около 3.

Табл. 8 дает величину коэффициента c_0 для различных температур.

Таблица 8
Константы инверсии сахарозы (c_0)
(из данных для 0,01 n HCl пересчитано для 1 n кислоты)

Температура (в °C)	c_0	Температура (в °C)	c_0
50	0,1145	80	3,303
60	0,3806	90	8,922
70	1,182	100	26,797

Аррениус дал следующую зависимость c_0 от температуры (пригодно для температур от 0 до 100°):

$$\frac{A (T_1 - T_0)}{T_0 T_1}$$

$$c_{0T_1} = c_{0T_0} \cdot e,$$

где T_1 и T_0 — абсолютные температуры, e — основание натуральных логарифмов, $A = 12820$ — постоянная величина.

Для практического применения удобно следующее найденное нами выражение, дающее возможность вычислить c_0 для любой температуры (от 30 до 100°):

$$\lg c_0 = 16,74 - \frac{5720}{T}$$

Концентрация ионов водорода C_H зависит от концентрации взятой кислоты и от степени ее электролитической диссоциации. Мы можем считать, что лишь самые сильные неорганические кислоты (HCl, HNO₃) в разбавленных растворах почти нацело распадаются на ионы.

Для слабых органических кислот ($H^+ \rightleftharpoons A^-$) имеем равновесную систему:



Здесь обычно диссоциированная часть гораздо, меньше недиссоциированной. Закон действующих масс дает зависимость:

$$\frac{C_{H^+} \cdot C_{A^-}}{C_{HA}} = K,$$

где K — константа диссоциации.

В растворе кислоты без примесей ее солей имеем $C_{H^+} = C_{A^-}$.

Если общую концентрацию кислоты обозначим через C , то будем иметь

$$C_{H^+} + C_{HA} = C \text{ и } C_{HA} = C - C_{H^+}.$$

Подставляя все это в наше уравнение действия масс, найдем:

$$\frac{C_{H^+}^2}{C - C_{H^+}} = K,$$

откуда легко находится C_{H^+} , если знаем K . Для слабых кислот, для которых C_{H^+} весьма мало по сравнению с C , из предыдущего уравнения найдем, что приблизительно $C_{H^+} = \sqrt{K \cdot C}$.

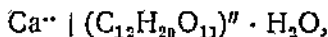
* *Пример.* Кислый сахарный раствор с $pH = 6,0$ (т. е. $C_{H^+} = 10^{-6}$) нагревается 60 мин. при температуре 100° . Найдем количество инверта, образовавшегося на 100 частей сахара.

По табл. 8 найдем $c_0 = 26,797$ (для температуры 100°). Следовательно, $c = 10^{-6} \cdot 26,797$ и $i = \alpha_0 c = 10^{-6} \cdot 26,797 \cdot 100 \cdot 60 = 0,16\%$ от всего имеющегося сахара. При $pH = 5$ (т. е. $C_{H^+} = 10^{-5}$) нашли бы уже значительное (в 10 раз большее) количество инверта — $1,6\%$.

Действие щелочей. Щелочи (и щелочные земли) не разлагают и не осмоляют сахарозу (отличие от моноз), так как сахароза не содержит ни свободной альдегидной, ни кетонной группы.

1. Щелочи с сахарозой дают сахараты, т. е. соединения типа алкоколятов: металл становится на место водорода в гидроксильных группах сахарозы. Таким образом сахароза играет здесь роль слабой кислоты. Константа электролитической диссоциации сахарозы, как кислоты, при температуре 25° равна $3 \cdot 10^{-13}$ (Смоленский и сотрудники, также Гирш и Шлагс).

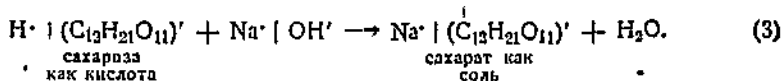
Ряд сахаратов был получен в твердом виде путем осаждения алкоголем из растворов, содержащих сахарозу и щелочь, например $Ca \cdot H_{21}O_{11}Na$ — моносахарат натрия, $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO$ — моносахарат кальция, который, быть может, правильнее было бы писать не по этой устарелой дуалистической системе, а иначе, например:



где было бы видно, что сахарат — это соль сахарозы как кислоты.

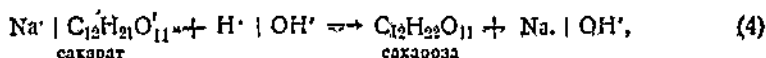
Для производства большое значение имеют не эти твердые препараты сахаратов, а физико-химические отношения сахаратов в водных растворах.

2. Разберем например реакцию образования моносахарата натрия:



Следовательно, реакция состоит в том, что ион водорода из сахарозы, действующей как слабая кислота, соединяется с ионом гидроксила щелочи и дает очень слабо диссоциированную молекулу воды; рядом остается катион $\text{Na} \cdot$ и анион $(\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{O}_{11})'$; это и будет то, что мы называем сахаратом — соль металла и сахара как кислоты.

Если бы сахароза была сильной кислотой, например как HCl , то реакция шла бы только в сторону, указанную стрелкой в уравнении (3), вся щелочь могла бы быть нейтрализована сахаром. На самом деле, как бы много сахарозы мы ни брали, смесь ее, хотя бы и с очень малыми количествами NaOH , имеет щелочную реакцию (и на лакмус и на фенолфталеин). Это объясняется тем, что сахароза весьма слабая (слабо диссоциированная) кислота, а вода диссоциирует (хотя и очень слабо) на ионы $\text{H} \cdot$ и OH' . Поэтому кроме реакции (3) образования сахарата идет одновременно и обратная реакция гидролиза (разложения водой) сахарата:



т. е. анионы $(\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{O}_{11})'$, встречаясь с ионом $\text{Na} \cdot$, получаемым при электролитической диссоциации воды, обратно дают сахарозу, и следовательно, в свободном состоянии остаются ионы Na и OH' .

Объединяя реакции, выраженные в уравнениях (3) и (4), можем написать:



т. е. при смешивании водных растворов сахара и щелочи мы имеем подвижное равновесие двух противоположных реакций; в растворе имеется и сахар, и щелочь, и некоторое количество сахарата.

Которая из двух реакций (3) или (4) преобладает, зависит от условий и соотношения количества сахарозы, щелочи и воды.

а) Если мы будем брать более разбавленные растворы, то будет преобладать реакция гидролиза (4), так как, разбавляя растворы, мы увеличиваем действующую массу воды ($\text{H} \cdot / \text{OH}'$), что и вызывает преобладание данной реакции как реакции с ионом $\text{H} \cdot$ из воды. Итак, в более концентрированных растворах сахарозы и щелочи больший процент их идет на образование сахарата.

б) Если брать избыток щелочи по сравнению с сахарозой, то щелочь будет оставаться в свободном состоянии, но зато больший процент сахарозы превратится в сахарат; увеличенная действующая масса щелочи даст преобладание реакции (3).

в) Если взять избыток сахарозы по сравнению со щелочью, то значительная доля сахарозы останется не превратившейся в сахарат, но своей массой она даст преобладание реакции (3), и более значительная доля сахарозы останется не превратившейся в сахарат.

г) Температура оказывает огромное влияние на равновесие в сахаратном растворе, так как при повышении температуры чрезвычайно сильно увеличивается электролитическая диссоциация воды:

Температура (в °C)	20	40	60	80	99
Константа диссоц. воды $\times 10^{14}$	0,86	3,80	12,60	34,10	73,96

Следовательно, при температуре 99° вода в 86 раз более диссоциирована, чем при 20°. Это вызывает преобладание реакции гидролиза сахарата (4), т. е. реакции именно с ионом H^+ . Итак, при повышении температуры резко уменьшается образование сахаратов, они особенно сильно гидролизуют.

* 3. Образование сахаратов обнаруживается в целом ряде явлений, которые могут изучаться на опыте и из которых мы можем сделать заключения о количестве образовавшегося сахарата. Главнейшие из этих явлений следующие:

а) Если измерить концентрацию ионов гидроксила (C_{OH^-}) в чистом водном растворе щелочи и в том же растворе в присутствии сахарозы, то эта последняя концентрация будет значительно меньше (или, что равносильно, C_{H^+} больше). Это обозначает, что образовался сахарат, т. е. ионы H^+ из сахарозы связали OH^- -ионы в воду.

Измерение C_{OH^-} и C_{H^+} можно провести электрометрически, или колориметрически, или же по измерению скоростей реакций, для которых OH^- является катализатором (например омыление этилацетата).

б) Выше мы говорили, что в присутствии щелочи вращательная способность сахарозы оказывается ниже, так как образовавшийся сахарат имеет меньшую вращательную способность. Наблюдая понижение вращательной способности, можно также вычислить количество образовавшегося сахарата.

в) Для плохо растворимых оснований, как $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, образование сахаратов обнаруживается в повышении растворимости этих оснований: в растворах сахара они гораздо лучше растворимы, чем в чистой воде. Это объясняется образованием сахаратов. Сама по себе известка так же плохо растворяется в сахарном растворе, как и в воде, но сахароза образует растворимый сахарат кальция, поэтому в растворе оказывается уже гораздо большее количество известки. Здесь предел растворимости устанавливается гидролизом: часть сахарата всегда гидролизирована, следовательно

но наряду с сахаратом кальция в растворе имеется и гидрат окиси кальция, как продукт гидролиза. Когда в раствор переходит больше извести в виде сахарата, то там больше оказывается и свободного гидрата окиси кальция. Раствор сахарозы будет насыщен известью, когда получающийся вследствие гидролиза гидрат окиси кальция будет представлять собой уже насыщенный водный раствор.

Все перечисленные выше методы изучения образования сахаратов были использованы проф. Смоленским и его сотрудниками.

Главнейший цифровый материал работ Смоленского приведен в табл. 9, 10 и 11. Эти работы [32] весьма четко и стройно подтверждают изложенную выше физико-химическую теорию образования и гидролиза сахаратов и образуют необоснованность высказываемого иногда взгляда (Ван-Акен), будто бы сахараты являются коллоидными растворами извести в сахарных растворах.

Таблица 9

pH растворов NaOH и сахарозы (при 18°)
(по К. Смоленскому и В. Козловскому)

NaOH $\frac{\text{г} \times \text{экв.}}{\text{л}}$	Сахароза $\frac{\text{г} \times \text{мол}}{\text{л}}$				
	0,0	0,2	0,5	1,0	2,0
1,0	13,82	13,79	13,50	13,09	12,41
0,5	13,59	13,42	13,04	12,53	11,90
0,2	13,24	12,88	12,46	11,94	11,36
0,1	13,06	12,43	12,03	11,56	11,01
0,05	12,74	12,06	11,65	11,21	10,68
0,02	12,34	11,57	11,21	10,74	10,30
0,01	12,09	11,29	10,89	10,48	9,97
0,001	11,02	10,44	9,82	9,39	9,24

Таблица 10

pH растворов Ca(OH)₂ и сахарозы (при 18°)
(по К. Смоленскому и С. Порейко)

Са(ОН) ₂ $\frac{\text{г} \times \text{экв.}}{\text{л}}$	Сахароза $\frac{\text{г} \times \text{мол}}{\text{л}}$					
	0,0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
1,0	—	—	—	12,46	12,08	11,71
0,5	—	—	—	12,28	11,90	11,55
0,2	—	—	12,47	12,06	11,65	11,21
0,1	—	12,46	12,23	11,79	11,35	10,92
0,05	—	12,16	11,96	11,49	11,05	10,60
0,02	12,23	11,79	11,59	11,10	10,66	10,21
0,01	11,96	11,51	11,27	10,78	10,36	9,90
0,005	11,68	11,21	10,94	10,48	10,05	9,59

Таблица 11

Растворимость СаО (г в 100 см³) в воде и в сахарных растворах
(по К. Смоленскому и В. Зеро)

Сахароза г/100 см ³	Температура (в °С)				
	0	20	40	60	80
0,0	0,136	0,127	0,110	0,089	0,072
1,5	0,253	0,176	0,133	0,119	—
3,0	0,477	0,281	0,201	0,146	—
6,0	1,173	0,661	0,311	0,213	0,131
12,0	2,539	1,970	0,937	0,423	0,205
18,0	4,141	3,554	1,943	1,169	0,357
24,0	5,207	5,154	2,825	1,978	0,591
30,0	—	6,967	4,162	3,062	1,415
36,0	—	—	5,216	3,729	2,502
pH (среднее)	12,60	12,50	12,27	12,21	—

Работами проф. Смоленского и его сотрудников подтверждено, что сахароза является чрезвычайно слабой многоосновной кислотой; константа диссоциации для первой ступени (первый ион водорода) — $3 \cdot 10^{-13}$ и для второй ступени — $0,3 \cdot 10^{-13}$.

При значительном избытке оснований могут замещаться на металл до шести водородов молекулы сахарозы. Это наблюдается при образовании сахаратов кальция.

* 4. Сахараты кальция. Известны три сахарата кальция, в которых замещены на кальций два, четыре или шесть водородов сахарозы. Их формулы по старой, но до настоящего времени обычной, дуалистической системе таковы:

$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO \cdot 2H_2O$ — монокальциевый сахарат, или моносахарат кальция.

$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2CaO$ — бикальциевый сахарат, или бисахарат кальция.

$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO \cdot 3H_2O$ — трехкальциевый сахарат, или трисахарат кальция.

Два первых сахарата кальция растворимы в воде, а третий плохо растворим. Образованием первых двух из них объясняется большая растворимость извести в сахарных растворах, чем в воде. Этой растворимости должно быть уделено особое внимание.

Таблица 12

Растворимость СаО в 10%-ном сахарном растворе

Температура (в °С)	Процент СаО в растворе по определениям		
	Лами	Классена	Герцфельда
0	(2,50)	(2,45)	—
15	(2,15)	(1,83)	0,98
30	1,20	1,14	0,76
50	0,53	0,50	0,50
70	0,23	0,23	0,27
100	0,16	0,14	0,15

Таблица 13.

Растворимость СаО в 13%-ном сахарном растворе в зависимости
от формы извести
(Классен)

Температура (в °С)	Процент СаО в растворе		
	куски негаше- ной СаО	свежее извест- ковое молоко	старое извест- ковое молоко
100	0,249	0,230	0,201
90	0,302	0,254	0,210
80	0,366	0,305	0,272
70	0,573	0,405	0,335
50	1,380	0,829	0,738

а) Данные растворимости извести в воде и сахарных растворах приведены в табл. 11, 12 и 13. По этим данным можно отметить следующее:

1) растворимость в сахарных растворах в несколько раз выше, чем в воде (образование сахаратов);

2) при повышении температуры растворимость в сахарных растворах резко понижается, что объясняется усилением гидролиза сахаратов при повышении температуры;

3) при увеличении концентрации сахара увеличивается растворимость извести, что объясняется также большим количеством образовавшихся сахаратов.

Обращают внимание странные расхождения в данных растворимости извести в сахарных растворах (см. табл. 12) у разных авторов и странное явление зависимости растворимости от формы извести по работам Классена (см. табл. 13): негашеная известь растворяется значительно больше, чем гашеная, и даже всего растворима известь старого известкового молока. Имеются еще непонятные наблюдения Классена: обычно в первые 5 мин. в растворе оказывается больше извести, а при дальнейшем перемешивании (60 мин.) количество извести в растворе несколько уменьшается, тогда как следовало бы ожидать обратного явления.

Эти явления можно понять и объяснить [33]. Физико-химия учит нас, что определенную «нормальную» растворимость имеют лишь не слишком мелкие кристаллы. Для очень мелких частиц растворимость больше нормальной (иногда в 2—3 раза). Негашеная известь является системой весьма высокой степени дисперсности (размельчения). При обжигании углекислородной соли углекислота улетает, а известь остается в виде губки весьма тонкого строения. Понятно, что растворимость таких частиц будет выше нормальной; поэтому негашеная известь лучше растворима, чем известковое молоко. При гашении с небольшим количеством воды создаются благоприятные условия для процесса перекристаллизации — растворения более растворимых мелких частиц и укрупнения за их счет более крупных, по отношению к которым раствор оказывается пе-

ресыщенным. Однако такая перекристаллизация происходит не моментально, вследствие чего старое известковое молоко получается с более крупными частицами и меньшей растворимостью. Изложенная теория подтверждена нами на опыте; негашеную тонко размолотую известь мы всыпали в воду и получали растворимость в воде в 1,51 раза большую нормальной; при этом было замечено, что излишек извести из этого пересыщенного раствора выпадал лишь весьма медленно, т. е. известь обладает очень малой скоростью кристаллизации.

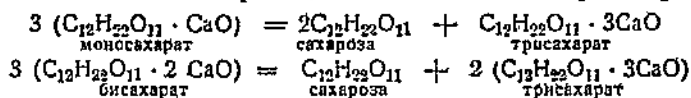
Аналогичные воззрения и подтверждающие их опыты позже были развиты Рейндерсом и еще позже — Сальманом [33]. Рейндерс, например, наблюдал в течение первых 3 мин. растворимость извести в сахарных растворах, которая в три раза превышала обычную растворимость; следовательно, действительно наблюдается аномально большая растворимость чрезвычайно мелких частиц извести.

б) Моносахарат кальция $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot CaO \cdot 2H_2O$ получается не только в растворе, но может быть получен и в твердом виде путем осаждения раствора сахара и извести спиртом. В воде он хорошо растворим.

в) Бисахарат кальция $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2CaO$ выкристаллизовывается при охлаждении льдом насыщенного известью (негашеной, порошком) сахарного раствора, в котором на одну молекулу сахарозы приходится две молекулы извести.

г) Трисахарат кальция $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 3CaO \cdot 3H_2O$ имеет важное значение, так как он плохо растворим в воде (около 1,06% при 14,5°; выражено в процентах сахара, перешедшего в раствор). Поэтому образование трисахарата кальция используется для выделения сахара из патоки (сепарация по Стеффену). Имеется два метода получения трисахарата кальция.

При нагревании насыщенных известью сахарных растворов, т. е. растворов моно- и дисахаратов, выпадает осадок трисахарата:



Реакции эти можно объяснить так: при нагревании раствора моносахарат или бисахарат гидролизует, получаются сахар и известь; раствор оказывается пересыщенным известью, которая должна была бы выпасть в осадок, но так как она кристаллизуется медленно, то выпадает быстрее кристаллизующийся и тоже плохо растворимый трисахарат кальция [33]. При охлаждении раствора гидролиз уменьшается, и трисахарат вновь растворяется.

Таким образом будут понятны и следующие явления: если имеется избыток сахара в растворе по сравнению с известью, то, несмотря на нагревание, трисахарат не получается, так как избыток сахара (действие массы) затрудняет гидролиз моносахарата и освобождение извести; разбавление водой, наоборот, усиливая

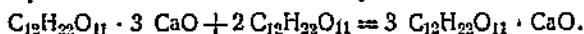
гидролиз, облегчает выделение трисахарата. Интересно и важно отметить, что трисахарат выпадает успешно из прозрачных фильтрованных растворов сахара, не содержащих взвешенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$; если же имеется избыток нерастворившегося $\text{Ca}(\text{OH})_2$, то при нагревании выпадает не трисахарат, а $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Наша теория объясняет это явление: когда мы имеем готовый осадок $\text{Ca}(\text{OH})_2$, то мы облегчаем и ускоряем выкристаллизовывание на эту готовую затравку дальнейших количеств $\text{Ca}(\text{OH})_2$, получаемых вследствие гидролиза при нагреве; поэтому не успевает выпасть трисахарат, а выпадает $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При колебаниях температуры на дефекации и сатурации не выпадает трисахарат кальция, так как там имеется избыток извести в осадке.

Трисахарат кальция может быть получен также и на холоду (при температуре не более 35° , лучше — не выше 20°); в сахарный раствор концентрации 6—12% при энергичном перемешивании высыпается тонкий порошок негашеной извести. При этих условиях лишь около 1% сахара остается в растворе, весь остальной сахар получаем в осадке в виде трисахарата. Если применять известь в кусках или известковое молоко, трисахарат не образуется. Объяснение таково [33]: порошок извести имеет весьма тонкое строение, так как каждая его пылинка является агглюмератом еще более тонких частиц; такой порошок дает аномально большую растворимость извести; получается пересыщенный раствор извести, которая должна была бы выпасть из этого пересыщенного раствора, но так как скорость кристаллизации извести очень мала, то выпадает трисахарат кальция.

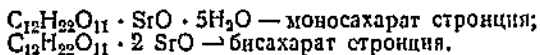
Трисахарат кальция более растворим в воде, чем известь, поэтому водный раствор над осадком трисахарата кальция всегда пересыщен известью. Если облегчить выпадение извести путем прибавки избытка $\text{Ca}(\text{OH})_2$, то постепенно трисахарат будет переходить в раствор, а известь выпадать. Таким образом трисахарат кальция оказывается соединением неустойчивым, способным постепенно разлагаться, давая $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и моносахарат и бисахарат кальция в растворе. Разложение идет вообще медленно, но ускоряется при избытке $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Изложенная теория образования и разложения трехкальцевого сахара в настоящее время находит подтверждение также и в упомянутых уже работах Рейндерса и Гельдера, а также Сальмана [33].

Трисахарат кальция весьма легко растворяется в сахарных растворах, переходя в моно- и бисахарат:



* 5. Сахараты стронция.



Моносахарат стронция образуется так же, как и моносахарат кальция, путем растворения $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в сахарном растворе. Растворимость в сахарном растворе оказывается также значитель-

но больше, чем в воде (табл. 14). Разница от соответствующих отношений для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в том, что растворимость $\text{Sr}(\text{OH})_2$ в воде довольно значительна и с повышением температуры не падает, как у $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а очень быстро увеличивается. Вследствие этого и в сахарном растворе при повышении температуры растворимость $\text{Sr}(\text{OH})_2$, несмотря на гидролиз сахара, не падает, а растет.

Таблица 14

Растворимость SrO и моносахарата стронция в воде

Температура (в °C)	Растворимость в % (весов.) SrO	Растворимость $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \text{SrO}$	
		сахароза (в г) в 100 см ³	SrO (в г) в 100 см ³
0	0,35	2,18	0,660
10	0,48	2,88	0,871
20	0,69	3,73	1,129
30	1,00	4,81	1,457
40	1,48	6,32	1,912
50	2,13	9,36	2,832
60	3,03	16,53	5,002
70	4,33	—	—
80	6,57	—	—
90	12,00	—	—
100	19,48	—	—

Моносахарат стронция может быть получен с хорошим выходом (70—75%) и в кристаллическом виде, если например дать остыть приготовленному при температуре 70—75° насыщенному раствору моносахарата стронция (около 20% сахара в растворе): при низких температурах (см. табл. 14) раствор оказывается пересыщенным, и моносахарат выкристаллизовывается. Следует заметить, что если к пересыщенному раствору прибавить кристаллов $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, то вместо моносахарата в осадок выкристаллизовывается $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Моносахарат стронция легко дает пересыщенные растворы.

Бисахарат стронция плохо растворим в кипящей воде (в 84 частях, т. е. лишь 1,18%), и поэтому получается в осадке, если к кипящему 15%-ному сахарному раствору прибавлять $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Последний при 100° очень хорошо растворим в воде (около 20% SrO); когда на одну молекулу сахара в растворе окажется более двух молекул SrO , начинает выпадать бисахарат стронция в виде плотного кристаллического осадка; при добавлении на одну молекулу сахарозы трех молекул SrO и после 8—10 мин. кипячения осаждение сахарозы в виде бисахарата оказывается почти количественным.

На этой реакции основан стронциановый метод получения сахара из патоки.

Бисахарат стронция легко растворяется в сахарных растворах, переходя в моносахарат. При стоянии с водой на холоду бисахарат

постепенно разлагается, в осадке оказывается лишь гидрат окиси стронция, а сахар — в виде моносахарата в растворе.

* 6. Сахарат бария известен лишь один — это моносахарат $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot BaO$. Он плохо растворим в воде (в 47,6 части воды при температуре 15° и в 43,4—при температуре 100°), легко растворяется в сахарном растворе, почти нерастворим в воде, насыщенной $Ba(OH)_2$ (действие массы). Если обратить внимание на очень большую растворимость $Ba(OH)_2$ в воде при повышенных температурах (табл. 15), становится понятным метод получения сахарата бария; он осаждается при кипячении сахарных растворов с гидратом окиси бария.

Таблица 15

Растворимость $Ba(OH)_2$ или BaO в воде

Температура (в °C)	0	10	20	30	40	50	60	70	75	78
% BaO в раство- ре	1,48	2,17	3,36	4,75	6,85	10,5	15,8	24,2	36,2	48,6

* Окислители, как, например, аммиачный раствор азотно-кислого серебра, фелингова жидкость или иод в щелочном растворе, на сахарозу не действуют, так как она не содержит легко окисляемых альдегидных или кетонных групп.

Однако нужно иметь в виду, что слабое действие на сахарозу фелингова жидкость все-таки обнаруживает.

В щелочной среде сахароза, хотя и медленно, способна окисляться при пропускании через раствор кислорода (или газа, содержащего кислород, например, воздуха, сатурационного газа). При 15%ном растворе сахарозы и избытке извести, при пропускании чистого кислорода количество сахарозы, окисляемой в час при температуре 80°, равняется 1,4% от всего количества сахарозы [34].

Азотная кислота окисляет сахарозу, которую прежде всего инвертирует (как кислота), а затем уже окисляет обычным образом продукты инверсии — глюкозу и фруктозу.

Нагревание твердой сахарозы. Сахароза плавится при температуре 180—186°, причем уже при более низкой температуре она начинает разлагаться. Происходит так называемая «карамельзация» сахарозы, т. е. образование сложных, окрашенных в бурый цвет, горького вкуса ангидридов; при этом выделяется вода. Карамели получаются при нагревании сахарозы до температуры 170—190°. Получаются смеси, в которых различают три составные части: карамелан, карамелен и карамелин (каждый из них, наверное, тоже является смесью).

В зависимости от условий и продолжительности нагрева может быть получено больше то одного, то другого продукта карамели-

зации; свойства этих продуктов кратко характеризуются следующей таблицей:

Название и формула	Температура плавления (в °C)	Уд. вращ. α _D	Растворимость	Свинцовый вкус
Карамелан $C_{24}H_{36}O_{13}$ ($C_{12}H_{18}O_6$)	144,8—145	+80	Растворяется в H ₂ O, CH ₃ OH, в C ₂ H ₅ OH (84%)	Не осаждается (но в присут- ствии аммиака дает осадок)
Карамелен $C_{86}H_{50}O_{25}$ ($C_{12}H_{18}O_6$)	204—205	+65,4	Растворяется в H ₂ O (да- же на холоду), но не в CH ₃ OH и не в C ₂ H ₅ OH	Осадок
Карамеллин (гуми- новое вещество) $C_{24}H_{26}O_{13}$ ($C_{24}H_{30}O_{15}$)	Не плавится	—	Растворяется в H ₂ O лишь при кипячении, давая коллоидный опалесци- рующий раствор; рас- творяется в щелочах, осаждается кислотами	Осадок

Карамели восстанавливают фелингову жидкость, например 1 часть карамелана восстанавливает 0,3 части меди, т. е. в 6—7 раз слабее, чем инвертный сахар.

При действии разбавленных кислот карамели гидролизуются, выделяя в осадок гуминовые кислоты (состава $C_8H_{10}O_5$), а в растворе оказываются глюкоза, немного фруктозы и леволиновая кислота.

Эрлих получил карамель более постоянных свойств, нагревая сахарозу в вакууме при температуре 200°. Он отмывал продукт метиловым спиртом, в котором растворялось очень мало вещества, а остаток растворял в воде. Таким образом по методу получения — это карамелен, но формула у него оказалась $C_{12}H_{18}O_6$, т. е. как у карамелана, а название дано «сахаран»; красящая сила его чрезвычайно высока; раствор, содержащий лишь 0,004% сахарана, по окраске равен 1° Штаммера. Предложено было даже окраску растворов выражать в «градусах Эрлиха», т. е. в миллиграммах сахарана на 100. см³.

Более осторожный нагрев сахарозы до температуры 185—190° в вакууме (Pictet) дает изосахарозан с формулой $C_{12}H_{20}O_{10}$, обладающий следующими свойствами: растворим в метиловом спирте (но осаждается ацетоном), не бродит, белого цвета, температура плавления 94—94,5°, $[\alpha]_D = +64^\circ$, вкус горький, легко гидролизуется (на холоду), давая инвертный сахар.

По недавним исследованиям Швейцера, все карамели представляют собой смеси изосахарозана с большим или меньшим количеством гумина, который при растворении карамелей образует коллоидные растворы.

* Нагревание растворов сахарозы. Кислые растворы конечно инвертируют, причем скорость инверсии зависит от температуры и pH.

Нейтральные растворы, вначале очень медленно инвертируясь и разлагаясь, дают кислые продукты разложения, что вызывает ускорение дальнейшего процесса разложения сахарозы (автокатализ).

Щелочные растворы обладают весьма значительной устойчивостью при нагреве, но все-таки постепенно количество сахарозы в них уменьшается, а раствор окрашивается в бурый цвет. Скорость разложения зависит от концентрации раствора и от продолжительности нагрева. О количественной стороне можно судить по таблице Герцфельда и Душского (табл. 16).

Таблица 16

Потери сахара при нагревании щелочных сахарных растворов по Герцфельду и Душскому
(в мг на 100 г сахара в 1 час)

Температура (в °C)	Содержание сахара в соке (в %)							
	10	20	30	40	50	60	70	75
80	44,4	30,1	15,7	17,9	20,0	23,0	17,0	17,0
85	61,5	42,1	22,3	26,2	29,6	29,0	17,0	26,0
90	79,0	54,1	29,0	34,4	39,2	35,0	17,0	35,0
95	96,5	66,1	35,7	42,7	48,8	35,0	26,0	43,0
100	114,0	78,1	42,3	50,8	58,4	35,0	35,0	51,0
105	138,5	93,7	49,0	58,8	68,0	87,8	75,2	75,2
110	163,0	109,3	55,7	66,7	77,6	100,3	87,8	100,3
115	174,9	118,7	62,3	74,8	86,2	133,7	183,7	167,2
120	282,3	234,1	185,7	226,9	267,8	250,8	225,7	200,6
125	533,0	508,2	483,3	593,9	704,4	702,1	601,8	702,1
130	2055,3	1461,0	866,7	1023,5	1180,0	1303,9	1103,3	1053,1

Недостатком работы и таблицы Герцфельда и Душского является отсутствие измерений pH. Поэтому в последнее время Шпенглер, Бетгер и Зелигер [35] вновь провели работу по влиянию нагрева сахарных растворов на их поляризацию и на нарастание цветности, причем применялись растворы с определенным pH (буферные боратные смеси). Изменения поляризации не дали никаких закономерностей; иногда поляризация немного падала, иногда немного повышалась (вероятно, разложение сахарозы компенсировалось образованием каких-то правообращающих продуктов). В нарастании цветности нагреваемых сахарных растворов наблюдалось гораздо более последовательности, что видно из следующих данных:

**Нарастание цветности в градусах Штаммера на 100 г сахара за 1 час при нагревании сахарных растворов
(в латунном сосуде)**

I. 50%-ный сахарный раствор				II. 17%-ный сахарный раствор			
pH	90°	110°	130°	pH	90°	110°	130°
8,8	0,67	6,93	56,5	8,9	1,26	12,1	98,0
9,8	1,24	12,3	97,0	10,0	1,66	16,9	131,0

Из приведенных данных видно, что нарастание окраски подчиняется следующим закономерностям: 1) более разбавленные растворы более повышают окраску; 2) при повышении pH нарастание окраски увеличивается (на единицу pH почти в два раза); 3) с повышением температуры нарастание цветности быстро увеличивается (для каждой 10° приблизительно в три раза).

Брожение. Дрожжи сбраживают сахарозу в спирт и углекислоту, причем предварительно сахароза инвертируется инвертазой дрожжей. В растворах сахарозы легко развивается также молочнокислое, маслянокислое и слизевое брожение.

Рафиноза (мелитриноза, госсипоза)

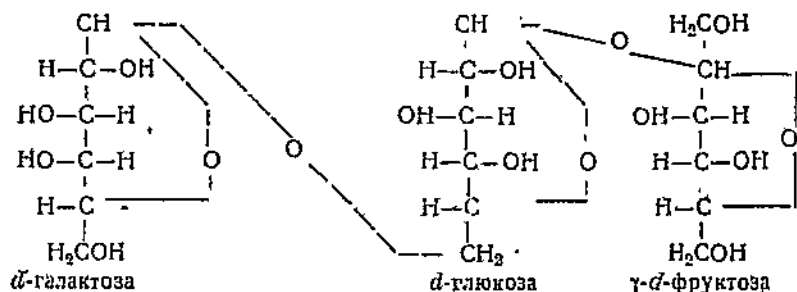
В сахарной свекле количество рафинозы весьма невелико (0,01—0,03%). Обнаружить ее там аналитически не удастся, но она накапливается в патоке, иногда до 1,0% (иногда же ее там и не оказывается). Рафиноза особенно накапливается при обессахаривании патоки по Стеффену; в этом случае она препятствует бесперебойной работе.

Рафиноза встречается в мякоти некоторых австралийских эвкалиптов и в семенах хлопчатника в большем, чем в свекле, количестве (более 2%).

Формула $C_{18}H_{32}O_{16} \cdot 5H_2O$. Рафиноза представляет собой трисахарид, состоящий из галактозы, фруктозы и глюкозы, причем ни альдегидных, ни кетонных групп она не имеет, т. е. структура ее может быть изображена символом:

галактоза < глюкоза > фруктоза.

Более подробная структурная формула:



Физические свойства. Рафиноза кристаллизуется в иглах или призмах, растворяется в воде, не сладка на вкус.

Растворимость, считая на ангидрид:

Температура (в °C)	0	10	16	24
Процент в растворе (ангидрида) . . .	6,5	10,0	14,5	28,4

Вращательная способность $[\alpha]_D^{20} = +123,1^\circ$ (считая на ангидрид) — почти в два раза больше, чем у сахарозы.

Химические свойства. С фелинговой жидкостью не реагирует.

При непродолжительном действии кислот (инверсия в условиях по Герцфельду) идет неполный гидролиз рафинозы; отщепляется лишь напряженная группа γ -*d*-фруктозы, и остается дисахарид, восстанавливающий уже фелингову жидкость, состоящий из *d*-галактозы и *d*-глюкозы и названный мелибиозой (вращательная способность его $[\alpha]_D^{21} = +143^\circ$). Такой же частичный гидролиз производит фермент инвертин.

При дальнейшем воздействии кислоты мелибиоза расщепляется на *d*-галактозу и *d*-глюкозу.

Фермент эмульсин, действуя в иной направлении, может производить расщепление рафинозы на галактозу и сахарозу.

При нагревании сухая рафиноза мало прочна: при температуре 100—105° уже буреет, тогда как сахароза выдерживает без изменения цвета нагрев до температуры 125°.

Рафинозаты получают аналогично сахаратам при действии щелочей или гидратов окисей щелочноземельных металлов на рафинозу. Следует особо отметить, что с СаО может быть получен в тех же условиях, как для сахарозы, плохо растворимый в воде трехкальциевый рафинозат $C_{18}H_{32}O_{16} \cdot 3CaO \cdot 3H_2O$. Следовательно, при выделении сахара из патоки методом получения трисахарата кальция будет одновременно осаждаться и рафиноза. С окисями стронция и бария рафиноза не дает нерастворимых в воде рафинозатов.

Брожение. С низовыми пивными дрожжами (тип Заац и Фроберг) рафиноза, хотя и медленнее, чем сахароза, сбраживает полностью.

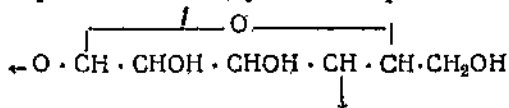
Верховые винокуренные дрожжи сбраживают рафинозу лишь на одну треть: сбраживается лишь фруктоза, так как эти дрожжи содержат лишь энзим инвертазу, отщепляющий фруктозу, но не имеют мелибиазы, поэтому мелибиоза остается несброженной.

Полисахариды II класса (сахароколлоиды)

Клетчатка (целлюлоза)

Клетчатка — одна из важнейших составных частей клеточных стенок, или мезги свеклы (около $\frac{1}{4}$ сухого вещества мезги).

Формула $(C_6H_{10}O_5)_x$. Это — сложный углевод, состоящий из остатков ангидроглюкозы следующего строения:



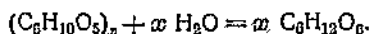
Как видим, такой остаток имеет две свободные валентности, при помощи которых эти остатки сцеплены друг с другом в более сложные комплексы.

Эти последние посредством вторичных единиц сродства связываются уже в большой агрегат молекулы целлюлозы.

Физические свойства. Целлюлоза нерастворима в обычных растворителях (вода, спирт, эфир). Растворяется в аммиачном растворе окиси меди и в растворе хлористого цинка, но при этом молекула целлюлозы уже распадается на более мелкие комплексы.

Химические свойства целлюлозы характеризуются прежде всего чрезвычайной устойчивостью по отношению к химическим воздействиям. Разбавленные кислоты и щелочи на нее не действуют, тем более не влияет нагрев с водой.

Она растворяется и гидролизируется на холоду с 70%-ной серной кислотой и еще лучше со сверхконцентрированной соляной кислотой (уд. вес 1,21, т. е. 41%-ная HCl). Для полного гидролиза полученный раствор следует разбавлять и кипятить. При этих условиях целлюлоза превращается в глюкозу:



Целлюлоза может давать ацетильные производные, нитропроизводные, набухает с концентрированными щелочами (образование алкоголятов — основа мерсеризации тканей) и т. п., но все эти свойства в сахарном производстве не имеют значения.

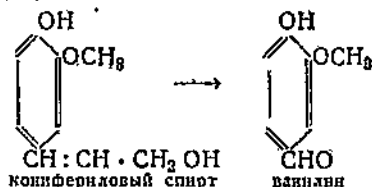
Гемицеллюлозы — также высшие полиозы — содержатся в клеточных стенках сахарной свеклы. Они нерастворимы в воде, но по отношению к действию разбавленных кислот менее устойчивы, чем целлюлоза, — легче подвергаются гидролизу; продукты гидролиза их — гексозы (глюкоза, манноза, галактоза) и пентозы (арабиноза и ксилоза). По продуктам гидролиза гемицеллюлозы приближаются к пектиновым веществам и, по видимому, из них образуются. В зависимости от того, какой продукт гидролиза образует данная гемицеллюлоза, им даются различные названия: гексозаны (декстран, маннан, галактан), пентозаны (арабан, ксилан). Гемицеллюлозы свеклы мало исследованы.

Лигнин (инкрустирующие вещества) может быть кратко рассмотрен здесь же, так как он встречается в связи с целлюлозой, хотя в сущности и не принадлежит к углеводам. Растительные ткани с возрастом постепенно древеснеют, становятся более твердыми, прочными и менее гибкими. Такое одревеснение наблюдается в слабой степени и в корнях свеклы. Оно связано с отложением в стенках клеток так называемых инкрустирующих веществ — лигнина.

Лигнин можно выделить, растворяя клетчатку в 41%-ной соляной кислоте или 70%-ной серной; лигнин в них не растворяется, но теряет ацетильные группы.

По отношению к иным реактивам, наоборот, лигнин оказывается менее устойчив, чем целлюлоза; например он растворяется в едком натре (и может быть обратно осажден из раствора кислотами), в солях сернистой кислоты при нагреве под давлением, при обработке щелочью и хлором, при обработке KClO_3 и HNO_3 .

Относительно основных атомных группировок, входящих в молекулу лигнина, имеются лишь отрывочные сведения, которые далеко не достаточны, чтобы дать ясное представление о его структуре. Установлено, что он содержит группу метоксила $-\text{O}-\text{CH}_3$, группы гидроксила, ацетильные группы (вероятны), акролеиновую группировку $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO}$ (объясняет реакции с хлором и другими окислителями), ароматические и гидроароматические ядра, ядро кониферилового спирта, так как в древесине найден глюкозид этого спирта — кониферин. Кроме того при окислении древесины получается ванилин:



По суммарному составу лигнин отличается от целлюлозы большим содержанием углерода (50% вместо 44,5% в целлюлозе).

Кониферин был найден в свекле, ванилин также оказался в некоторых продуктах сахарного завода (сахар-сырец).

3. ПЕКТИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА

Из сухих веществ в сахарной свекле после сахарозы больше всего содержится пектиновых веществ (около 2,5%). Они составляют приблизительно половину веса мякоти, далеко не так инертны в химическом отношении, как клетчатка, и поэтому играют значительную роль в сахарном производстве.

Определение. Если нерастворимую в холодной воде мякоть свеклы кипятить с водой, то она набухает и часть ее переходит в раствор.

Переходящие при кипячении с водой в раствор вещества мяко-

ти называются пектиновыми веществами. Они очень распространены вообще в плодах и ягодах.

Из лимонов и яблок (выжимки) получают пектин даже фабричным способом.

Классификация и гидролиз [36]. В мякоти пектиновые вещества содержатся не в свободном виде, а в соединении с целлюлозой (протопектин). Клетчатка, входящая в состав протопектина, как связанная не растворяется в швейцеровом реактиве (аммиачный раствор окиси меди).

При кипячении с водой протопектин расщепляется: клетчатка остается, а пектин (или гидропектин) переходит в раствор.

Пектин оказался (Эрлих) не однородным веществом, а смесью; высушенный пектин лишь отчасти (на 25%) растворим в 70%-ном спирте.

Растворимая в 70%-ном спирте часть оказывается арабаном, т. е. полисахаридом, превращающимся при гидролизе с кислотами в арабинозу (1—2 часа при кипячении с 1%-ной серной кислотой). Арабан вращает влево; $[\alpha]_D = \text{от } -60 \text{ до } -173^\circ$. Он не осаждается свинцовым уксусом.

Судя по переменной вращательной способности, арабан является смесью веществ различной степени сложности. Между прочим, Эрлих выделил из этой смеси тетраарабан ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$).

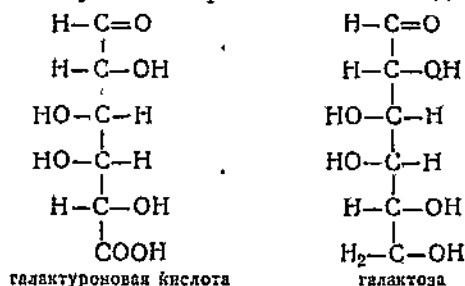
Нерастворимая в 70%-ном спирте часть гидропектина является кальциево-магниевой солью пектиновой кислоты.

Пектиновая кислота вращает вправо; $[\alpha]_D = \text{от } +130 \text{ до } +230^\circ$ (чем энергичнее действие HCl при ее выделении из соли, тем больше $[\alpha]_D$); осаждается свинцовым уксусом.

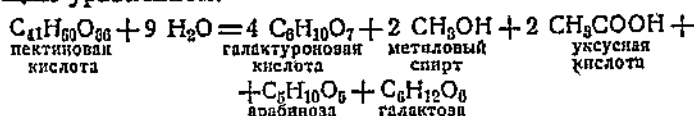
При слабом гидролизе, кислотами от пектиновой кислоты отщепляются метиловый спирт, уксусная кислота, арабиноза и галактоза.

Остается как основное ядро пектиновой кислоты тетрагалактуроновая кислота. Она трудно растворима в воде, вращает вправо: $[\alpha]_D = +285^\circ$; соли щелочноземельных металлов нерастворимы в воде; с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ дает студенистый осадок.

Тетрагалактуроновая кислота при более энергичном гидролизе расщепляется на четыре молекулы галактуронозой кислоты, которая представляет собой галактозу, окисленную в кислоту со спиртового конца молекулы с сохранением альдегидной группы:



На основании изучения продуктов гидролиза формула пектиновой кислоты и процесс гидролиза ее могут быть представлены следующим уравнением:

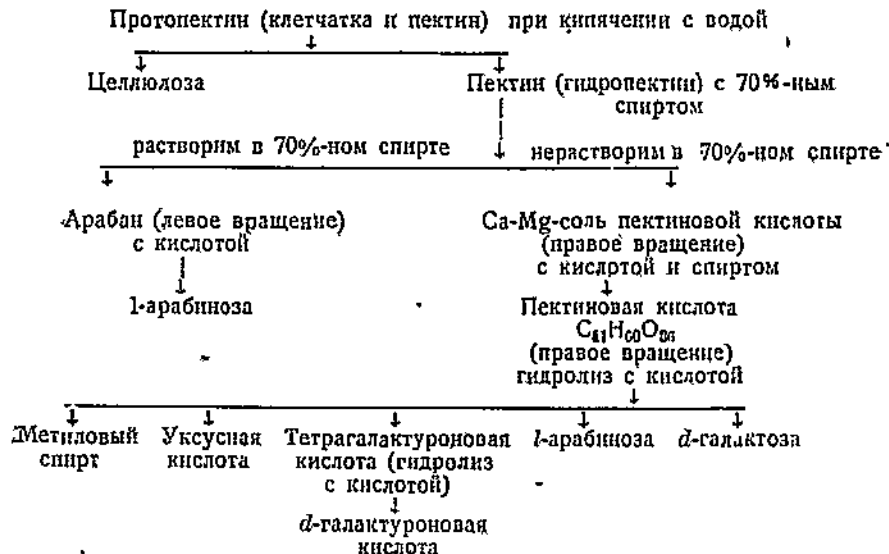


Прямое определение молекулярного веса пектиновой кислоты подтверждает написанную для нее формулу (при предположении, что она связана с $10\text{H}_2\text{O}$). Если иметь в виду, что из четырех карбоксильных групп тетрагалактуроновой кислоты две связаны с двумя CH_3 (сложные эфиры метилового спирта), то нужно считать пектиновую кислоту двухосновной, что тоже подтверждается опытом (титрование).

Метильные группы как группы сложного эфира держатся в молекуле пектиновой кислоты весьма непрочны (омыление щелочью уже на холоду). Еще менее прочно держатся остатки уксусной кислоты, которые при получении пектиновой кислоты уже частично отщепляются.

При щелочном гидролизе пектиновой кислоты одним из продуктов распада является галактоарабан, т. е. полисахарид из связанных между собой молекул галактозы и арабинозы. Но галактоарабан отщепляется гораздо труднее, чем метиловый спирт и уксусная кислота.

Классификация пектиновых веществ и схема гидролиза их могут быть представлены следующим образом:



Гидролиз протопектина, имеющий особо важное значение в работе диффузионной батареи (переход пектиновых веществ в раствор), изучался нами специально.

Найдено, что медленнее всего пектиновые вещества переходят в раствор в слабокислой среде при $\text{pH} = 5,0$. При нейтральной среде ($\text{pH} = 7,0$) скорость перехода в восемь раз больше. Далее, в кислую и щелочную сторону скорость гидролиза весьма быстро растет (рис. 18).

Повышение температуры также весьма ускоряет гидролиз протопектина, причем это ускорение становится особенно резким при температурах более 80° (рис. 19).

С увеличением продолжительности нагрева с водой вначале переход пектиновых веществ растет почти пропорционально времени, но при большей длительности (более 90 мин. и при температуре 90°) скорость растворения поднимается особенно быстро (рис. 20).

По исследованиям Колена [37], при гидролизе протопектина свеклы кальциево-магниевая соль пектиновой кислоты отщепляется быстрее, чем арабан. Поэтому при постепенном экстрагировании мякоти свеклы горячей водой получаются вначале фракции раствора, более богатые пектиновой кислотой и очень бедные арабаном; дальнейшие фракции становятся более богатыми арабаном. Таким образом соотношение между арабаном и пектиновой кислотой в

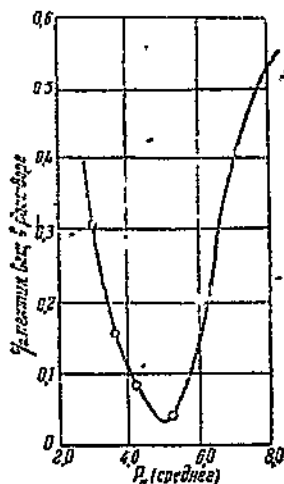


Рис. 18. Пептизация пектиновых веществ в зависимости от pH

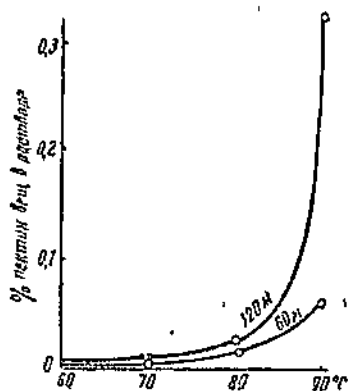


Рис. 19. Пептизация пектиновых веществ в зависимости от температуры

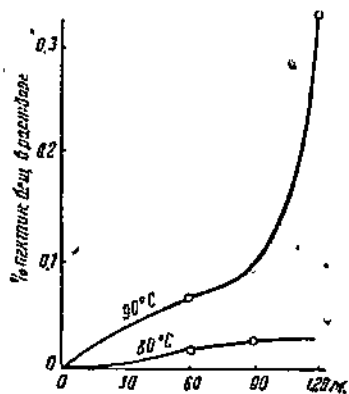


Рис. 20. Пептизация пектиновых веществ в зависимости от времени

гидропектине весьма колеблется и зависит от метода получения гидропектина. Следовательно, диффузионный сок, содержащий лишь начальную фракцию гидролиза протопектина, должен содержать главным образом пектиновую кислоту и мало арабана.

Количество пектиновых веществ в диффузионном соке зависит в значительной степени от качества свеклы [38]: при незрелой свекле диффузионный сок гораздо богаче пектиновыми веществами. Следует заметить, что в незрелой свекле значительное количество пектиновых веществ находится в соке свеклы уже в растворенном состоянии.

Осаждаемость пектиновых веществ известна в условиях дефекации — сатурации зависит от количественного соотношения между арабаном и пектиновой кислотой. Арабан известен совершенно не осаждается и не разлагается. Пектиновая кислота на холоду осаждается известью, причем частично уже начинает разлагаться (отщепление метилового спирта и уксусной кислоты).

При нагревании пектиновой кислоты с известью в условиях дефекации происходит полное отщепление метилового спирта и уксусной кислоты и частичное слабое отщепление галактоарабана. Уксусная кислота с известью дает растворимую уксуснокальциевую соль.

Тетрагалактуроновая кислота (с не успевшими еще отщепиться молекулами галактозы и арабинозы) дает осадок кальциевой соли, осадок желатинозный, трудно отфильтровываемый.

По опытам Нахмановича [38], в условиях дефекации оставалось в растворе по весу пектиновой кислоты 3% пентоз (арабиноза, галактоза); кроме того растворимой частью являлась уксусная кислота, которой содержалось 13%. Таким образом растворимых органических веществ пектиновой кислоты оказалось $13 + 3 = 16\%$, а нерастворимых (осаждаемых) — 84%. Если принять во внимание, что в растворе после дефекации — сатурации оставалось 19% извести (в виде солей) по весу пектиновой кислоты, то суммарный эффект очистки пектиновой кислоты следует считать равным $84 - 19 = 65\%$.

Если пектин диффузионного сока на 20% состоит из арабана и на 80% из пектиновой кислоты, то по отношению к пектину получится следующий эффект очистки:

$$\frac{80 \cdot 65 + 20 \cdot 0}{100} = 52\%.$$

Нам в лабораторных опытах удавалось получить эффект очистки по отношению к гидратопектину свеклы всего лишь в 25% (или до органическому веществу 50%). Следует заметить, что наш пектин был, вероятно, значительно богаче арабаном, чем пектин диффузионного сока.

Коллоидные свойства пектина. Пектин способен легко коагулировать со спиртом: получается обратимый гель, легко снова переходящий в раствор с водой. Растворы, даваемые пектином, — коллоидные растворы. Пектин — гидрофильный коллоид, т. е. коллоидные частицы его в растворе имеют большие водные оболочки, вследствие чего растворы пектина весьма вязки; они совершенно аналогичны растворам гуммиарабика, декстрина, обладают и клеящей способностью их, что является основой производства пектинового клея.

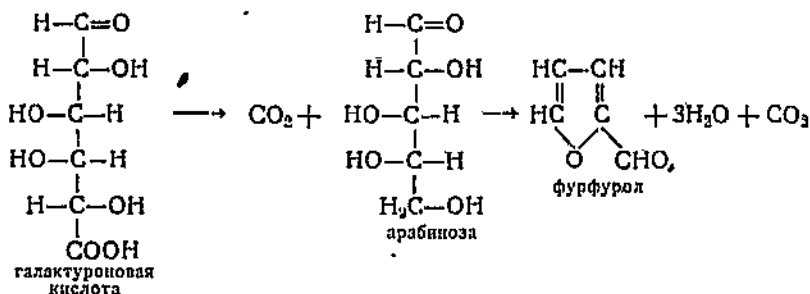
После нагрева с раствором сахара в присутствии органических кислот растворы пектина по охлаждению желатинируются и образуют желе, что имеет большое промышленное значение. Хорошее

желе получается в растворах с 50—55% сахара при 1,25—1,50% пектина и при pH = 3—3,5 (1% лимонной кислоты).

Чем больше в пектине содержится метокси-групп ($-\text{O}-\text{CH}_3$), тем меньше требуется пектина для образования желе; например при 12,33% метокси-групп требуется 0,35% пектина для желеобразования, а при 10,43% метокси-групп его, нужно уже 0,90%. Кроме того способность образовывать желе зависит и от размеров мицеллы пектиновых веществ.

В пектиновых веществах свеклы найдено лишь 6,9% метокси-групп. Такой пектин не пригоден для производства желе.

Действие кислот (например HCl 12%) при кипячении и перегонке ведет прежде всего к полному гидролизу. Затем галактуроновая кислота, отщепляя углекислый газ из карбоксильной группы, превращается в *l*-арабинозу, которая далее дает фурфурол:



По количеству выделяющейся CO_2 можно даже количественно определять галактуроновую кислоту (Толленс и Лефевр).

Из 2,64 части галактуроновой кислоты получается количество фурфурола, соответствующее 1 г осадка фурфуролфтороглюцида.

Прочие составные части пектиновых веществ — арабан и арабиноза — также дают фурфурол. По количеству его можно составить представление о количестве пектиновых веществ (оно, по нашим определениям, равно количеству фурфурола, умноженному на 3,8).

Азотная кислота (уд. вес 1,15) при нагревании окисляет галактозу и галактуроновую кислоту пектиновых веществ в слизевую кислоту, что также используется для аналитических целей.

4. БЕАЗОТИСТЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ РАСТВОРИМЫЕ НЕСАХАРА СВЕКЛЫ

К органическим растворимым несакхарам свеклы относятся уже рассмотренные нами инвертный сахар и пектиновые вещества. Большая часть последних (2,4% по весу свеклы) находится в нерастворимом состоянии — в мякоти, но некоторое количество (0,10%) оказывается и в соке.

Из остальных безазотистых растворимых веществ свеклы (см. таблицу в главе «Общий состав свеклы») главное место при-

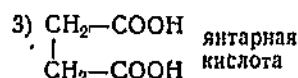
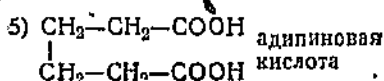
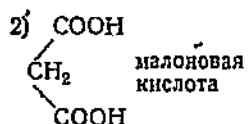
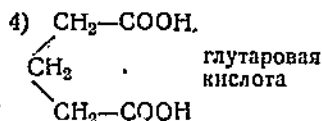
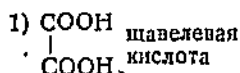
надлежит органическим кислотам (0,47%, или почти половина всех безазотистых растворимых несахаров).

Очень небольшое (сравнительно) количество содержится в свекле жиров (0,03%) или подобных им веществ. К безазотистым же несахарам относятся дающие пену сапонины и смоляная кислота, также красящие вещества свеклы.

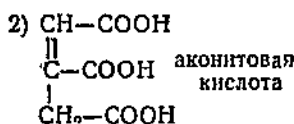
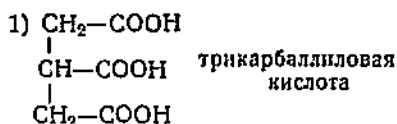
а) Органические кислоты

Формулы и названия. В сахарной свекле содержатся следующие из органических безазотистых кислот:

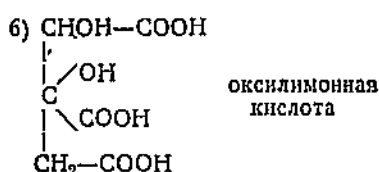
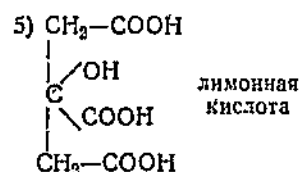
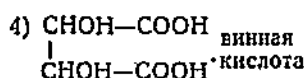
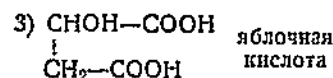
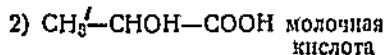
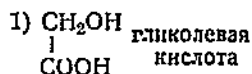
Двухосновные кислоты (ряд щавелевой кислоты):



Трёхосновные кислоты:



Оксикислоты:



Альдегидокислота глиоксильная (глиоксилевая, глиоксалева) CHO—COOH

Обнаружены (Липпман) перечисленные кислоты лишь отчасти в свекле, большею же частью они найдены в различных осадках на заводе; но так как во время производства они не могли образоваться вновь, то следует думать, что они находятся в самой свекле (кроме молочной и аконитовой кислот).

1. В свекле найдены щавелевая, лимонная, глиоксалева и яблочная кислоты. Количество щавелевой кислоты в свекле весьма значительно — 0,15, даже 0,20%.

2. В осадке на выпарке найдена большая часть названных кислот в виде солей кальция — щавелевая, малоновая, глутаровая, яблочная, винная, трикарбаллиловая, аконитовая, лимонная и оксилимонная кислоты.

3. Из осадков в решофере при подогреве, дефекованного сока — гликолева, янтарная и адипиновая кислоты.

Отметим, что некоторые из кислот были обнаружены при переработке незрелой свеклы, а именно: янтарная, глутаровая, адипиновая и лимонная (это, конечно, не значит, что их нет в зрелой свекле).

При переработке зрелой свеклы найдена трикарбаллиловая кислота, а при переработке долго лежавшей свеклы — аконитовая кислота. Вполне возможно, что аконитовая кислота образуется из лимонной во время самого производства путем отщепления воды.

Физические свойства. 1. Все перечисленные безазотистые органические кислоты растворимы в воде, спиртоле и эфире. Однако яблочная, винная и лимонная кислоты в эфире растворяются гораздо хуже, чем прочие кислоты. Коэффициенты распределения между водой и эфиром (т. е. отношение концентраций в слое воды и в слое эфира при встряхивании со смесью воды и эфира) следующие:

Кислота	Отношение концентраций в H ₂ O и эфире	Кислота	Отношение концентраций в H ₂ O и эфире
Щавелевая	9,9	Яблочная	68,4
Янтарная	5,3	Винная	233
Молочная	10,4	Лимонная	144

Растворимость в эфире нужно иметь в виду, так как эти кислоты определяются обычно путем экстрагирования эфиром из подкисленного водного раствора.

Растворимостью в эфире эти кислоты отличаются от аминокислот, которые в нем не растворяются.

2. Вращательная способность имеется лишь у яблочной кислоты: $[\alpha]_D^{20} = -3,07$, и для солей ее — от $-9,84$ до $-7,03$ и у винной кислоты $[\alpha]_D^{20} = +14,03$.

Молочная и оксилимонная кислоты, хотя и имеют асимметрический углерод, вращения не обнаруживают (рацемические смеси).

3. Электродитическая диссоциация безазотистых кислот свеклы характеризуется константами диссоциации (табл. 17), причем эти кислоты, как многоосновные, имеют не по одной константе диссоциации.

**Константы электролитической диссоциации
(K при температуре 25°)**

Кислота	Безазотистые кислоты			Кислота	Аминокислоты	
	K				K	
	I ступень	II ступень	III ступень		кислота	основа- ние
H ₂ CO ₃ (18°) . .	3,0·10 ⁻⁷	6,0·10 ⁻¹¹	—	Лейцин . . .	1,8·10 ⁻¹⁰	2,3·10 ⁻¹²
H ₂ SO ₃	1,7·10 ⁻²	5,0·10 ⁻⁶	—	Аспарагиновая	13,5·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻¹²
H ₃ PO ₄	1,1·10 ⁻²	8,0·10 ⁻⁷	2,0·10 ⁻¹²	Аспарагин . .	1,35·10 ⁻⁹	1,5·10 ⁻¹²
Щавелевая . . .	3,8·10 ⁻²	3,0·10 ⁻⁵	—	Глютаминовая	4,1·10 ⁻⁵	1,5·10 ⁻¹²
Малоновая . . .	1,61·10 ⁻³	2,1·10 ⁻⁶	—	Бетанин . . .	—	7·10 ⁻¹³
Янтарная . . .	6,6·10 ⁻⁵	2,8·10 ⁻⁶	—	Аммиак . . .	—	1,6·10 ⁻⁵
Глутаровая . . .	4,7·10 ⁻⁵	2,9·10 ⁻⁶	—			
Адипиновая . . .	3,7·10 ⁻⁵	—	—			
Трикарбаллило- вая	2,2·10 ⁻⁴	—	—			
Гликолевая . . .	1,5·10 ⁻⁴	—	—			
Молочная . . .	1,38·10 ⁻⁴	—	—			
Яблочная . . .	3,93·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻⁶	—			
Винная	9,7·10 ⁻⁴	6,9·10 ⁻⁵	—			
Лимонная . . .	8,7·10 ⁻⁴	—	—			
Глиоксилевая . .	5·10 ⁻⁴	—	—			
Уксусная . . .	1,75·10 ⁻⁵	—	—			

Все эти кислоты весьма слабы, за исключением первой ступени диссоциации щавелевой и молочной кислот.

Для сравнения в табл. 17 приведены также константы электролитической диссоциации угольной, фосфорной и сернистой кислот.

Растворимость солей в воде. 1. Из солей кальция растворимы в воде (растворимость 0,5% или выше) соли следующих кислот: малоновой, янтарной, глутаровой, адипиновой, аконитовой, гликолевой, молочной, яблочной, глиоксилевой (из перечисленных адипиновокальциевая соль растворима сравнительно хуже).

Для солей кальция прочих кислот растворимость мала (щавелевая, лимонная, винная, оксалимонная, трикарбаллиловая).

Данные о их растворимости таковы (процент в растворе):

Щавелево-Са-соль	Винно-Са-соль	Лимонно-Са-соль
25°—0,00068%	26°—0,0436%	18°—0,0850
50°—0,60096%	100°—0, 283%	25°—0,0959
95°—0,0014%		90°—0,0578
Трикарбаллилово-Са-соль		Оксалимонно-Са-соль
0,29%		растворима еще меньше
		лимонно-Са-соли

В присутствии сахара с повышением его концентрации растворимость (на 100 см³) обычно падает.

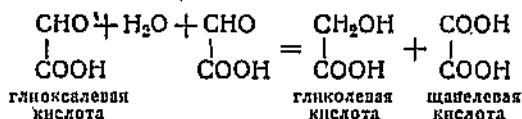
В щелочных сахарных растворах, по нашим наблюдениям, растворимость всех солей кальция повышается. При этом, повидимому, образуются растворы комплексных соединений и коллоидные растворы.

2. Свинцовый уксус осаждает все перечисленные кислоты, кроме гликолевой, молочной и яблочной кислот, свинцовые соли которых растворимы в воде (для яблочной плохо растворимы).

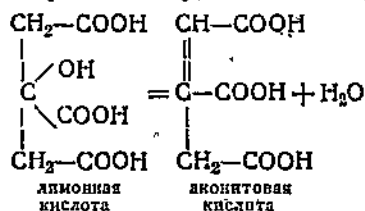
3. Соли щелочных металлов всех перечисленных кислот растворимы в воде. Кислые соли калия обычно менее растворимы, чем основные (особенно для винной кислоты: при температуре 15° растворимо лишь 0,453 %, но при 100° — 6,9 %).

Химические свойства. Почти все органические безазотистые кислоты свеклы в условиях сахарного производства устойчивы и химически не изменяются.

Исключением является глиоксалева кислота, которая под действием щелочной реакции (гидроксил как катализатор) претерпевает самоокисление — восстановление (реакция Канниццаро), т. е. альдегидная группа одной молекулы глиоксалевой кислоты окисляется в кислотную, в то время как альдегидная группа другой молекулы восстанавливается в спиртовую. Таким образом получают две кислоты — щавелевую и гликолевую:



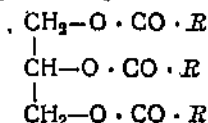
Лимонная кислота при нагревании с водой может частично превращаться в аконитовую кислоту, выделяя воду:



б) Жиры

«Сырого» жира (т. е. веществ, растворимых в эфире) свекла содержит очень мало — около 0,03 %.

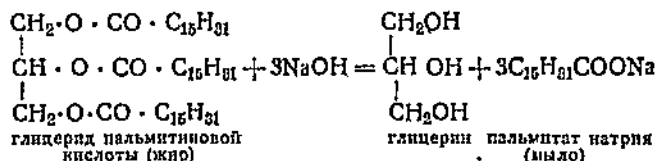
Этот жир является глицеридом жирных кислот:



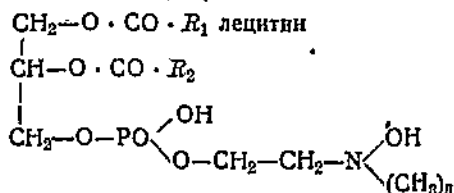
В формуле через R обозначены радикалы жирных кислот. Такими кислотами в жире свеклы оказываются:



Со щелочами и известью жиры свеклы дают обычную реакцию омыления с образованием глицерина и солей жирных кислот (кальциевые соли нерастворимы):

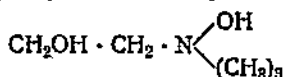


Кроме обычных жиров, „сырой“ жир свеклы содержит также близкие к жирам по составу и свойствам лецитины (трудно растворимые в эфире и растворимые в спирте, тогда как жиры хорошо растворимы в эфире и трудно в спирте). Они представляют собой тоже глицериды, в молекуле которых вместо одной из жирных кислот имеется фосфорная кислота, связанная одновременно с азотистым основанием (холином или бетанином):



Лецитин обладает основными свойствами (растительное основание), так как содержит в молекуле замещенный аммоний.

Под влиянием щелочей лецитин весьма легко омыляется, отщепляя соли жирных кислот, фосфорную (сначала глицеринофосфорную) кислоту и холин:



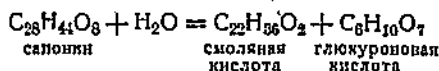
Сверх того „сырой“ жир свеклы содержит еще немного фитостерина (или холестерина) — $\text{C}_{25}\text{H}_{41}\text{O}$ (циклический ненасыщенный алкоголь).

в) Сапонины

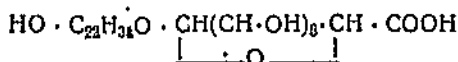
Сапонины — мало исследованные ядовитые (особенно для рыб) вещества, относимые к разряду глюкозидов. Их особенностью является способность с водой давать обильную пену, даже если они присутствуют в самых минимальных количествах. Следовательно, они являются чрезвычайно поверхностно-активными веществами, дающими, кроме того, на поверхности твердую пленку, делающую пену весьма стойкой.

Кислый свекловичный сапонин $\text{C}_{28}\text{H}_{44}\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ найден в свекле Смоленским (в свекловичном соке — коллоидный раствор). По Смоленскому, в свекле содержится до 0,3% кислого сапонины, а

в диффузионном соке 0,1 % (в виде соли магния). Его можно найти также в осадках диффузионных решоферов. Он представляет собой соединение так называемой «свекловичной смоляной кислоты» $C_{22}H_{36}O_8$ и глюкокуроновой кислоты, на которые он и распадается при гидролизе кислотами:



Смоляная кислота содержит фенольное ядро с двумя гидроксильными, из которых один связан с альдегидной группой глюкокуроновой кислоты. Таким образом, более детальная, но все же схематическая структура сапонина имеет следующий вид:



Сапонин нерастворим в воде и эфире, растворяется в спирте; щелочные соли растворимы в воде (пнящиеся, коллоидные растворы); соль Са нерастворима. Вращательная способность $[\alpha]_D = +24,8$. Свинцовым уксусом осаждается.

Свекловичная смоляная кислота найдена в пене стоковых вод завода, в осадках диффузионных решоферов и в пьезе I сатурации (0,3—0,6 %).

Она кристаллична, нерастворима в воде, растворяется в спирте, плавится при 300° , возгоняется, распространяя смоляной запах, $[\alpha]_D = +78,5^\circ$. Соли щелочей дают вязкие растворы в воде. Соль кальция почти нерастворима. Свекловичная смоляная кислота дает реакции окрашивания, аналогичные смоляным кислотам канифоли ($C_{20}H_{30}O_8$ — шимаровая, абиетиновая кислоты).

г) Красящие вещества сока

Корни сахарной свеклы белого цвета, следовательно, и находящийся в вакуолях клеток сок ее бесцветен. Но выжатый из измельченной свеклы сок (нормальный сок) уже окрашен в черный цвет. Кашка истертой свеклы (или свекловичная стружка) также при лежании на воздухе постепенно окрашивается в желтый, красный, фиолетовый и наконец в черный цвет.

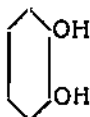
Свекла в разрезе окрашивается лишь с поверхности, в отсутствие же кислорода она совершенно не темнеет. Следовательно, появление темной окраски связано с окислением какого-то вещества, находящегося в соке свеклы.

Если свеклу предварительно нагреть до температуры выше 80° , то сок ее в присутствии воздуха уже не темнеет. Это указывает, что окислительный процесс, дающий черную окраску, идет при содействии окисляющего фермента — оксидазы.

При повышении температуры оксидаза (тирозидаза) разрушается, поэтому кислород воздуха перестает окислять и черная окраска не появляется.

Какое же вещество окисляется и содействует появлению черной окраски сока? Рейнке путем осаждения свинцовым уксусом получил растворимое в эфире бесцветное вещество родоген, которое способно окисляться и окрашиваться в крапный цвет — бетарот. Конечно то, что исследовал Рейнке, было смесью веществ, но отнюдь не химическим индивидуумом. Таким образом все же остается нерешенным вопрос, что окисляется и дает соку темную окраску.

Предполагают, что таким легко окисляющимся веществом в свекле является пирокатехин:



Он, как все многоосновные фенолы (пирогаллол, резорцин, гидрохинон), действительно легко окисляется, давая в результате сложные продукты темного цвета.

Темно окрашенные вещества лишь суспендированы, но не растворены в соке. Сам по себе сок имеет желтую окраску. Суспензия прочна под защитным действием гидрофильных коллоидов сока (белки). При коагуляции белков осаждаются и темноокрашенные вещества сока.

Таким образом на дефекации они также коагулируют и удаляются вместе с фильтпрессной грязью.

5. АЗОТИСТЫЕ НЕСАХАРА СВЕКЛЫ.

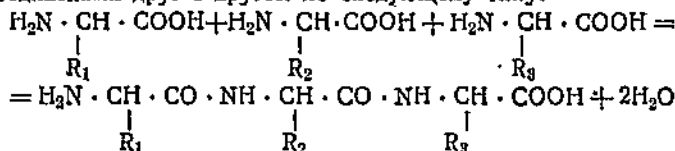
Из азотистых веществ в свекловице больше всего содержится белков (обычно около 60% от всей суммы азотистых веществ), затем идут аминокислоты, амиды, аммиак, азотистые основания и соли азотной кислоты.

а) Белки

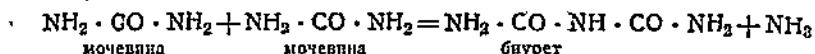
Белки составляют большую часть (60%) азотистых несахаров свеклы. Поэтому на них прежде всего и следует остановиться.

Строение. Белки содержат азот (15—19%, считают в среднем 16%), углерод (50—55%), водород (6,6—7,3%), кислород (19—24%), обычно серу (0,23—0,24%), иногда фосфор и железо. При гидролизе (с кислотами, щелочами или протеолитическими ферментами) белки дают смесь аминокислот.

Следовательно, белки — весьма сложные соединения, построенные из аминокислот, соединенных друг с другом по следующему типу:



Характерной группой для белковой молекулы является, следовательно, группа — CO · NH — группа биурета или димочевины (получается при нагреве мочевины):



В состав молекулы белков свёклы (вообще весьма мало исследованных) входят следующие аминокислоты: пролин, гликоколь, аланин, *d*-валин, *l*-лейцин, *d*-изолейцин, *l*-тирозин, аргинин и лизин.

Реакции. Цветные реакции: 1) биуретовая реакция, т. е. способность давать фиолетовое окрашивание с NaOH и CuSO₄, указывает на наличие в белках биуретовых группировок — CO · NH —; 2) ксанто-протеиновая реакция — желтая окраска с азотной кислотой (с NH₄OH переходит в оранжевую) — указывает на наличие безазольного кольца; 3) реакция Миллона — красное окрашивание при нагреве с раствором HgNO₃, содержащим HNO₂, — указывает на присутствие тирозина.

Реакции осаждения: 1) солями тяжелых металлов (свинцовый уксус, соли ртути, меди); 2) алкалоидными реактивами в кислой среде (фосфорновольфрамовой и фосфорномолибденовой кислотами, таннином, пикриновой кислотой); 3) кислотами, особенно азотной; 4) спиртом (избытком); 5) коагуляция при нагревании.

Реакции высаливания — концентрированными растворами: (NH₄)₂SO₄, MgSO₄, NaCl.

Классификация. I. Протеины (собственно белки): 1) альбумины — растворимы в воде, свертываются при нагреве, трудно высаливаются; 2) глобулины — не растворяются в воде, но растворяются в слабых растворах солей; высаливаются легче альбуминов, свертываются при нагреве, имеют слабокислотные свойства; 3) проламины (глутенины) — растворимы в 70%-ном спирте (белки, характерные для хлебных зерен); 4) гистоны и протамины — белки с резко выраженными основными свойствами, встречаются лишь у животных (глобин крови, сперма рыб); 5) склеропроteniны (альбуминоиды) — нерастворимые прочные белки покровов и скелета (белки шерсти, волоса, ногтей, рогов и т. п.); 6) фосфопроteniны, содержащие фосфор, — кислого характера, не свертываются при нагреве (казеин молока).

II. Протеиды (сложные белки), состоящие из белка и небелковой группы: 1) нуклеопротеиды (в ядрах растительных и животных клеток) состоят из белка (гистона) и нуклеиновой кислоты; последняя при гидролизе дает фосфорную кислоту, углеводы и пуриновые основания; нуклеопротеиды растворимы в щелочах, но не в кислотах; 2) хромопротеиды (гемоглобин крови); 3) глюкопротеиды (муцины — животные слизи, состоят из белка и сахара).

Коллоидные свойства. Белки обладают свойствами гидрофильных коллоидов, дают лишь коллоидные растворы.

Способность осаждаться спиртом является также свойством гидрофильных коллоидов (подобно, например, декстринам, пектиновым веществам и т. п.).

Белки обладают амфотерным химическим характером, т. е. склонностью соединяться с кислотами (ацидабильными) и с основаниями (щелочные альбуминаты), однако это скорее адсорбционные, чем настоящие химические соединения. В кислой среде они, адсорбируя H⁺, дают мицеллу, заряженную положительно, а в

щелочной, адсорбируя (ОНУ), имеют мицеллу, заряженную отрицательно.

При некоторой определенной концентрации ионов водорода (или же при определенном рН) оказывается, что мицелла белка не имеет уже положительного и не получила еще отрицательного заряда. Такое состояние коллоидных частиц называется изоэлектрическим. В изоэлектрической точке почти не наблюдается катафореза. Такие незаряженные частицы легко соединяются в более крупные комплексы, т. е. коагулируют; здесь наблюдается optimum коагуляции. Изоэлектрическая точка для разных типов белка наблюдается при разных рН, а именно:

Белок	рН	Белок	рН
Альбумины (яичный, кровавый)	4,8	Глиадин	9,2
Глобулины	5,4	Желатина	4,7
Эдестин	5,5—6,0	Казеин	4,8

Белки сока сахарной свеклы лучше всего коагулируют при рН = 4—4,5. В условиях сахарного производства обычно рН > 4,5; поэтому белки в растворах сахарного завода несут отрицательный заряд.

Промежуточные продукты распада белков получаются как при действии щелочей и кислот, так и при действии ферментов. Это — альбумозы и пептоны. И те и другие при нагревании не свертываются, но осаждаются спиртом. Альбумозы могут высаливаться, пептоны не высаливаются. Они дают обычные качественные реакции белков. Эти промежуточные продукты также содержатся в свекле; они не могут быть удалены в условиях производства и переходят в патоку.

При обычном методе определения белков путем осаждения гидроокисью меди по Барнштейну пептоны почти не осаждаются. При коагуляции белков путем нагревания подкисленных растворов пептоны совсем не осаждаются, но их можно осадить из фильтрата посредством танина и таким образом определить их количество.

б) Аминокислоты

Структура и общие свойства. Аминокислота — органическая кислота, в которой вместо одного или нескольких атомов водорода ее углеродной цепи введена группа NH_2 :

$\text{R}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ — органическая кислота (R — радикал)

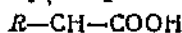
$\text{R}-\overset{\text{X}}{\text{CH}}\text{NH}_2-\text{COOH}$ — аминокислота

Аминокислоты хорошо кристаллизуются, довольно хорошо растворимы в воде, нерастворимы в эфире (отличие от безазотистых органических кислот свеклы), почти нерастворимы в спирте.

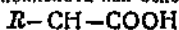
Аминокислоты — соединения амфотерные — дают соли и с кислотами и с основаниями, так как содержат одновременно и основную аминогруппу и кислотную карбоксильную:



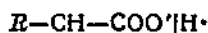
аминокислота



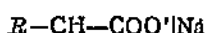
аминокислота как основание



Соль с $H \cdot Cl$



аминокислота как кислота



Соль с Na^+OH^-

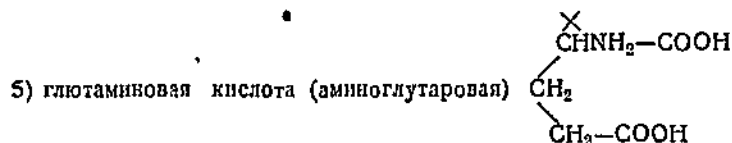
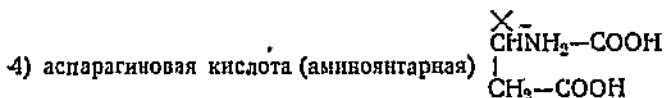
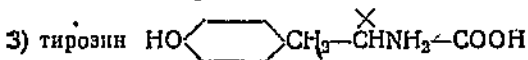
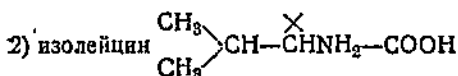
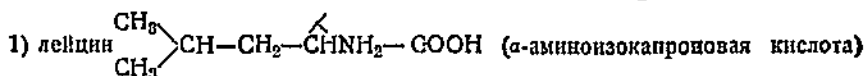
Кислотные свойства у аминокислот резко выражены, чем основные: они более кислотны, чем основания.

Соли аминокислот со щелочами и щелочноземельными металлами хорошо растворимы в воде; следовательно, на дефекации аминокислоты не осаждаются; свинцовый уксус их также не осаждает.

Имея асимметричный атом углерода (связанный с группой amino), аминокислоты оптически активны, причем реакция среды (кислая или щелочная) обычно влияет на вращательную способность.

В химическом отношении аминокислоты являются прочными соединениями и в условиях сахарного производства не изменяются.

Отдельные представители аминокислот, найденные в свекле:



Найдены также в свекле или в продуктах сахарных заводов: фенилаланин, лизин, аргинин, пролин, гистидин, триптофан.

Константы электролитической диссоциации некоторых аминокислот были приведены в табл. 17.

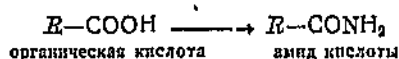
Вращательные способности аминокислот

Аминокислоты	Кислая среда	Нейтральная среда	Щелочная среда	Свинцовая соль
Лейцин (свеклы)	+16,0	—	+8,05	—
Изолейцин	+36,8	+9,74	+11,1	Левое вращение
Тирозин	+6,85	—	—	—
Аспарагиновая кислота	—	-4,36	-12,75	—
Глутаминовая кислота .	—	+12,04	-6,5	—

Как видим, вращательная способность аминокислот в кислой, нейтральной и щелочной среде часто весьма различна, что вносит чрезвычайную путаницу в результаты, получаемые при определении сахара по методу инверсионной поляризации.

в) Амиды кислот

Структура и свойства. Амидом кислоты называется соединение, полученное путем замещения гидроксила в кислотной (карбоксильной) группе на аминогруппу. Таким образом для амидов характерна группа $-\text{CONH}_2$.



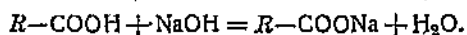
Амиды кислот хорошо кристаллизуются, довольно хорошо растворимы в воде, плохо — в спирте и нерастворимы в эфире (подобно аминокислотам).

Амиды — тела нейтральные, так как аминогруппа, входя в состав кислотной карбоксильной группы, в значительной степени утрачивает свои основные свойства. С сильными кислотами амиды все же могут давать соли. Нерастворимых соединений в условиях сахарного производства амиды не образуют, свиновым уксусом они также не осаждаются.

Амиды способны разлагаться (гидролизировать) под влиянием кислот или щелочей, действующих как катализатор, причем получают кислота и аммиак:



Если реакция шла под действием щелочи, то аммиак получается в свободном виде, а кислота дает соль, например:



Если же реакция проведена в кислой среде, то аммиак дает соль с кислотой, например:



Реакция разложения амидов под влиянием щелочи (известна) идет и на дефекации сахарного завода. Она идет довольно медленно, поэтому не заканчивается на дефекации и продолжается дальше на выпарке и в вакууматпаратах.

Отдельные представители найденных в свекле амидов кислот:

- 1) аспарагин (амид аспарагиновой кислоты) $\begin{array}{l} \text{CHNH}_2\text{—COOH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{—CONH}_2 \end{array}$
- 2) глутамин (амид глутаминовой кислоты) $\begin{array}{l} \text{CHNH}_2\text{—COOH} \\ | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_2\text{—CONH}_2 \end{array}$
- 3) оксаминовая кислота (моноамид щавелевой кислоты) $\begin{array}{l} \text{COOH} \\ | \\ \text{CONH}_2 \end{array}$

В Западной Европе в свекле был найден глутамин, а в свекле СССР — аспарагин (Смоленский).

Количество полученного глутамина (на Западе) — от 0,034 до 0,100%; оксаминовой кислоты найдено около 0,004%. При гидролизе (щелочами, кислотами) аспарагин дает аспарагиновую кислоту, глутамин — глутаминовую и оксаминовая кислота — щавелевую кислоту, выделяя аммиак. Для аспарагина реакция гидролиза идет гораздо медленнее, чем для глутамина. Оксаминовая кислота также лишь медленно гидролизует.

Аспарагин и глутамин обладают и кислотными и основными свойствами, причем кислотные несколько превалируют над основными.

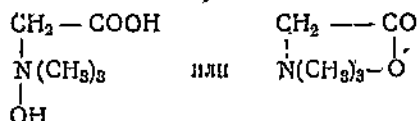
Вращательная способность при условиях водной дигестии (определение сахара в свекле): аспарагин — 6,73, глутамин — 10,24.

В кислой и щелочной среде вращательные способности иные и, кроме того, переменные (гидролиз).

г) Органические основания

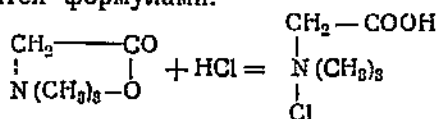
К органическим основаниям относятся соединения, в состав которых входит группа триметиламин $>\text{N}(\text{CH}_3)_3$; эта группа и придает им основной характер.

Бётанин (триметилгликоколь)



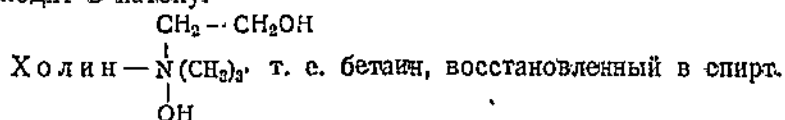
обычно оказывается в форме внутренней соли, так как трехзамещенный аммоний обладает сильными основными свойствами.

По этой же причине бетанин легко дает соли с сильными кислотами. Например образование и строение соли бетанина с соляной кислотой выразятся формулами:



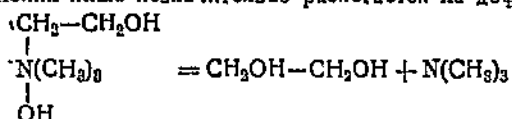
Из представителей группы вредного азота бетанин находится в свекле в наибольшем количестве (около 0,2% по весу свеклы).

В условиях сахарного производства бетанин не образует нерастворимых соединений и не разлагается, а в неизменном виде переходит в патоку.



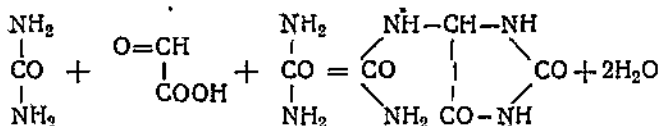
Повидимому, холин находится в свекле как составная часть молекулы лецитина, но уже на диффузии лецитин частично разлагается, а еще больше — на дефекации, и освободившийся холин остается в соке и переходит в патоку.

Холин лишь незначительно разлагается на дефекации по схеме:



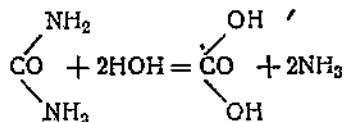
Холин обладает основными свойствами в большей степени, чем бетанин, так как не имеет карбоксильной группы.

Циклические производные мочевины. Аллантоин (диуреид глиоксальной кислоты) может быть получен синтетически нагреванием мочевины с глиоксальной кислотой:



Под влиянием щелочей (известь) аллантоин обратно, хотя и очень медленно, превращается в мочевины и глиоксальную кислоту.

Реакция однако на этом не останавливается: глиоксальная кислота путем самоокисления — восстановления превращается в щавелевую и гликолевую кислоты (см. выше, при описании глиоксальной кислоты), а мочевины, как диамид углекислоты, превращается в углекислоту и аммиак:

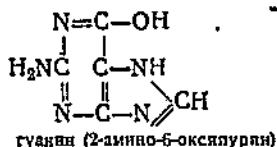
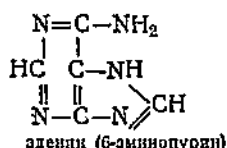
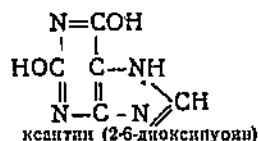
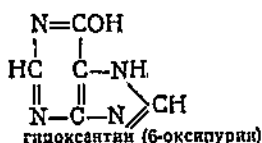
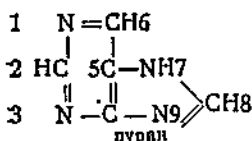


Углекислота, конечно, дает соль со щелочью. Аллантоин растворим в горячей воде, оптически неактивен. В свекле аллантоина содержится около 0,015%.

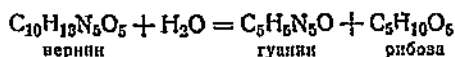
Пуриновые (ксантиновые) основания. Они входят в состав нуклеиновых кислот — сложных белков клеточных ядер (нуклеопротеиды). Содержатся в свекле в чрезвычайно малых количествах (примерно, не более 1—2% от всех азотистых веществ свеклы). Это соединения кристаллические, трудно растворимые в воде; имеют слабо основные свойства, прочны в условиях сахарного завода и потому переходят в патоку.

В основе их строения лежит ядро пурина.

Найдены в свекле ксантин, гипоксантин, гуанин (больше других) и аденин.



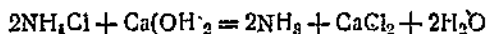
Найден кроме того вернин, представляющий собой соединение гуанина с пентозой (рибозой), на которые и распадается при гидролизе с кислотами:



д) Минеральный азот

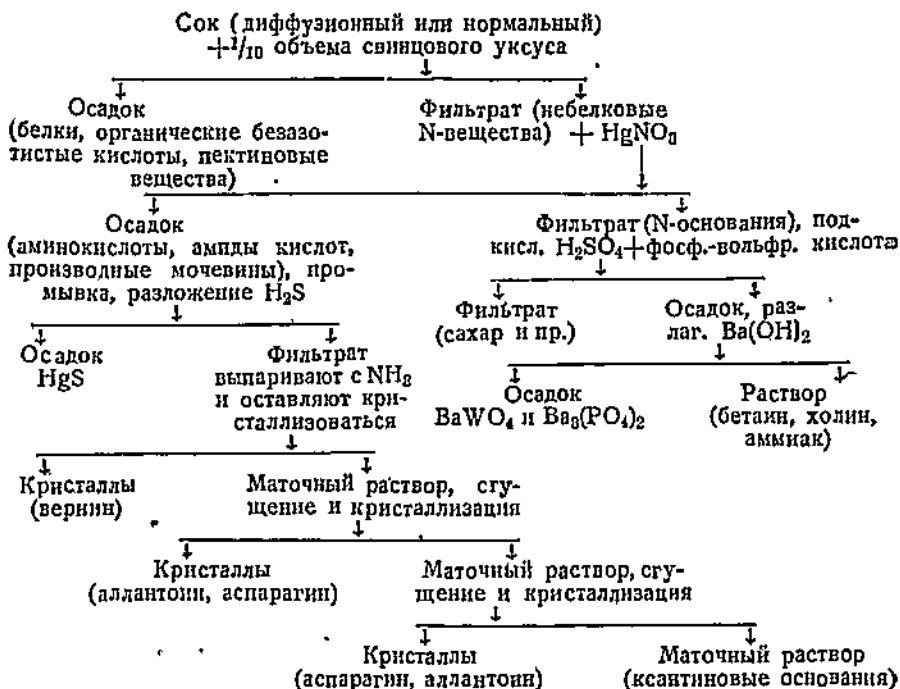
Соли азотной кислоты имеются в свекле в очень малых количествах (около 0,002—0,005% по весу свеклы).

Аммиак трудно точно определить рядом с амидами. Количество его около 0,005% по весу свеклы. Соли аммония на дефекации разлагаются, выделяя аммиак, который и улетает при выпаривании сока:



е) Общие данные

Метод систематического изучения азотистых веществ свеклы (по Смоленскому) может быть представлен следующей схемой:

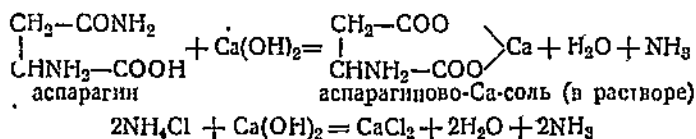


Вредным азотом по отношению к сахарному производству является азот, не удаляемый на дефекации — сатурации, переходящий в патоку и, следовательно, увеличивающий количество патоки и потери сахара в ней.

Удаляются в процессе производства следующие формы азота: белковый (коагуляция), аммиачный и амидный (выделение в виде аммиака).

Таким образом вредным азотом (по Андрлику) будет общий азот за вычетом белкового, аммиачного и амидного азота.

Проще и, может быть, правильное считать вредным общий азот (Фридель) за вычетом лишь белкового, так как хотя при разложении аммиачных солей и амидов азот удаляется, но взамен в соке оказываются не менее вредные соли кальция:



Количественные соотношения различных форм азота, более детальные, чем в главе об общем составе свеклы, следующие:

Формы азота	На 100 кг свеклы (в %)	Процентное отношение	Формы азота (детальнее)	На 100 кг свеклы (в %)	Процентное отношение
Белковый	0,115	57,5	Белковый	0,115	57,5
Аммиачный и амидный .	0,020	10,0	Аммиачный	0,005	2,5
Вредный (по Андрику)	0,065	32,5	Амидный	0,015	7,5
			Бетаинный	0,020	10,0
			Нитратный	0,002	1,0
			Пуриновые основания .	0,001	0,5
			Аминокислоты и пр. . .	0,042	21,0
Общий азот . 0,200 100,0			Общий азот 0,200 100,0		

Эти количественные соотношения далеко не постоянны. Содержание нитратного и общего азота может колебаться по годам в значительных пределах. Например, общего азота может оказаться вместо 0,200 или 0,300 или 0,150%, что зависит и от условий погоды и от условий возделывания (удобрения).

При порче свеклы белковый азот также постепенно превращается в азот аминокислот, т. е. в азот вредный.

6. ОЦЕНКА СВЕКЛЫ.

Мы не ставим здесь своей задачей описать методы анализа свеклы, но лишь дать основные положения для технической оценки свеклы [17 и 40].

Содержание сахарозы является основным моментом при определении качества свеклы. Обычный метод определения сахарозы — поляриметрический и чаще всего — метод горячей водной дигестии.

Возможные ошибки при этом: влияние объема мякоти, который несколько лет назад считался для нормальной навески (26 г) равным 0,6 см³, а по более точным определениям (Станек) оказался — 1,5 см³. Следовательно, прежние определения показывали больше сахарозы на 0,1%. Поправки на мезгу не может быть всегда постоянной, следовательно, здесь мы допускаем некоторую ошибку.

Другой источник ошибок — праворащивающие несахара свеклы, влияние которых не может быть исключено и посредством инверсионной поляризации, так как вращательная способность их различна для кислой и нейтральной среды.

Разница между прямой и инверсионной поляризацией свеклы обычно невелика (не более 0,1%), но иногда она возрастает (например до 0,4%).

Особенно интересны несахара, вращающие вправо и разлагаемые действием извести, так как они при учете производства дадут так называемые «неопределенные» потери. Herles находил разницу поляризации до и после обработки известью до 0,45%, обычно же такая разница невелика.

Доброкачественность нормального сока свеклы характеризует количество несахаров, растворенных в соке вместе с сахаром (например доброкачественность 87 значит, что в 100 частях сухого вещества сока содержится 87 частей сахарозы и 13 частей несахаров).

Недостаток метода оценки по доброкачественности нормального сока состоит в том, что нормальный сок содержит ряд несахаров, понижающих его качество, но совершенно безвредных для произ-

водства (например белки, щавелевая, винная и тому подобные кислоты).

Правда, обычно свекла с нормальным соком низшей доброкачественности дает и сатурационный сок низшей доброкачественности, но это правило имеет и исключения; точного соотношения здесь нет.

Другой недостаток метода заключается в том, что качество нормального сока зависит от метода его получения (тонкость мезги, плотность тряпки, давление, под которым сок выжимается); первые порции сока, полученные при меньшем давлении, имеют низшую доброкачественность, чем следующие порции сока, вытекающие под большим давлением (например 84,7 и 86,5); однако, так как последних более доброкачественных порций по объему получается очень немного, то средняя доброкачественность смешанного сока (и малого и большого давления) не так сильно отличается от доброкачественности первых порций (на 0,3—0,4% выше).

Кроме того при анализе нормального сока большое влияние оказывают трудно удаляемые тонкие пузырьки воздуха: они понижают показание ареометра и приводят иногда к чрезмерно высоким цифрам доброкачественности. Содержание сахара в нормальном соке свеклы обычно также находят большим, чем в действительности, так как при анализе обычным объемным методом (в колбе 100/110) получается со свинцовым уксусом весьма большой осадок, занимающий часть объема колбы.

Доброкачественность очищенного нормального сока может служить для более точной оценки качества свеклы. Метод предложен Фридлем, а в последнее время разработанным нами и состоит в следующем: осаждение нагретого сока 1% извести, фильтрация, сатурация фильтрата, кипячение, еще раз фильтрация и анализ (определение доброкачественности). Эта доброкачественность является ценным показателем, так как она весьма близка к доброкачественности сока II сатурации на заводе. Здесь безвредные несахара удалены, и доброкачественность понижают лишь действительно вредные несахара, причем оценивается общая сумма вредных несахаров (минеральных и органических, азотистых и безазотистых).

Вредный азот, по мнению Андрлика, является основным элементом для оценки свеклы. Он считает, что вредные азотистые вещества являются главнейшим патокообразователем, и вычисляет даже потерю сахара в патоке по количеству вредного азота в свекле, считая, что одна часть вредного азота уносит с собой в патоку 25 частей сахарозы. Кроме того он предполагает, что в сок переходит 0,9% от всего вредного азота свеклы.

Таким образом потеря сахара в патоке на 100 кг свеклы будет равна проценту вредного N свеклы $\times 0,9 \times 25$ кг.

На самом деле в патоке на одну часть азота приходится различное количество сахара, колеблющееся от 20 до 30 частей, а не 25; следовательно, постоянства отношений здесь нет.

Кроме того исследование патоки показывает, что в патокообразовании большее значение имеют минеральные составные части свеклы, а не азот.

Азотистые вещества в патоке составляют приблизительно одну треть всех ее несахаров, и было бы неправильно все явление пато-

кообразования приводить в связь лишь с этой третьей патокообразователей.

Определение вредного азота свеклы по Андрилику выполняется не так легко, поэтому Фридль предложил новое понятие о вредном азоте (общий азот без белкового азота). Определение этого вредного азота выполняется гораздо легче и также может служить для оценки сырья. Если и нельзя по количеству вредного азота вычислить точно выход патоки, то во всяком случае определение его дает ценные указания относительно качества свеклы и поведения ее при переработке (падение щелочности на выпарке больше при большем содержании азота). Станек дал простой колориметрический метод определения неосаждаемого азота.

Зола. Проф. Смоленский предложил для оценки свеклы определять в ней содержание золы (электрометрически), считая, что зола является главной причиной потери сахара в патоке (на 1 часть золы теряется 5 частей сахара). Это мнение также недостаточно обосновано, так как в патоке на 1 часть золы находят от 3,5 до 6 частей сахара.

Прочие показатели. При оценке свеклы имеет значение содержание в ней инвертного сахара, который вызывает в производстве затруднения (продукты его разложения увеличивают окраску соков и сиропов).

Проф. Нахманович и Берман [29] предложили определять в свекле количество находящихся в растворе пектиновых веществ и количество легко растворимой при нагревании с водой мякоти. Это ценные показатели, но определяются они с трудом.

Определение вредного азота, золы, инвертного сахара и пектиновых веществ (каждого в отдельности) дает лишь одностороннее, хотя и ценные показатели. Более общее значение имеет определение сахарозы и доброкачественности очищенного нормального сока.

Точное и всестороннее представление о технологических свойствах сахарной свеклы можно получить лишь путем опытной переработки ее, так как все предложенные методы не могут дать ответа на главнейший вопрос о том, сколько сахара данной свеклы будет потеряно в патоке. Поэтому нами был разработан метод лабораторной переработки свеклы, для которой требуется лишь 10 кг свеклы и очень несложная аппаратура [40].

III. ПОЛУЧЕНИЕ СОКА ИЗ СВЕКЛЫ

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ДИФфуЗИОННОМ МЕТОДЕ СОКОДОБЫВАНИЯ

В настоящее время на свеклосахарных заводах для извлечения сахара из свеклы применяется методическая обработка тонко изрезанной свеклы водой при нагревании. Переход сахара и растворимых несахаров из свеклы в воду совершается вследствие диффузии. Поэтому этот метод сокодобывания называется диффузионным.

Если кусочек свеклы поместить в воду, то сахар и другие растворимые вещества из этого кусочка постепенно начинают переходить в воду, причем содержание их внутри кусочка будет понижаться, а в окружающей воде — повышаться. Передвижение растворимых веществ прекратится лишь тогда, когда концентрации их внутри кусочка свеклы и в окружающей воде сделаются одинаковыми. Самопроизвольное перемещение растворенных веществ в сторону, где концентрация их меньше, называется диффузией.

Явление диффузии происходит вследствие беспорядочных движений молекул растворенных веществ: перемещаясь по всевозможным направлениям, молекулы постепенно приближаются к состоянию равномерного распределения. Диффузия происходит довольно медленно. Повышение температуры ускоряет ее, так как с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул.

Следует заметить, что для успешного извлечения сахара из свеклы методом диффузии свекла должна быть обязательно предварительно нагрета до температуры свертывания белков, т. е. не ниже 60°. Из живой свежей клетки свеклы сахар не диффундирует, так как он находится в вакуоле клетки в клеточном соке, а вакуоль окружена слоем протоплазмы (белки), не пропускающим молекул сахара и других растворенных веществ. Из мороженой свеклы сахар диффундирует и без предварительного нагревания, так как при замораживании протоплазма свеклы уже свертывается и даже стенки многих клеточек разрываются.

Для ускорения процесса диффузии сахара свекла должна быть изрезана в тонкую стружку, чтобы уменьшить путь перемещения молекул сахара для выхода их изнутри кусочков свеклы наружу.

Заливая свекольную стружку например равным количеством воды, мы можем извлечь лишь половину сахара из свеклы, так как диффузия идет лишь до тех пор, пока концентрации сахара внутри и вне стружки не сделаются равными. Получится весьма жидкий сок. Чтобы сделать его более концентрированным, его перекачивают в другой сосуд-диффузор, заполненный свежей стружкой, а на стружку в первом диффузоре вновь наливают воду, чтобы извлечь из нее больше сахара. Затем сок из второго диффузора для еще большего повышения концентрации перепускают в третий диффузор, наполненный свежей стружкой и т. д. Словом, для снижения потерь и для получения более концентрированных соков требуется не простое промывание свекольной стружки водой в одном диффузоре, а методическое выщелачивание в целой батарее диффузоров (обычно 12—14). Вода подается на наиболее обессахаренную стружку, а жидкие первоначально соки переходят из диффузора в диффузор и, повышая постепенно свою концентрацию, попадают наконец в диффузор, заполненный свежей стружкой, и оттуда с максимальной концентрацией идут для дальнейшей обработки на завод.

До изрезывания свеклы на свеклорезке необходимы следующие предварительные операции: 1) доставка свеклы на завод; 2) отделение от свеклы грубых примесей — камней и соломы (камни ломают ножи свеклорезки, а солома забивает их); 3) мойка свеклы для удаления грязи с ее поверхности (земля, песок, глина), так как грязь вызывает быстрое притупление и изнашивание ножей и кроме того загрязняет получаемый сок; 4) транспортировка вымытой свеклы к свеклорезке и взвешивание свеклы для учета поступающего на завод сырья.

Диффузионный способ получения сока из свеклы был изобретен Робертом лишь в 1864 г., а в заводскую практику он вошел еще позже. Первоначально сок из свеклы добывался методом прессования тонко истертой и завернутой в салфетки свеклы. Сначала применяли ручные винтовые прессы, затем перешли на гидравлические прессы такого же устройства, какие и в настоящее время применяются в маслобойной промышленности. Для измельчения свеклы применяли механические терки, какие и теперь работают в картофельно-крахмальном производстве. Работа по сокодобыванию прессовым методом требовала затраты большого количества ручного труда, в то же время много сахара терялось в отходах производства. Поэтому переход на диффузионный способ являлся огромным шагом вперед.

Следует однако отметить, что в тростниково-сахарном производстве сок добывается и в настоящее время методом прессования, но не на прессах периодического действия, а на непрерывно-действующих вальцах. В маслобойном деле также имеются уже весьма совершенные непрерывно-действующие шнек-прессы. Поэтому появляются предложения и попытки ввести и в свеклосахарном производстве вновь прессовой метод в более совершенной форме. Премуществом было бы снижение до минимума расхода воды, отсутствие сточных диффузионных вод и получение жома в концентрированном виде, удобном для дальнейшего высушивания. Все эти попытки все же не дали еще способа, который мог бы конкурировать с диффузионным способом получения сока.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

1. ПОДАЧА СВЕКЛЫ НА ЗАВОД

а) Подача свеклы на территорию завода. На территорию завода свеклу подают или непосредственно с полей во время уборки, или из полевых кагатов, или со свеклозаготовительных пунктов, устраиваемых при железнодорожных станциях. Свеклу привозят или гужевым транспортом, или в автомобилях, или по железной дороге в вагонах.

Немеханизированная погрузка свеклы в ватоны или автомашинные требует большого расхода рабочих рук. Поэтому нужно обращать большое внимание на механизацию погрузочных работ на свеклопунктах. В сахарной промышленности широко распространяется метод стахановца водного транспорта А. Ф. Блиндмана по применению передвижных ленточных транспортеров для погрузочных работ [41].

Ленточный транспортер (рис. 21) перемещается на колесах, имеет ферму, на концах которой устроены два барабана; по этим барабанам и движется жерновая, пеньковая лента транспортера (шириной 500 мм). Во избежание провисания лента движется по

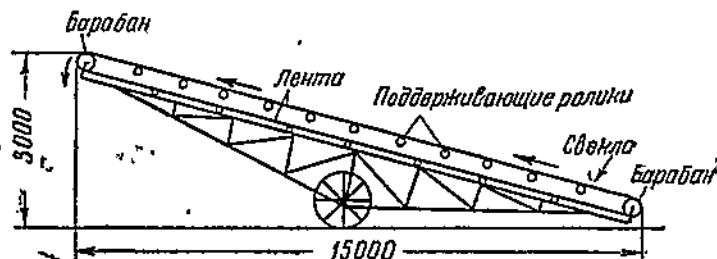


Рис. 21. Передвижной ленточный транспортер

поддерживающим роликам. На ферме же укреплен электромотор (не показанный на рисунке), приводящий в движение нижний ведущий барабан и ленту. Скорость ленты до 3,5 м/сек. В соответствии с удобствами погрузки ферму можно устанавливать, перемещая по желанию выше или ниже ее верхний конец; например, загружая свеклу на нижний конец ленты, можно таким образом подавать ее в железнодорожный вагон.

Чтобы лучше использовать мощность изображенного на рис. 21 так называемого головного транспортера, свеклу подают к нему при помощи транспортеров-питателей (предложение Блудмана). Их ленты движутся почти горизонтально, и стоящие по бокам рабочие подают свеклу на эти ленты.

Для быстрой погрузки в вагоны большую пользу приносит также применение бункерных эстакад, особенно там, где имеется благоприятный рельеф местности (рис. 22).

б) Бурачная и гидравлический транспортер. Вблизи сахарного завода устраивается так называемая бурачная для приемки свеклы, предназначенной для переработки в первую очередь. Бурачная является регулятором бесперебойной работы завода; она должна вмещать запас свеклы на 1,5—2 суток работы. Бурачная представляет собой заком треугольного сечения. Раньше такие закомы устраивались в закрытом помещении («закрытая бурачная»); теперь обычно строятся более дешевые открытые бурачные без крыш (рис. 23). Глубина закома — не более 5 м. Стенки наклонены под углом в 45° , длина зависит от тре-

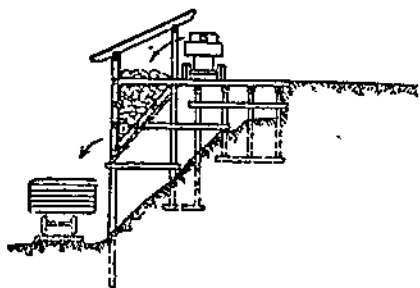


Рис. 22. Бункерная эстакада для погрузки свеклы

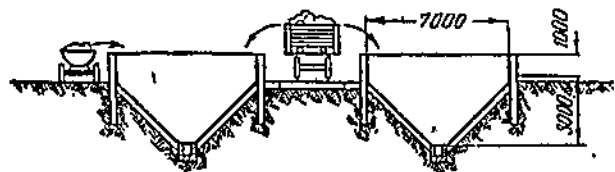


Рис. 23. Открытая бурачная

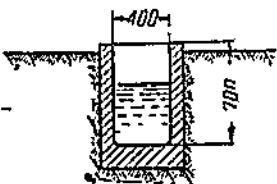


Рис. 24. Гидравлический транспортер

буемой емкости. Между парой закомов устраивается обычно путь для подвозки свеклы с железнодорожной станции. С внешних сторон можно подвозить свеклу гужом или автотранспортом.

Бурачные строятся из кирпича с цементированной поверхностью или же из дерева. Деревянные бурачные удобнее, так как кирпич и цементная штукатурка постепенно отваливаются кусками, прилепляются к свекле и попадают в свеклорезку.

По дну бурачной располагается жолоб, обычно шириной 400 мм и глубиной 700 мм (рис. 24). Это так называемый гидравлический транспортер, в который насосом подают воду. По такому искусственному ручью свекла сплавом направляется в здание завода. Вначале при загрузке бурачной жолоб гидравлического транспортера закрывают сверху поперечными досочками (см. рис. 23) — «ляда-

ми», чтобы не забить его свеклой. Когда подают свеклу на завод, ляды постепенно убирают и понемногу сгребают свеклу в транспортер. Гидравлический транспортер также лучше делать железный или деревянный, а не кирпичный или бетонный.

Уклон жолоба гидравлического транспортера должен быть не меньше 12 мм/м, а на закруглениях 15—18 мм/м. Обычное сечение жолоба транспортера прямоугольное, с закругленными углами (см. рис. 24). При указанных размерах и уклоне гидравлический транспортер подает до 15 тыс. ц свеклы в сутки.

Гидравлический транспортер — весьма удобное, простое и надежное приспособление для подачи свеклы на завод. Недостатком является лишь большой расход воды: около 600—700 кг на 100 кг свеклы. В воду транспортера переходит и теряется 0,01—0,02 % сахара по весу свеклы. Эти потери увеличиваются с повышением температуры воды, которая поэтому не должна быть выше 20°. Особенно увеличиваются потери сахара в транспортере при переработке мороженой свеклы: если свекла успеет растаять уже при движении по транспортеру, то потери сахара легко могут достигнуть 0,50 % и больше; поэтому теплая вода для транспорта мороженой свеклы особенно вредна. Расход свежей воды для транспортера можно значительно снизить, возвращая многократно одну и ту же воду после освобождения ее от загрязнений (земли) в отстойнике. Нужно лишь добавлять 10—20 % свежей воды для постепенной замены возвращаемых вод во избежание загнивания их.

Если гидравлический транспортер не справляется со своей работой, то причины этого могут быть следующие: 1) недостаточные размеры сечения транспортера, малый или неравномерный уклон его, слабая подача воды; 2) неравномерная подача свеклы, что вызывает забивание транспортера свеклой; 3) загрязнение транспортера песком, камнями, глиной (при остановках завода следует чистить транспортер); 4) неровные шероховатые стенки жолоба (кирпичные транспортеры должны быть гладко цементированы; деревянные жолоба делаются из гладко оструганных, точно пригнанных досок; листы железных транспортеров соединяются впритык и на заклепках с потайными головками; еще лучше делать сварные конструкции); 5) смерзание замороженной свеклы в комья в жолобе транспортера при работе в большие морозы (в этом случае повышают температуру воды для транспортера; если же это не помогает, то разбивают ломом глыбы смерзшейся свеклы).

Во избежание переливания смеси воды и свеклы из жолоба транспортера, когда прекращают забор свеклы для направления ее на мойку, полезно в конечной части транспортера на длине 30—50 м устраивать параллельно с жолобом транспортера второй жолоб, закрытый решетками. Назначение его — отводить избыточную воду и не пропускать свеклу. Сечение этого второго жолоба несколько меньше сечения основного. Высота стенки, отделяющей основной жолоб от дополнительного, на 5—10 см ниже высоты внешних стенок жолобов. Вспомогательный жолоб снабжается трубой для отвода воды.

Для облегчения работы по подаче свеклы из бурочной в гидравлический транспортер весьма удобны гидранты Фельше. На рис. 25 изображен подобный гидрант конструкции Бабица [39, стр. 5]. Он представляет собой колонку, из которой вода под давлением 2 атм подается в гибкий гофрированный шланг и выбрасывается из наконечника с большой силой. Колонка может

вращаться, так как присоединена к штуцеру на салынике. Шланг можно направлять вверх или вниз при помощи рукоятки. Сильная струя воды из гидранта направляется на свеклу, лежащую в бурачной, и постепенно смывает ее в гидравлический транспортер. По мере разгрузки бурачной гидрант пересаживают все дальше и дальше на новые штуцеры водяной коммуникации, освобождающиеся из-под слоя свеклы. Так как гидрант подает всю воду, требующуюся для гидравлического транспортера, то при работе с гидрантами нет нужды прикрывать дощечками («лядами») жолоб транспортера.

Гидранты («Эльфа») применяются иногда также для быстрой разгрузки вагонов при помощи сильной струи воды. Для разгрузки

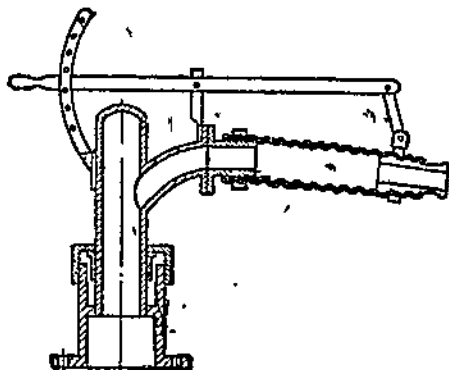


Рис. 25. Гидрант Бабица

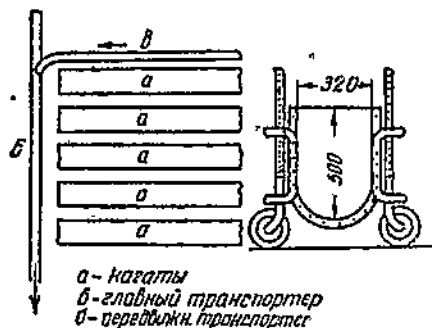


Рис. 26. Передвижной гидравлический транспортер

вагона требуется всего лишь 5 мин. при работе 2 чел. Свекла при этом направляется из вагона непосредственно в гидравлический транспортер и на завод.

Недостатком гидранта «Эльфа» является ограниченность его применения: он хорошо используется лишь в том случае, когда подача свеклы с железнодорожной станции соответствует производительности завода. Кроме того разгрузка вагонов гидрантами вызывает увеличенный расход: 1) воды на гидравлический транспортер и 2) энергии, так как вода подается под повышенным давлением (2 атм).

Из кагатов свеклу подают на завод также при помощи гидравлических транспортеров, линии которых прокладывают в нескольких местах кагатного поля. Из кагата в ближайшую к нему линию гидравлического транспортера свеклу можно передавать при помощи ленточных транспортеров-питателей или же при помощи переносных подсобных гидравлических транспортеров. Эти транспортеры представляют собой железные желоба, которые можно перемещать на колесах (рис. 26).

в) Подача свеклы в мойку. Линия гидравлического транспортера оканчивается в моечном отделении завода. Здесь, уже внутри заводского помещения, свекла из гидравлического транспортера

поднимается на несколько метров вверх и передается в свекло-мойку. Эта операция выполняется обычно при помощи подъемного колеса, шнека или мамутнососа.

Подъемное колесо представляет собой вертикально расположенный большой круг из дырчатого железа, диаметром от 5 до

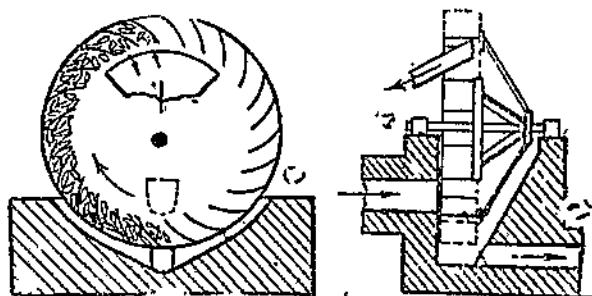


Рис. 27. Подъемное колесо

10 м (рис. 27). Он медленно вращается вокруг горизонтальной оси. С одной стороны к этому кругу приделаны обод шириной 0,5 м и кольцо, также из дырчатого железа. Таким образом получается вращающийся кольцевой канал, разделенный особыми перегород-

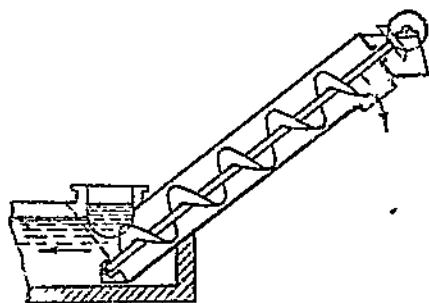


Рис. 28. Шнек бурачный

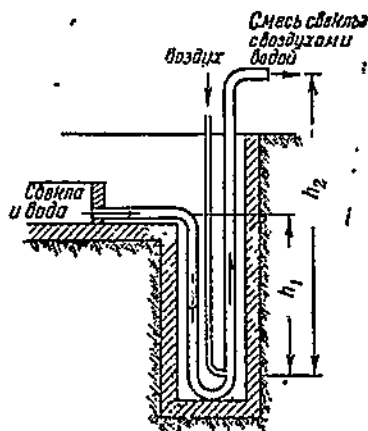


Рис. 29. Мамутносос

ками и ряд карманов. Свекла из гидравлического транспортера попадает в нижнюю часть колеса, причем вода транспортера уходит через отверстия дырчатого обода в сточную канаву. Свекла же, захваченная карманами колеса, поднимается при его вращении и на высоте приблизительно 0,8 диаметра колеса вываливается в наклонный желоб, направляющий свеклу в мойку.

Таким образом высота подъема свеклы равна 0,8 диаметра

подъемного колеса, т. е. от 4 до 8 м. Окружную скорость обода устанавливают от 0,7 до 0,9 м/сек (можно до 1,4 м/сек).

Если конец гидравлического транспортера расположен слишком низко и отвод грязной воды самотеком затруднителен, то устраивают подъемное колесо не из дырчатого, а из сплошного железа. Тогда колесо поднимает вместе со свеклой и воду из гидравлического транспортера.

При небольшой высоте подъема свеклы (до 3 м) удобнее вместо подъемного колеса применять бурачный шнек (рис. 28). Он представляет собой бесконечный винт, вращающийся в наклонном железном жолобе. Угол наклона шнека не более 40° . Диаметр шнека — 0,4—0,6 м и число оборотов в минуту не более 40, так как при большем числе оборотов ломаются корни свеклы.

Для подъема смеси свеклы и воды при больших высотах подъема применяют так называемый мамутнасос (рис. 29). Конструкция его очень проста: он представляет собой широкую трубу диаметром 0,35—0,50 м, изогнутую U-образно. В более короткое колено трубы поступает свекла и вода, в более длинное вдувается снизу компрессором воздух. Таким образом это колено заполнено смесью воды, свеклы и пузырей воздуха. Оба колена трубы являются сообщающимися сосудами. Если бы они были наполнены одинаковой жидкостью, то она стояла бы в них на одинаковом уровне. Но так как в длинном колене смесь легче вследствие присутствия в ней воздуха, то для уравнивания требуется более высокий столб легкой смеси в длинном колене. Таким образом вдувание воздуха позволяет подать свеклу и воду на более высокий уровень. Обычно $h_2 = 2h_1$, т. е. высота подъема свеклы равна глубине, на которую опущена U-образная труба.

Недостатком мамутнасоса являются необходимость устройства глубокой шахты и большой расход энергии на компрессор для воздуха.

При диаметре трубы 0,4 м мамутнасос подает 15 тыс. ц свеклы в сутки. Коэффициент полезного действия установки лишь 0,13.

2. ОСВОБОЖДЕНИЕ СВЕКЛЫ ОТ ГРУБЫХ ПРИМЕСЕЙ

На гидравлическом транспортере обычно устанавливаются аппараты для отделения от свеклы грубых примесей — камней, соломы и песка.

а) Соломолушка. Прimitивная соломолушка для улавливания соломы, ботвы и вообще легких примесей свеклы представляет собой ряд проволочных крючков, свободно подвешенных в воде гидравлического транспортера (рис. 30). Отклоняясь, эти крючки не мешают движению плывущей свеклы, но улавливают и задерживают солому, которую время от времени вручную удаляют. Следовательно, требуется непрерывный тщательный надзор и уход за этими ручными приспособлениями. Таких трапезных соломолушек устанавливают друг за другом несколько (например 10).

В настоящее время на крупных заводах обычно устанавливают не ручные, а механизированные соломоловушки американского типа (рис. 31). Принцип их действия тот же, что и ручных соломоловушек: солома также улавливается граблями из ряда подвешенных пластинок с зазубринами (вместо проволочных крючьев). Но эти грабли здесь не висят неподвижно, а движутся навстречу свекле

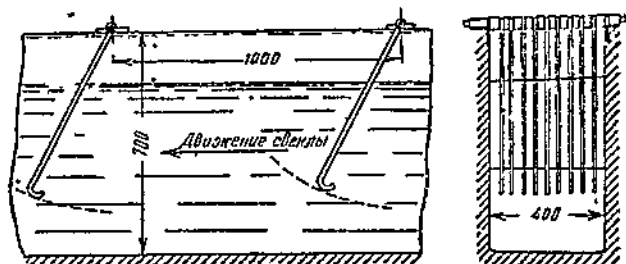


Рис. 30. Ручная грабельная соломоловушка

и воде транспортера, так как висят они на валиках, соединяющих две параллельных движущихся бесконечных цепи. Весьма остроумный способ автоматической очистки граблей; они, выходя из транс-

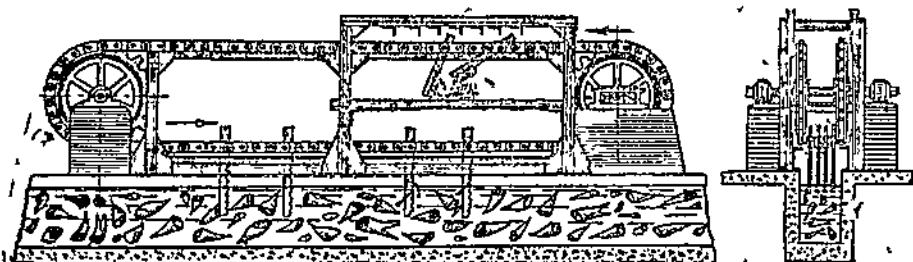


Рис. 31. Соломоловушка американская

портера, поднимаются вместе с соломой вверх; верхние несколько выдающиеся концы пластинок граблей задевают за железные уголки, причем зубчатые пластинки наклоняются так, что солома с них сваливается на особую площадку, с которой ее и спребуют. Солома легко соскакивает с зубцов пластинок главным образом потому, что пластинки не только наклоняются, но и энергично встряхиваются, так как верхний конец их при движении цепей перескакивает последовательно по целому ряду железных уголков. Прибор устанавливают так, чтобы грабли были погружены на 200 мм ниже среднего уровня воды в транспортере. Для установки выбирают такое место транспортера, где уровень воды меньше всего колеблется. Цепи соломоловушки движутся медленно — со скоростью лишь 0,20 м/сек.

Соломолушники устанавливают в отдельном отапливаемом помещении.

б) Камнеловушка. Весьма проста камнеловушка сист. Баранова (рис. 32). Она представляет собой углубление в гидравлическом транспортере. В этом углублении и собираются камни, как более тяжелые, чем свекла. Свекла не оседает в камнеловушке вместе с камнями потому, что ее выносит вода, подаваемая в камнеловушку снизу. Для удаления накопившихся камней время от времени открывают крышку с противовесом, имеющуюся на дне ловушки.

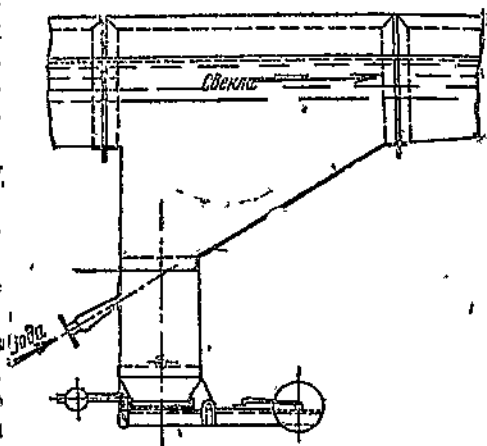
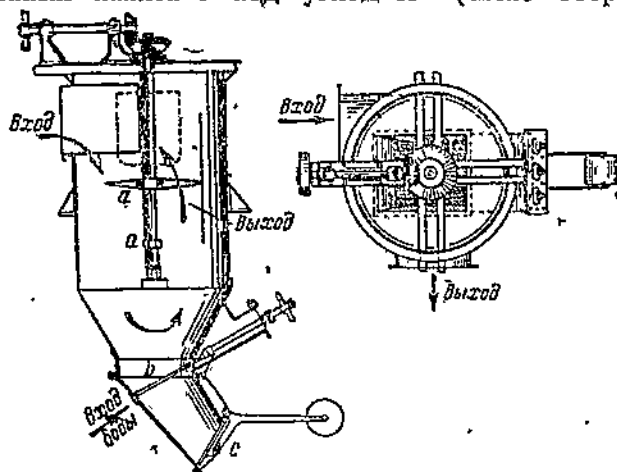


Рис. 32. Камнеловушка Баранова

Сложнее, но надежнее в работе камнеловушка сист. Рауде (рис. 33). Она состоит из цилиндрического сосуда диаметром 1—1,5 м с коническим дном. Внутри имеется вертикальный вал с двумя парами перемещающих лопастей a , установленных наклонно под углом 45° (число оборотов — 35—



[Рис. 33. Камнеловушка Рауде

45 в мин.). Свекла поступает из транспортера в верхнюю часть камнеловушки тангенциально (по касательной), а удаляется радиально под углом в 90° к направлению поступления и немного ниже уровня поступления.

Мешалка способствует более четкому отделению камней от свеклы. Камни собираются на дне камнеловушки. Разделению спо-

«собствует также и циркуляция воды, вызываемая» действием мешалки: в середине образуется на поверхности воды небольшая воронка и нисходящий ток жидкости, а у стенок, наоборот, восходящий ток, который выносит свеклу к выходному отверстию. Кроме того в коническую часть камнеловушки подается струя воды, препятствующая осаждению свеклы вместе с камнями.

Камнеловушка имеет двойной затвор: решетчатый шибер *b* и крышку, с противовесом *c*. Камни собираются на решетке *b*. При чистке камнеловушки сначала отодвигают задвижку *b*, вследствие чего камни перемещаются под эту задвижку на крышку *c*. Затем задвижка закрывается и открывается на один момент крышка *c*; при этом камни выбрасываются из пространства *bc*, а вся свекла остается в камнеловушке, так как поддерживается решетчатой задвижкой *b*. Камнеловушка чистится не реже чем через 4 часа.

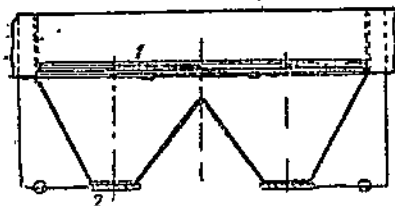


Рис. 34. Пескеловушка Коберника

двигается по дну гидравлического транспортера, поэтому старшавец Коберник предложил для удаления песка заменить на протяжении например 1,5 м дно гидравлического транспортера решеткой из железных прутьев толщиной 10 мм, уложенных вдоль транспортера с промежутками 18—20 мм (рис. 34). Песок и мелкие камешки проваливаются под решетку, откуда их удаляют при чистке пескеловушки.

3. МОЙКА СВЕКЛЫ

Частично свекла отмывается от прилипшей к ней земли и глины уже в гидравлическом транспортере и в камнеловушке сист. Рауде. Для окончательной же очистки свеклы ставят специальную мойку. Имеется ряд систем моек; все они — кулачные мойки и представляют собой заполненный водой корытообразный сосуд, вдоль которого расположен вал с рядом кулаков. Свекла поступает непрерывно из подъемного колеса и постепенно передвигается кулаками к другому концу мойки, откуда, уже промытая, удаляется. Тщательному промыванию свеклы весьма способствует трение свекловичных корней о кулаки мойки и друг о друга. Вода в мойку подается непрерывно по принципу противотока, т. е. свежая вода поступает на уходящую уже из мойки чистую свеклу.

а) Мойка сист. Добровольского (рис. 35) состоит из трех отделений, причем первое отделение является главным. Над сплошным дном корыта мойки имеется решетчатое дно, по которому и движется

ся свекла. Грязь проходит через решетку и собирается на сплошном дне, откуда ее и удаляют периодически через спускные люки *а*. Кулаки расположены винтообразно, причем в первой половине первого отделения насажены чаще, чем во второй половине, вследствие чего количество свеклы и воды в первом отделении увели-

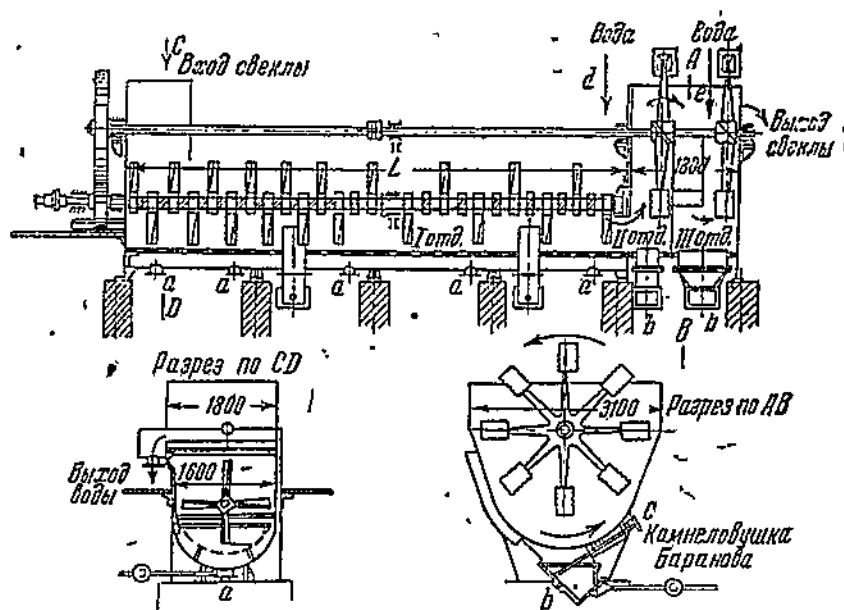


Рис. 35. Мойка Добровольского

ченное; это усиливает трение корней друг о друга и улучшает промывание свеклы. Так как уровень воды стоит высоко и все кулаки полностью погружены в воду, то создается спокойная поверхность воды над кулаками, что очень важно; на поверхности воды всплывает солома и удаляется из мойки через перелив вместе с грязной водой (на разрезе *CD* — слева). Таким образом мойка является одновременно и контрольной соломоловушкой.

Отделения второе и третье выполняют роль камнеловушек. В них двигаются лопасти, насаженные на особый вал, расположенный выше вала первого отделения. Лопасти перебрасывают свеклу из второго отделения и перекидывают ее через стенку в третье, лопасти же третьего отделения таким же образом выкидывают свеклу из мойки. Лопасти, двигаясь, далеко не достают до дна второго и третьего отделений. Поэтому они захватывают лишь свеклу, а камни остаются на дне и попадают в две камнеловушки *б* типа Баранова, устроенные во втором и третьем отделениях. Отсюда камни удаляются при чистке мойки через особый клапан с противосомом.

Чтобы очистить ловушку от камней, в нее направляют через особый штуцер струю воды. Когда свекла всплывает под влиянием тока воды, в ловушку выдвигают вручную пальцы с из круглого железа и таким образом отделяют нижнюю часть ловушки от остального пространства; затем на момент открывают клапан для удаления камней. После этого клапан вновь закрывают, а пальцы выдвигают из ловушки и она продолжает работать.

Диаметр первого отделения 1,6 м, второго и третьего — 3,1 м. Длина моечной части (первого отделения) 4—10 м в зависимости от производительности (нужно, чтобы свекла находилась в моечном отделении 6 мин., причем считают, что в 1 м³ смеси воды и свеклы содержится 420 кг свеклы). Число оборотов кулачного вала — 15—20 об/мин. и вала лап — 8—12 об/мин. [13]

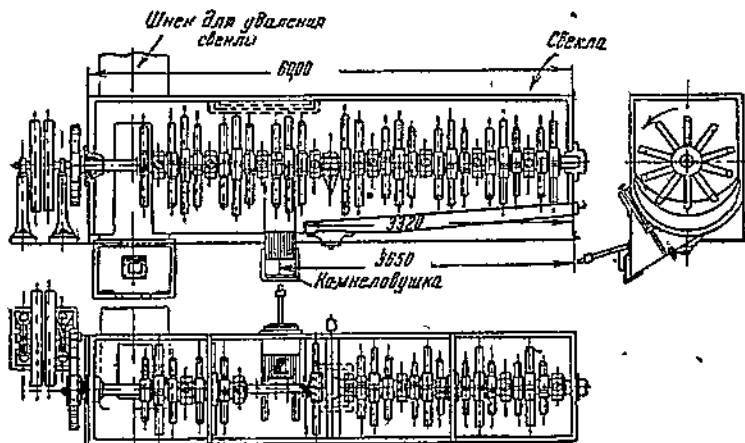


Рис. 36. Мойка Пустынского

Вода подается в мойку в том месте, где свекла покидает моечное отделение первого (d) и в камнеловушку третьего отделения мойки (e). Принцип противотока был бы более выдержан, если бы вода подавалась лишь в отделение третье на уходящую из мойки чистую свеклу. Выход воды из мойки устраивается через перелив в отделении первом — в той его половине, куда поступает грязная свекла. Через этот же перелив уходит и солома.

Расход воды на мойку составляет 40—50% по весу свеклы.

б) Мойка сист. Пустынского (рис. 36) проще мойки сист. Добровольского. Она имеет лишь один кулачный вал. Свекла удаляется из мойки при помощи шнека и в этом шнеке еще раз опрыскивается свежей водой. Передняя часть мойки, куда поступает грязная свекла, имеет над сплошным дном еще и решетчатое дно. Под ним собирается грязь, удаляемая периодически через грязевой клапан. В середине корыта мойки устроена камнеловушка типа Баранова.

Кулаки мойки покрыты водой, что позволяет соломе всплывать. Однако поверхность воды в мойке сист. Пустынского менее спокойна, чем в мойке сист. Добровольского, в связи с чем солома удаляется значительно хуже. Плохо работает и камнеловушка, так как она забивается плотной массой свеклы,двигающейся по корыту, мойки; камни легко проходят по мойке сист. Пустынского и попадают в резку.

Достоинство мойки сист. Пустынского заключается в том, что она очень хорошо промывает свеклу, и ее можно было бы применять при наличии перед ней надежных соломоловушек и камцеловушек.

в) Моечное помещение, в котором находится также и подъемное колесо, должно быть достаточно светлым и просторным; оно должно иметь отопление и вентиляцию, иначе оно всегда будет заполнено паром: от поступающей холодной свеклы в моечном помещении без отопления будет холодно и от сравнительно теплой воды ($15-18^{\circ}$), находящейся в мойке, будут подниматься клубы густого тумана и оседать на оборудовании, трансмиссиях и пр.

Для удаления выбрасываемой из мойки соломы и камней устраивается механизированное при помощи шнека приспособление.

г) Потери и отходы моечного отделения. Потери сахара в транспортномоечных водах при хорошей свежей свекле не превышают 0,01% по весу свеклы, а для мороженой свеклы — 0,05%. При свежей свекле температуру воды для мойки поддерживают в пределах $15-18^{\circ}$. Для мороженой свеклы вода в транспортере должна быть минимальной температуры, но такой, чтобы свекла в нем не смерзлась. Оттаивание мороженой свеклы в транспортере и в мойке может весьма значительно повысить потери сахара в транспортномоечных водах (например до 0,5% и выше).

Вместе с камнями и соломой, удаляемыми из свекломойки, попадают и корни свеклы, которые необходимо тщательно отбирать и возвращать в мойку.

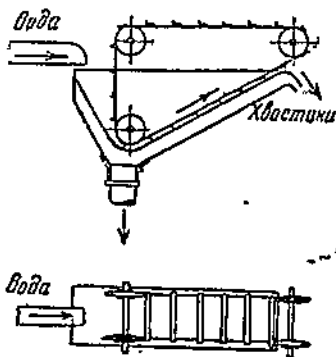


Рис. 37. Хвостиколовитель Магена

Сточные воды моечного отделения уносят с собой отломившиеся хвостики свеклы и мелкие корни. Количество таких хвостиков может доходить до 1—2% по весу свеклы. Поэтому желательно иметь специальный хвостиколовитель, например, сист. Магена (рис. 37), представляющий собой ящик с решетчатым дном, через которое и пропускается транспортномоечная вода. Хвостики, задержанные решеткой, выгребаются планочным транспортером, движущимся на трех барабанах. Уловленные хвостики направляются в диффузионную батарею (полезно предварительно раздробить их, пропуская через вальцы или какую-либо иную дробилку, что, облегчает диффузию сахара).

Транспортномоечные воды содержат лишь ничтожное количество растворенных веществ (сотые доли процента). Поэтому их можно или вернуть в водоем (в реку, пруд), или же вновь применить для питания гидравлического транспортера. Однако сточные воды следует предварительно освободить от взвешенных частиц земли путем отстаивания в специальных отстойниках.

4. ТРАНСПОРТИРОВКА СВЕКЛЫ К РЕЗКЕ И ВЗВЕШИВАНИЕ

а) Контрольный транспортер. Иногда, после мойки свеклы устанавливают контрольный транспортер. Лента его делается из проволоочной сетки (иногда бывает резиновая) длиной около 3 м;

лента движется горизонтально и медленно (0,3 м/сек), свекла должна двигаться в одну сторону. Назначение транспортера — проконтролировать степень отделения от свеклы посторонних предметов (камней, кусков дерева, металлических предметов и т. п.) и удалить их вручную, для чего при транспортере должен быть специальный рабочий.

Контрольные транспортеры приносят очень мало пользы, так как трудно рассчитывать на то, чтобы рабочий в течение 8 час. смотрел с одинаковым неослабевающим вниманием

на движущуюся перед ним свеклу. Вместо установки мало эффективного контрольного транспортера правильнее обращать больше внимания на работу камнеловушек и соломоловушек.

б) Отделение воды от промытой свеклы. Лапы, выбрасывающие свеклу из мойки, захватывают также некоторое количество воды. Если имеется сетчатый контрольный транспортер, то сетчатая лента его отделяет воду от свеклы. Если же лента контрольного транспортера резиновая или контрольный транспортер вообще отсутствует, то в конце мойки надо устанавливать наклонную решетку длиной 1 м для отделения

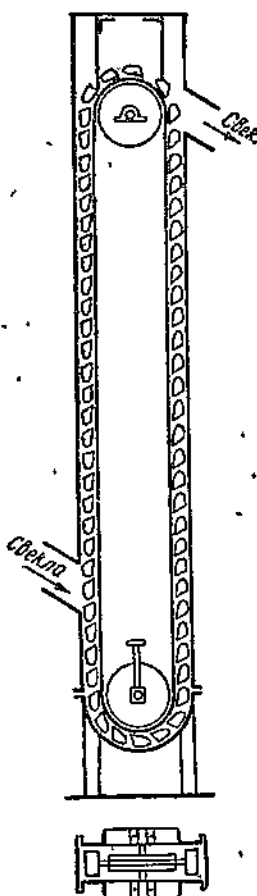


Рис. 38. Вручной элеватор

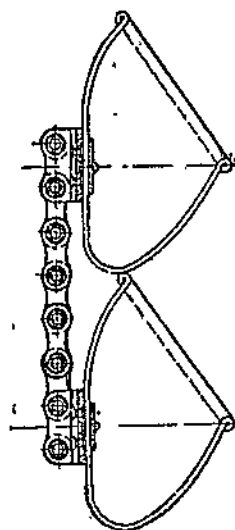


Рис. 39. Карманы с цепью Галла

воды от свеклы, иначе вода попадет в бурчаный элеватор, в резку и со стружкой будет подана в диффузионную батарею, что приведет к получению разбавленного диффузионного сока и потребует выпаривания излишней воды на выпарке.

На поверхности свеклы после мойки всегда остается небольшое количество воды (не больше 1% по весу свеклы); если же не следить надлежащим образом за отделением воды от свеклы, то в свекловичную стружку может попасть и до 10% излишней воды.

в) Бурачный элеватор. Свекломойка обычно располагается на полу первого этажа, откуда вымытую свеклу поднимают на высоту 15—20 м, чтобы обеспечить дальнейшее перемещение ее самотеком на автоматические весы, затем в свеклорезку и на транспортер, передающий свекловичную стружку в диффузоры.

Для подъема свеклы служит карманный вертикальный бурачный элеватор (рис. 38). Он состоит из двух барабанов, между которыми движется вертикально цепь. К звеньям этой цепи прикреплены карманы элеватора. Верхний барабан — ведущий: он получает движение от мотора через редуктор. Нижний барабан — натяжной: его подшипники могут перемещаться вверх и вниз при помощи винта, чтобы таким образом натягивать цепь элеватора. Для элеватора применяют или обычные простые корабельные цепи или цепи Галля (рис. 39).

Для предупреждения обратного хода барабана (во время остановки элеватора) под тяжестью нагруженных карманов устанавливают на валу верхнего барабана два храповых колеса с «собачками», удерживающими от обратного движения.

Элеватор монтируется на станине из четырех стоек швеллерного (корытного) железа. Вдоль стоек элеватора приклепываются направляющие угольники, между которыми движутся планки, имеющие с каждого кармана: это обеспечивает правильное без колебаний движение цепи и карманов.

Чтобы свекла на пути не вываливалась из карманов, элеватор закрыт со всех сторон железным кожухом.

Свекла подается к элеватору на 2—3-й карман, считая от осн. нижнего барабана сверху. Нижний барабан с ковшами должен быть охвачен подвесным решетчатым ковшом для предупреждения просыпания свеклы. Для отвода воды карманы элеватора делаются дырчатыми.

Скорость цепи элеватора — 0,65 м/сек для корабельных цепей (не более 1,0 м/сек) и 0,80 м/сек для цепи Галля (не более 1,2 м/сек). На 1 м³ емкости кармана помещается 500 кг свеклы. Диаметр барабанов — 1—1,5 м [13].

г) Магнитный сепаратор [14].

После элеватора весьма полезно поставить электромагнитный сепаратор шкивного типа (рис. 40) для удаления из свеклы железных примесей, прошедших через камнеловушку. Он представляет собой небольшой лассовый транспортер из прорезиненной ленты длиной например 1,5 м и такой ширины, чтобы свекла двигалась по нему в один слой (например 1,6 м для завода на 12 тыс. ц суточной переработки). Лента движется по двум барабанам *a* и *b*. Барабан *b* — натяжной, а барабан *a* — ведущий — большего диаметра. Этот барабан в то же время и магнит-

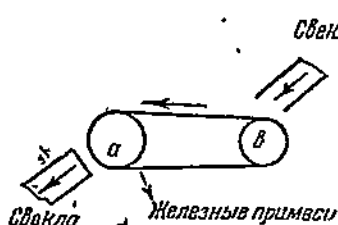


Рис. 40. Электромагнитный сепаратор

ный. Он собран из нескольких (например 5) железных шкивов, между которыми в узких промежутках имеются катушки изолированной проволоки, вращающиеся вместе со шкивами. Все катушки соединены друг с другом последовательно и таким образом, чтобы при пропускании в них через коллекторные кольца постоянного то-

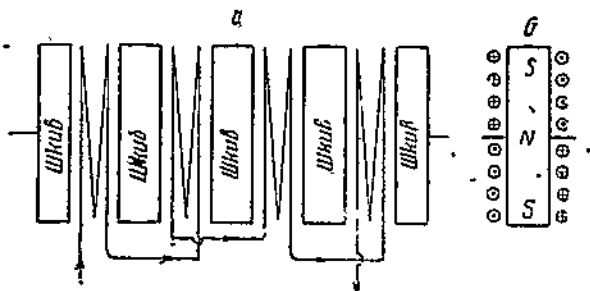


Рис. 41. Схема соединения катушек электромагнитного сепаратора

ка (110 в) цилиндрическая поверхность шкивов становилась полюсом электромагнита, а в центре шкивов оказывался другой полюс. Поэтому все железные примеси притягиваются через ленту транс-

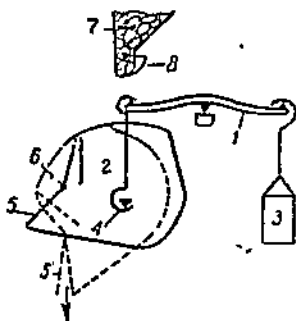


Рис. 42. Схема автоматических весов „Хронос“

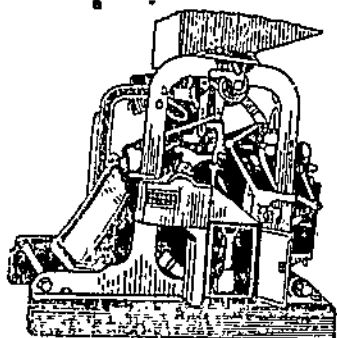


Рис. 43. Автоматические весы „Хронос“

портера к поверхности барабана *a*, свекла же сваливается с ленты беспрепятственно. Железные примеси тоже сваливаются, но позже свеклы — тогда, когда они вместе с лентой транспортера выходят из сферы влияния магнита.

На рис. 41 дана схема соединения промежуточных катушек электромагнитного сепаратора шкивного типа. Как видно из рисунка, полярность катушек чередуется, т. е. если в первой катушке ток идет по часовой стрелке, то во второй — против часовой стрелки, в третьей опять по часовой стрелке и т. д. Получающееся распределение токов около одного из шкивов показано на рис. 41 (точками отмечены токи, идущие к зрителю, а крестиками — токи, идущие от зрителя). Очевидно, при этих условиях цилиндрическая поверхность изображенного шкива окажется южным полюсом магнита.

д) Автоматические весы [42]. Из элеватора свекла обычно направляется по жолобу самотеком на автоматические весы, учитывающие точно количество сырья, поступившего на завод. Зная по лабораторным анализам сахаристость свеклы, можно определить, сколько сахара введено со свеклой на завод за данное время. Таким образом автоматические весы являются весьма важным аппаратом, на показаниях которого основывается весь химико-технический учет сахарного завода.

На свеклосахарных заводах обычно применяют автоматические весы с опрокидывающимся ковшом типа «Хронос» (схема — рис. 42 и внешний вид — рис. 43). Весы имеют коромысло 1, ковш 2 для отвешиваемой свеклы, которая поступает в него сверху из жолоба от элеватора через питательный бункер, и гирию 3, подобранную для определенной порции отвешиваемой свеклы. В зависимости от мощности завода ставят весы на 300, 400 или 500 кг свеклы, отвешиваемой за один прием.

Точка привеса ковша 4 выбрана так, что центр тяжести пустого ковша находится правее точки привеса; очертание ковша таково, что центр тяжести наполненного свеклой ковша, наоборот, лежит левее точки привеса. Поэтому наполненный ковш стремится перевернуться влево против часовой стрелки. Ковш весов имеет слева откидную дверцу 5, которая может вращаться вокруг шарнира 6.

Ковш весов постепенно заполняется свеклой из бункера 7. Когда наступает равновесие, то сдвинувшееся с места коромысло весов освобождает заслонку 8, которая, вращаясь вокруг шарнира против часовой стрелки, моментально закрывает выпускное отверстие бункера и прекращает доступ свеклы. Затем также движением коромысла освобождается защелка, мешавшая опрокидыванию ковша весов, и ковш опрокидывается (против часовой стрелки), так как центр тяжести нагруженного ковша лежит левее точки его опоры. Опрокинувшись, ковш занимает положение, изображенное пунктиром (см. рис. 42). Свекла в ковше переваливается влево, толкает, открывает откидную дверцу 5 и вываливается из ковша. Опорожненный ковш вновь поворачивается в первоначальное положение, так как центр тяжести пустого ковша лежит правее точки его привеса. Становясь в первоначальное положение, ковш при своем движении через передающий механизм вызывает открытие заслонки 8, и свекла начинает снова поступать в ковш. Весы опрокидываются до двух раз в минуту.

Весы имеют счетный механизм с двумя шкалами. Верхний счетчик при каждом опрокидывании весов суммирует вес свеклы, равный весу груза (300, 400 или 500 кг). Нижний счетчик суммирует так называемые перевесы, т. е. небольшие излишние количества свеклы, которые успевают попасть в ковш сверх веса гири, пока начинает двигаться коромысло и захлопывается подача из бункера. Таким образом, чтобы узнать количество поступившей свеклы, нужно к приросту показаний верхнего счетчика прибавить прирост показаний нижнего счетчика.

Автоматические весы необходимо периодически, раз в сутки, проверять. Проверка производится путем взвешивания выгружаемой при опрокидывании весов свеклы на десятичных весах (такие десятичные весы с ящиком для приема порции свеклы специально ставятся под автоматическими весами).

Из автоматических весов сахарная свекла по жолобу самотеком поступает в свеклорезки.

5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В работе свеклосахарного завода вообще первостепенное значение имеет равномерность ведения процессов и их регулирование. Эта равномерность работы завода зависит прежде всего от равномерной подачи свеклы в количестве, соответствующем производительности завода.

При слишком медленной подаче свеклы снижается производительность всего завода. Кроме того слабо заполненная свеклой мойка плохо промывает ее, так как корни слабее трутся друг о друга.

Наоборот, если некоторое время свекла подается в чрезмерном количестве, то это вызывает ряд затруднений. Гидравлический транспортер в некоторых местах может оказаться забитым свеклой; свекла образует как бы плотину и перестает двигаться, а вода переливается через края транспортера. Свекла, идущая по гидравлическому транспортеру чрезмерно густой массой, проскакивает вместе с камнями через камнеловушку; соломоловушки также не успевают справиться со своей работой. При переполнении мойки свеклой требуется большое усилие для вращения вала с кулаками, причем кулаки могут ломаться. При чрезмерном количестве свеклы в мойке солома очень плохо всплывает из этой густой массы, и камнеловушки мойки тоже не выполняют своей работы.

Отсюда видно, какой вред работе завода наносит неравномерность в подаче свеклы. Для регулирования подачи свеклы моечное отделение обязательно должно быть связано световой и звуковой сигнализацией с бурачной, чтобы своевременно давать знать в бурачную о необходимости ускорить или замедлить подачу свеклы.

Огромное значение имеет также своевременная, по графику, очистка камнеловушек, соломоловушек и мойки.

Следует обращать внимание на тщательность работы при подаче свеклы, чтобы в транспортер не попадало посторонних предметов. Большие затруднения вызывает например часто случающееся при небрежной работе попадание в жолоб транспортера дощечек («ляд»), закрывающих его в бурачной. Дощечки не задерживаются ни камнеловушками, ни соломоловушками и могут вызвать повреждения и остановку подъемного колеса и мойки.

3. ПОЛУЧЕНИЕ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ СВЕКЛЫ

Для быстрого и возможно полного извлечения сахара из свеклы методом диффузии главнейшее, — решающее значение имеет хорошее измельчение свеклы, превращение ее в тонкую стружку.

Хорошая свекловичная стружка представляет собой длинные и тонкие полоски свеклы желобчатого кровлеобразного сечения (рис. 44). Ширина стружки a бывает обычно 4 мм (от 3 до 5) и толщина S — не менее 0,5 и не более 1,0 мм. Кровлеобразная форма обеспечивает омывание стружки со всех сторон, тогда как плоские полоски могли бы плотно прилегать друг к другу в диффузоре без всяких промежутков для циркуляции сока. Слишком тонкая стружка нежелательна, так как она сминается в компактную массу и тоже ухудшает циркуляцию сока; но и слишком толстая стружка также недопустима, потому что при увеличении пути диффундирования сахар из нее диффундирует слишком медленно.

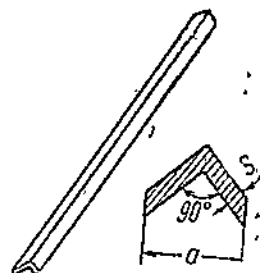


Рис. 44. Свекловичная стружка

На заводе качество стружки обычно оценивают по длине, которую занимают 100 г ее. Чем больше эта длина, тем тоньше и, следовательно, лучше стружка. Хорошая стружка имеет длину около 25 м. При переработке мерзлой свеклы удастся получить длину стружки от 15 до 20 м.

При определении длины 100 г стружки раскладывают и меряют длину лишь действительно стружки, а брак (стружка и кусочки короче 1 см) и мезгу (полоски тоньше 0,5 мм) отбирают и взвешивают отдельно. К браку же относят и так называемые «гребешки», т. е. широкие бороздчатые пластинки свеклы (несколько стружек, не отделенных одна от другой). Количество брака и мезги должно быть возможно меньше (брака не более 1%).

Хотя всю стружку не удастся получить в виде желобчатой, но во всяком случае стружка такого вида должна составлять не менее 50—55% по весу свеклы.

Свекла изрезывается при помощи ножей, вставленных в рамы. Это приспособление аналогично обычной шинковке для капусты и овощей.

Свеклорезки бывают двух типов — горизонтальные и вертикальные. В одних свекла лежит неподвижно на вращающемся диске, в окна которого вставлены рамы с ножами; при этом свекловичная

стружка выходит с нижней стороны диска; такая резка называется дисковой, или горизонтальной. В другом типе резок рамы с ножами неподвижны, движется же свекла и изрезывается о неподвижные ножи; ножевые рамы при этом вставляются в окна боковой поверхности вертикального цилиндра, а свекла подается в этот цилиндр, в котором вращается вертикальный вал с лопастями, заставляющий вращаться и свеклу. Свекла прижимается центробежной силой к ножам и быстро двигается по ним; стружка выбрасывается с боковой поверхности цилиндра резки. Такая резка называется центробежной, или вертикальной.

2. НОЖИ И НОЖЕВЫЕ РАМЫ СВЕКЛОРЕЗКИ

Для получения свекловичной стружки чаще всего применяются ребристые фрезерованные ножи сист. Чижека (рис. 45). Эти ножи

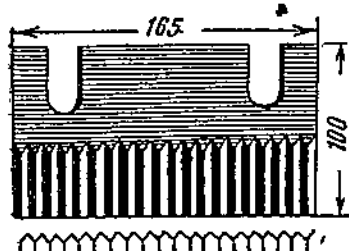


Рис. 45. Ребристый нож
Чижека

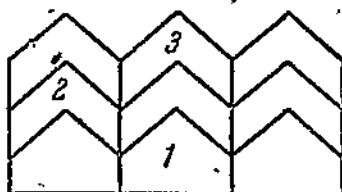


Рис. 46. Профиль стружки для
ножей Чижека

имеют зигзагообразное лезвие и снизу острые ребра, которые отделяют одну стружку от другой. При абсолютно точном движении одного ножа за другим ребристый нож должен дать однотипную желобчатую стружку (рис. 46), но для этого нужно, чтобы за гребешками одного ножа точно следовали гребешки следующего за ним другого, третьего и т. д. ножа. Так как полностью добиться такой правильности движений ножей не удастся, то получается лишь 50—55% желобчатой стружки.

Иногда встречаются фрезерованные кенигсфельдские, или польские, ножи (рис. 47) и ножи сист. Голлера (рис. 48) с таким же лезвием, как у польских, но не фрезерованные, а дешевые штампованные; ножи сист. Голлера имеют также зигзагообразное лезвие (под углом 60°), но не имеют ребер. Ножи сист. Чижека устанавливают так, что они режут всей линией лезвия, а отдельные стружки отрезаются одна от другой ребрами. Если подобным образом поставить ножи сист. Голлера, то они, не имея ребер, будут давать не отдельные стружки, а «гребешки» из нескольких не отделенных друг от друга стружек. Поэтому ножи сист. Голлера приходится устанавливать так, чтобы нижние части зигзагов ножа были утоплены ниже стоящей против ножа планки. Вследствие этого часть лезвия ножа сист. Голлера (нижние части зигзагов) не используются, не все лезвие режет. Кроме того ножи сист. Голлера нужно устанавливать так, чтобы за гребешками одного ножа шли не гребешки, а углубления следующего ножа, иначе, следующий нож пройдет впустую, ничего не срезая. Стружка, даваемая ножами сист. Голлера, получается при со-

вершено точном движении ножей все же не однородной, а нескольких типов (рис. 49). Однако на практике также и при применении самых дорогих и сложных ножей сист. Чижека все равно желобчатой стружки получается лишь половина. Поэтому пренебрегать дешевыми ножами сист. Голлера не следует.

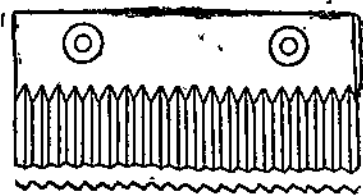


Рис. 47. Кенигсфельдский (польский) нож

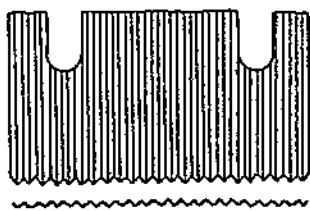


Рис. 48. Штампованный нож Голлера

При переработке сильно деревянистой свеклы иногда применяют пальцевидные ножи с ребрами (рис. 50), а для мерзлой и порченой свеклы, — пальцевидные ножи без ребер (рис. 51). Мерзлая, но не испорченная свекла хорошо режется и обычными ножами.



Рис. 49. Профиль стружки для ножей Голлера

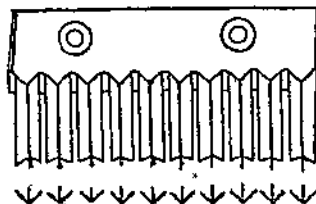


Рис. 50. Пальцевидный нож с ребрами

Ножи бывают с зигзагами лезвия различного размера: 3, 4, 5, 6, 7 мм (считая от вершины одного зигзага до вершины следующего). При переработке нормальной свеклы применяют обычно но-

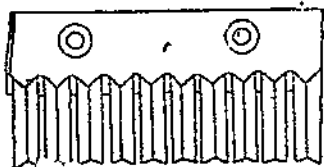


Рис. 51. Пальцевидный нож без ребер

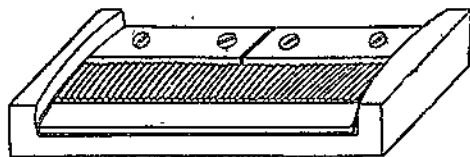


Рис. 52. Ножевая рама

жи в 4 или 3 мм, при переработке мерзлой, деревянистой или порченой свеклы приходится работать ножами в 5—7 мм (если же и при этом не достигают хороших результатов, то прибегают к пальцевидным ножам).

Ножи (их часто называют «диффузионными» ножами) вставляют в ножевые рамы по два ножа в каждую (рис. 52), затем раму вместе с ножами ставят в соответствующие окна резки. Против

лезвия ножа в раме устанавливают планку, над которой лезвие поднято на 2—3 мм («подъем ножа»); вследствие этого нож может строгивать со свеклы более или менее толстую стружку. Чтобы стружка не забивала ножа, а свободно проходила под него, нож немного (на 3—5 мм) должен быть отодвинут от планки таким образом, чтобы получился «зазор» (при очень волокнистой свекле его приходится доводить до 7—10 мм). Детальнее установка ножа в раме показана на рис. 53.

Установка («наборка») ножей в рамах должна производиться

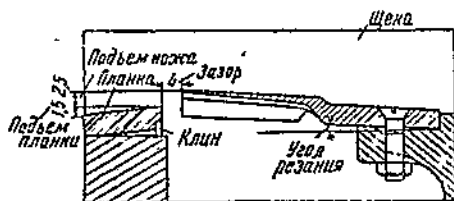


Рис. 53. Установка ножа в раме

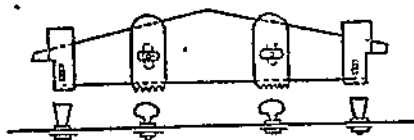


Рис. 54. Кондуктор для установки ножей в рамах

весьма точно, иначе получится неоднородная, плохая стружка с большим количеством брака. Степень подъема ножей выверяется по особым шаблонам. Кроме того гребни и бороздки ножей во всех рамах должны быть точно на одних и тех же местах. Этого достигают, применяя при наборке ножей специальный шаблон — так называемый кондуктор (рис. 54).

Ножи в рамах закрепляются при помощи болтов с потайными головками. Вообще в раме и в самой резке со вставленной рамой со стороны свеклы не должно быть никаких выдающихся частей и шероховатостей, кроме режущих лезвий ножей. Всякая шероховатость вызывает излишний расход энергии, царапает и бьет корни свеклы, а главное, вызывает смещение корней, что приводит к увеличению процента неправильной стружки (ленточки без желобков, брак, мезга).

3. СВЕКЛОРЕЗКИ И ИХ РАБОТА

Рамы с ножами вставляются в окна свеклорезок, которые бывают двух типов: дисковые, или горизонтальные, и центробежные, или вертикальные.

а) Дисковая свеклорезка. На сахарных заводах СССР часто встречаются дисковые свеклорезки, Киевского завода «Большевик» (рис. 55). Резка имеет вертикальный вал, на который насажен вращающийся вместе с валом стальной диск диаметром 2000 мм. Диск имеет 14—18 радиально расположенных окон, в которые, как в гнезда, вкладываются ножевые рамы. Свекла подается в загрузочную воронку, из которой попадает в улиткообразные ходы; дном этих ходов является вращающийся диск с но-

жами. Кожух с загрузочной воронкой и суживающимися улиткообразными ходами для свеклы изображен на рис. 56. Свекла в этих ходах заклинивается, прижимается к ножам и передвигается постепенно во все более суживающееся пространство, пока не изрежется окончательно, (это так называемые прижимы Путьша).

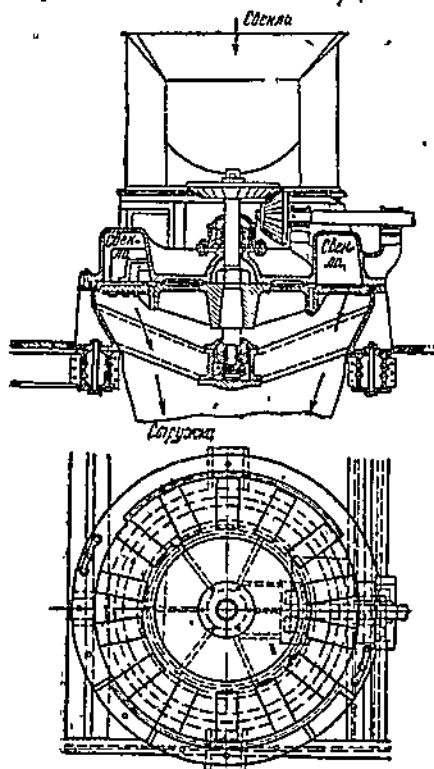


Рис. 55. Дискосвая свеклорезка

Прижимы Путьша не позволяют свекле вертеться и отходить от ножей, вследствие чего она изрезывается на хорошую стружку. Над самыми узкими местами, т. е. над концами прижимов Путьша, устроены съемные крышки (рис. 56). Остановив резку и сняв крышки, можно легко удалить посторонние предметы, если они попали случайно в резку. Через эти же отверстия производят смену ножевых рам в резке.

Из резки стружка поступает в пространство под диском и коническим кожухом (см. рис. 54) и направляется к транспортеру,

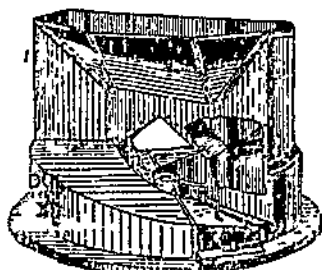


Рис. 56. Кожух с прижимами Путьша

при помощи которого подается в диффузоры. Резка делает 60—80 об/мин. Средняя скорость ножей—не более 8 м/сек. Производительность резок от 5 до 8 тыс. ц в сутки. Один метр длины ножей изрезывает до 2400 ц свеклы в сутки.

Недостаток дискосвой резки—это необходимость останавливать ее для смены ножей. Кроме того диск резки является довольно капризной ее деталью. Он должен быть хорошо выверен, чтобы при вращении не было колебаний. Во время ремонта завода диск необходимо протачивать и выверять, а лет через пять требуется и полная замена диска.

б) Центробежная свеклорезка. Центробежная, или вертикальная, свеклорезка сист. Расмуса (рис. 57) имеет неподвижный вертикальный цилиндр a диаметром 1200 мм. В стенках барабана сделаны

12 окон, в пазы которых закладываются вертикально ножевые рамы. Внутри барабана вращается чугунная трехлопастная улитка *b*. Над режущим барабаном *a* установлен для свеклы неподвижный железный приемник.

Свекла из приемника попадает во вращающуюся улитку, прижимается центробежной силой, а также изогнутыми лопастями к стенкам неподвижного режущего цилиндра с ножами, двигается по ним и изрезывается. Стружка выбрасывается из барабана в кожух, из которого и направляется в транспортер для стружки.

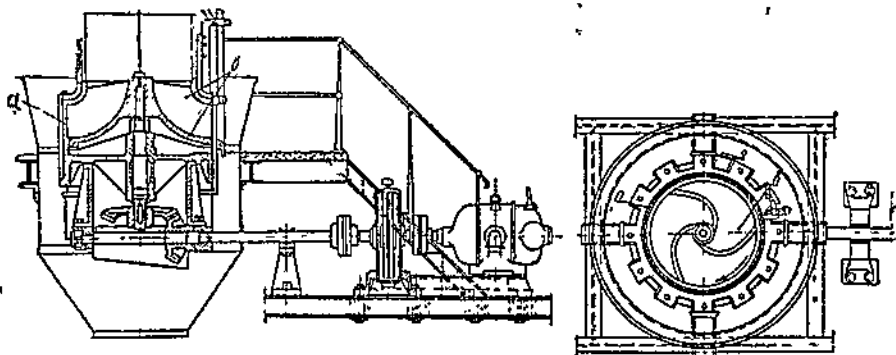


Рис. 57. Свеклорезка Расмуса

Улитка делает 100—120 об/мин. Максимальная периферийная скорость улитки — до 8,3 м/сек. Один метр длины ножей изрезывает в сутки до 2800 ц свеклы.

Центробежная резка имеет ряд преимуществ по сравнению с горизонтальной. Скорость резания для нее одинакова по всей длине ножевой рамы, тогда как в дисковой резке из двух ножей рамы один (расположенный дальше от центра диска) движется быстрее, чем другой. Заглядывая в кожух сверху, в центробежной резке можно наблюдать работу каждой рамы в отдельности и менять ее своевременно, когда она начнет давать плохую стружку. Особенно важно, что в центробежной резке можно легко на ходу менять рамы, вынимая их при помощи специального экстрактора. К каждой раме снизу привешена особая пластинка, которая служит заглушкой: когда рама выдвигается кверху, то на место ее в окно резки становится заглушка; таким образом окно резки оказывается закрытым, и ни один корень свеклы не теряется через него при смене рамы на ходу.

Нижняя часть ножевых рам в обычной центробежной резке дает меньшую производительность, так как здесь центробежная сила действует на меньший слой свеклы, чем в верхней части рам; поэтому свекла прижимается к ножам слабее. Стахановец Коберник предложил для устранения этого недостатка опускать ниже ступицу улитки и делать дно улитки почти горизонтальным, а не таким наклонным, как в обычных резках.

в) Работа резок. Рабочий на резке пускает или останавливает резку в зависимости от работы предыдущих и последующих станций. Поэтому свеклорезки связываются сигнализацией с мойкой и с диффузией.

Во время работы резки нужно все время внимательно следить (по звуку), не попал ли в резку посторонний предмет; если это случится, резку немедленно останавливают, удаляют попавший предмет и сменяют рамы с поврежденными ножами.

При ухудшении качества стружки сменяют рамы в резке и заменяют другими, с вновь вставленными ножами.

Если при хорошей работе соломоловушек все-таки наблюдается быстрое забивание ножей, то это может происходить от волокнистости свеклы. В этом случае увеличивают зазор ножей, и добавляют в резку древесный уголь для очистки лезвий ножей от волокон. Кроме того нужно чаще продувать ножи паром. Такое продувание возможно в дисковых резках, в которых для этого устраивается специальный подвод пара через узкие щелевидные сопла, направленные на движущиеся ножи.

Иногда оказывается, что мощность резки превышает производительность завода, вследствие чего приходится часто приостанавливать резку. Гораздо лучше в этом случае поставить вместо одной или нескольких рам заглушки и таким образом снизить производительность резки. Заглушки должны стоять совершенно заподлицо с поверхностью диска или цилиндра резки, не образуя ни выступов, ни впадин.

Если мощность резки недостаточна, то можно несколько увеличить число оборотов ее, доводя скорость резания для дисковых резок до 10 м/сек, а для центробежных — до 9,6 м/сек (как максимум). Однако, предварительно нужно сделать проверочный расчет резки на прочность и основательно осмотреть ее, чтобы убедиться в возможности повышенной работы.

4. ПОДАЧА СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ НА ДИФфуЗИЮ

На сахарном заводе обычно имеется батарея из 10—14 диффузоров для получения сока из свеклы. Часто бывает и две такие

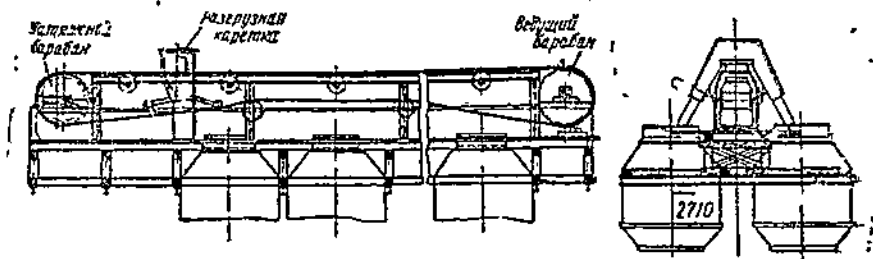


Рис. 58. Ленточный транспортер для стружки

батарей. Подача свекловичной стружки из резки в каждый из диффузоров должна быть обеспечена. Это выполняется при помощи ленточного или грабельного транспортера.

а) Ленточный, или пассовый, транспортер встречается на сахарных заводах чаще всего, так как он дешевле и проще. Транспортер представляет собой бесконечную ленту (пасс), огибающую два барабана, из которых один ведущий, а второй натяжной (рис. 58).

Лента поддерживается рядом роликов. Лента резиновая с хлопчатобумажными прокладками (4—6); ширина ее 400—800 мм. Стружка из резки поступает на движущуюся ленту, перемещается вместе с ней до передвижной разгрузочной каретки, где сбрасывается (вправо или влево) установленным наискось сребрателем в жолоб, направляющий стружку в диффузор. Перемещая разгрузочную каретку, можно подать стружку в любой диффузор. Скорость движения ленты — до 3,4 м/сек.

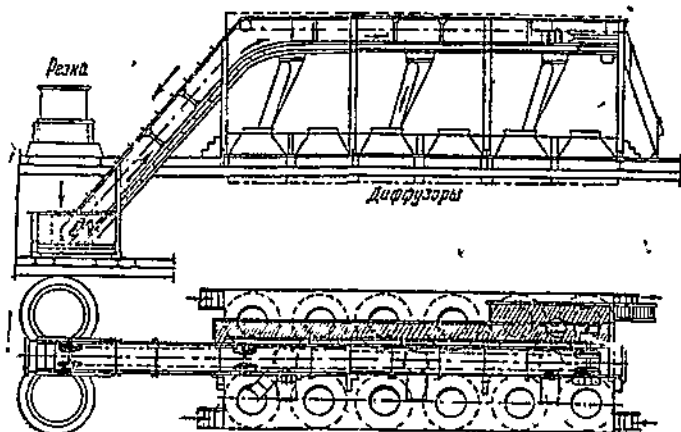


Рис. 59. Гребельный транспортер для стружки

Транспортер с шириной ленты 0,5 м может подать до 9 тыс. ц стружки в сутки. Производительность ленточного транспортера пропорциональна, приблизительно, квадрату ширины ленты (так как с увеличением ширины увеличивается и толщина слоя движущейся стружки).

Иногда устраивают стружечные транспортеры с боковыми бортами, между которыми движется лента. В этом случае высоту слоя стружки можно увеличивать, так как борта будут ее поддерживать, но скорость движения ленты должна быть меньше (до 2,5 м/сек). Все же производительность ленточного транспортера с бортами при той же ширине ленты оказывается на 25% больше, чем транспортера без бортов. При транспортере с бортами разгрузочная каретка отсутствует — вместо нее устраивают дверцы в бортах против каждого диффузора. Эти дверцы открываются внутрь и, становясь при открытии наискось поперек ленты, сбрасывают стружку, которая направляется из каждой дверцы по наклонному жолобу в диффузор, стоящий против данной дверцы.

б) Гребельный транспортер (рис. 59) представляет собой жолоб, по дну которого движется друг за другом ряд греблей, перемещающих свекловичную стружку вдоль жолоба. Гребли прикреплены к двум бесконечным цепям, натянутым между двумя барабанами. Один из барабанов натяжной, а другой ведущий; последний приводит в движение цепи с греблями.

Стружку разгружают, выдвигая шиберы и открывая люки в дне жолоба: стружка проваливается в люк и отводится жолобом в диффузор. Жолоб можно вращать, и таким образом один жолоб обслуживает четыре диффузора (два по одну сторону транспортера и два — по другую).

Преимуществом грабельного транспортера является возможность транспортировать стружку кверху под углом до 30° (даже до 45°)¹. Это позволяет ставить ниже свеклорезку (см. рис. 59), что уменьшает общую высоту подъема свеклы при помощи бурачного элеватора и высоту здания. Грабельный транспортер дороже ленточного, более промоздок и требует большего ремонта. Скорость движения граблей транспортера — до 1 м/сек.

¹ Следует заметить, что чем больше угол наклона транспортера, тем больше снижается его производительность: при угле 30° она составляет 50%, а при угле 45° — лишь 33% производительности соответствующего горизонтального транспортера.

4. ДИФфуЗИОННАЯ БАТАРЕЯ И ЕЕ РАБОТА

1. СХЕМА КРУГОВОГО ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СВЕКЛЫ

Возьмем для примера батарею из 12 диффузоров (рис. 60). Наполняют («набивают») свекловичной стружкой диффузор № 1 и заливают ее водой. В промежутки между стружкой помещается почти столько же воды, сколько весит стружка. Поэтому после наступления диффузионного равновесия сахар тоже распределится поровну между стружкой и водой. Например, если в свекле было 16% сахара, то в ней останется лишь 8% и в воде, заполняющей диффузор, будем иметь тоже 8% сахара. Очевидно, концентрация полученного сока слишком низка.

Поэтому набивают стружкой диффузор № 2 и разбавленный сок из диффузора № 1 перемещают в диффузор № 2, где он от свежей стружки получит путем диффузии еще некоторое количество сахара и повысит свою концентрацию. Для передвижения сока из диффузора № 1 в № 2 не применяют никаких насосов: все диффузоры герметически закрываются крышками; поэтому достаточно в диффузор № 1 впускать сверху под давлением воду, чтобы эта вода вытесняла — выдавливала из него сок и по соединительной трубе снизу направляла его в диффузор № 2.

Таким же образом передвигают сок из 2-го диффузора в 3-й, набив его предварительно стружкой. Для движения соков в 1-м, 2-м, 3-м диффузорах дают воду под давлением в 1-й диффузор. Сок в 3-м диффузоре станет еще более концентрированным. Точно так же заполняют стружкой и соком диффузоры 4-й и 5-й.

Сок в 5-м диффузоре окажется уже достаточно концентрированным (будет иметь примерно 13% сахара). Поэтому его по особому соковому вентилю и соковой трубе выводят из диффузионной батареи и направляют в так называемый мерник диффузионного сока, при помощи которого можно отмерить определенную порцию сока, например 110% по весу стружки, помещающейся в одном диффузоре. Движущей силой, заставляющей сок перемещаться в мерник, является попрежнему давление воды на диффузор № 1. Соки во всех диффузорах при этом перемещаются («циркулируют»).

Отобраз из диффузора № 5 в мерник порцию сока для дальнейшей переработки на заводе, приключают этот диффузор к диффузору № 6, набитому стружкой; после отбора наиболее концентрированного сока из диффузора № 5 начинает подаваться уже

более разбавленный сок, которым и заполняется диффузор № 6; здесь при соприкосновении со свежей стружкой концентрация этого сока повышается, после чего он также направляется через соковую трубу на мерник. Подобным образом включают в работу и следующие диффузоры. (№ 7, 8, 9, 10). Каждый раз набитый стружкой диффузор заполняется («набивается») соком из предыдущего диффузора, затем порция этого сока отбирается на мерник для переработки на заводе (делается так называемая «откачка» сока). Таким образом, с каждым диффузором делается набор соком и откачка на мерник (рис. 60а).

Движущей силой служит давление воды на диффузор № 1, причем соки во всех диффузорах одновременно перемещаются. Так как вода все время подается в диффузор № 1, то, наконец, он оказывается уже обессахаренным. Поэтому из него выгружают обессахаренную стружку («жом») и воду подают теперь уже не в 1-й, а во 2-й диффузор (рис. 60б), а набор и откачку производят из диффузора № 11.

Затем выгружают жом из диффузора № 2, воду подают в диффузор № 3, набор и откачку проводят через диффузор № 12 (рис. 60с). Далее выгружают диффузор № 3, воду подают в диффузор № 4, набор и откачку — в диффузоре № 1 (рис. 60д) и т. д. Продолжают круговой процесс методического выщелачивания стружки в диффузионной батарее. При этом

вода всегда подается в наиболее выщелоченный «хвостовой» диффузор, а диффузионный сок откачивается со свеженабитого стружкой и набранного соком «половного» диффузора.

Если увеличивать откачку, то увеличивается и количество воды, поступающей в хвостовой диффузор, т. е. улучшается выщелачивание сахара и снижаются потери сахара в жоме. Но зато при усиленной откачке получается более разбавленный сок, и при дальнейшей переработке на заводе потребуются больше затрат для выпаривания из него воды.

Два диффузора всегда находятся вне цепи циркуляции соков: один выгружается, а другой набивается стружкой. Во всех остальных диффузорах движутся соки под влиянием давления воды на хвостовой диффузор (следовательно, при батарее из 12 диффузоров соки движутся в 10 диффузорах).

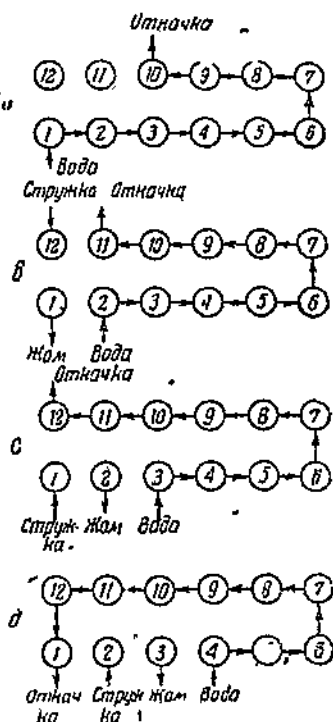


Рис. 60. Схема кругового процесса выщелачивания свеклы

Как уже было отмечено выше, диффундирование сахара изнутри клеток свеклы возможно лишь после коагуляции белков протоплазмы путем нагревания до температуры не менее 60°; кроме того нагревание ускоряет диффузию вообще. Поэтому необходимо обеспечить нагрев циркулирующих в диффузионной батарее соков. Для этого между каждыми двумя диффузорами устанавливается трубчатый паровой нагреватель для сока («калоризатор»), через который сок проходит при передвижении его из нижней части одного диффузора в верхнюю часть следующего.

Для осуществления описанного выше кругового методического выщелачивания стружки диффузор должен иметь две герметически закрывающихся крышки: верхнюю — для набивки диффузора стружкой и нижнюю — для выгрузки жом (вместе с которым выгружается и окружающая жом так называемая диффузионная вода). Диффузионная батарея должна иметь две трубы — водяную и соковую, и при каждом диффузоре должен быть водяной и соковый вентили, при помощи которых подается в диффузор вода и передается сок диффузора по соковой трубе в мерник («откачка»). Кроме того, каждый диффузор имеет переходную трубу и переходной вентиль для соединения нижней части одного диффузора с верхней частью следующего; на этом пути сок должен проходить через калоризатор.

2. УСТРОЙСТВО ДИФфуЗИОННОЙ БАТАРЕИ

Диффузор состоит из трех частей (рис. 61). Средняя часть цилиндрическая, а верхняя и нижняя — конические. Средняя часть железная (7—10 мм), а верхний и нижний конусы чугунные. Диффузор имеет верхнее отверстие для загрузки стружки и нижнее для выгрузки жома.

Верхняя крышка диффузора может прижиматься при помощи дуги (бигеля) и нажимного винта с маховичком. Для уплотнения верхней крышки в пазу верхней горловины вложено резиновое кольцо. Верхнюю крышку открывают путем вывинчивания винта и отводят в сторону вместе с бигелем и винтом, на котором она висит (показано на горизонтальной проекции рис. 61).

Нижняя крышка диффузора откидывается вниз на шарнире; она снабжена противовесом для более легкого открывания и закрывания. В закрытом положении нижняя крышка удерживается при помощи крючков *a*. Уплотнение нижней крышки достигается с помощью гидравлического затвора *b* Дауценберга, который представляет собой кольцеобразную резиновую трубку (кишку), вложенную в глубокий паз в краю нижней горловины диффузора. После закрытия нижней крышки в эту кишку подается вода под давлением 3—4 атм, кишка расширяется, плотно прижимается к крышке и закрывает все щели.

Диффузоры опираются четырьмя лапами на балки и таким образом висят между нижним и вторым этажами завода. Над полом второго этажа обычно возвышается лишь верхний конус диффузоров, все же остальное висит под полом.

В верхней чугунной насадке диффузора имеется входной штуцер (не показан на рис. 61) для подвода воды или сока в кольцевой канал с окнами для равномерной подачи жидкости по всей окружности горловины.

В нижней чугунной конической части диффузора имеется выходной штуцер для отвода сока в калоризатор и далее к следующему диффузору.

К нижней крышке диффузора на расстоянии 70 мм от дна прикреплена плоская решетка с квадратными отверстиями размером 8×8 мм. Такой же решеткой покрыта поверхность нижнего конуса диффузора (также на расстоянии 50—70 мм). Эти решетки пропускают сок, но задерживают лежащую на них стружку свеклы, которая таким образом не попадает в трубы коммуникации.

На верхней крышке диффузора устраивается кран *d* для выпуска воздуха при наборе диффузора соком. На нижнем конусе также имеется кран для спуска части воды перед открытием нижней крышки, чтобы уменьшить давление в диффузоре.

Емкость диффузоров бывает от 30 до 90 гл.

Раньше для обслуживания нижних крышек диффузоров (открывания и закрывания их) требовался специальный рабочий. В настоящее время применяют механический способ обслуживания нижней крышки сверху (см. рис. 61). Как уже сказано, нижняя крышка поддерживается в закрытом положении двумя крючками *a*, прижимаемыми пружиной *e*, находящейся на штанге *f*. Если штангу *f* потянуть вверх при помощи рычага *g*, отводя его вправо, то крючки *a* отодвинутся и освободят нижнюю крышку, которая под действием веса лежащего на ней жома с силой распахнется. Так как при этом противовес крышки нанес бы сильный удар по конической части диффузора, то для предупреждения этого устроена деревянная пружина, которая смягчает удар противовеса. Откинувшийся противовес захватывается крючком *i*, который и удерживает крышку, пока не выгрузят и не промоют диффузор. Чтобы вновь закрыть нижнюю крышку, достаточно потянуть вверх штангу *h*, которая отводит вправо крючок *i* и освобождает противовес. Последний делают значительно тяжелее

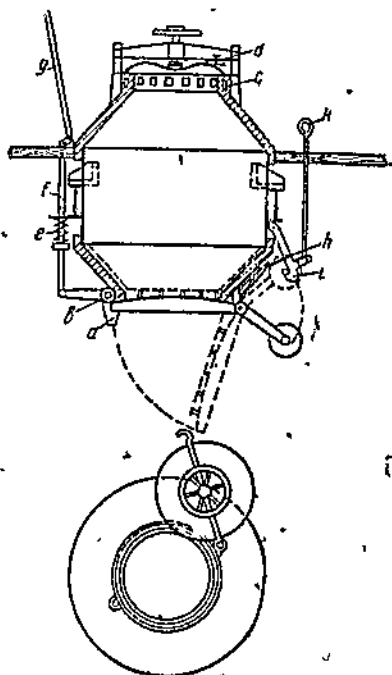


Рис. 61. Диффузор

крышки, поэтому он захлопывает крышку, причем крючок *a* зашелкивается и крепко ее удерживает. Таким образом крышка открывается под действием веса жома, а закрывается под действием противовеса.

Калоризатор служит для нагревания сока при переходе из одного диффузора в другой. Калоризатор представляет собой закрытый цилиндрический сосуд (рис. 62), в котором внутри сверху и внизу имеются два днаща (трубные решетки) с отверстиями для трубок. В отверстия днаща вставлены трубки (железные или латунные), которые и образуют поверхность нагрева калоризатора. Сок из нижней части диффузора идет в нижнюю часть калоризатора в пространство под трубками, проходит по трубкам снизу вверх и уходит из верхней части калоризатора в верхнюю часть следующего диффузора.

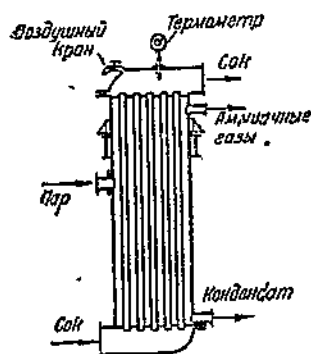


Рис. 62. Калоризатор

Трубки калоризатора снаружи обогреваются паром с температурой 100° , поступающим в пространство между трубками. Таким образом пар не смешивается с соком, а отдает ему свое тепло через поверхность нагрева. При этом пар конденсируется и вода (конденсат) отводится из нижней части парового пространства калоризатора; если не отводить конденсат, то он заполнит все паровое пространство и нагрев прекратится.

Пар, употребляемый для нагрева калоризаторов, содержит примесь различных газов — воздуха, углекислоты и аммиака, так как обычно применяют пар, полученный при выпаривании сока («соковой» пар, в котором всегда есть аммиак). Эти неконденсирующиеся газы, постепенно накапливаясь, также могут заполнить все паровое пространство калоризатора и прекратить доступ пара, т. е. прекратить нагрев. Поэтому неконденсирующиеся (или «аммиачные») газы необходимо удалять из верхней части парового пространства калоризатора по особой трубке («аммиачный отвод», или «аммиачная оттяжка») с вентилем на ней. Этот вентиль открывают настолько, чтобы отводящая трубка была горяча, но не слишком: если она чрезмерно горяча, то это значит, что через нее теряется слишком много пара; если же трубка холодна, то это значит, что не отводятся аммиачные газы.

Каждый нагревательный прибор сахарного завода обязательно имеет подвод пара, отвод конденсата и аммиачные оттяжки для неконденсирующихся газов.

В верхней части калоризатора ставится термометр.

Кроме того в верхней части имеется кран, через который можно взять пробу сока; этот же кран рекомендуется открывать при спуске диффузора, чтобы впустить в калоризатор воздух и таким образом облегчить стекание воды (очень жидкого сока) из трубок

калоризатора; иначе эта вода останется в трубках, затем примешается к диффузионному соку и разбавит его.

Вентили и трубы. Вентили для сока и воды на диффузионной батарее снабжены плоскими клапанами с резиновыми уплотнениями (рис. 63).

Между верхней частью калоризатора и верхней частью следующего диффузора обычно ставится три вентили («трехвентильная» система): переходной, водяной и соковой (рис. 64). Закрыв водяной и соковой вентили и открыв переходной, можно направить сок из нижней части предыдущего диффузора через калоризатор в верхнюю часть следующего диффузора; в таком положении нахо-

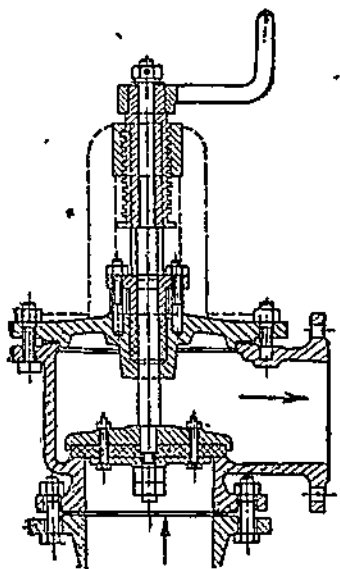


Рис. 63. Вентиль диффузии

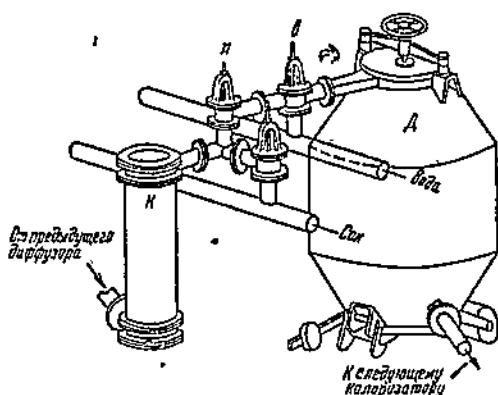


Рис. 64. Трехвентильная коммуникация

дятся вентили большинства диффузоров батареи, включенных в цепь циркуляции соков. В хвостовой диффузор требуется подавать воду; для этого закрывают переходной вентиль и открывают водяной; вода направляется в верхнюю часть диффузора, но не может пойти обратно в предыдущий калоризатор, так как переходной вентиль закрыт. При откачке сока с головного диффузора закрывают переходной и открывают соковой вентиль, по которому сок и устремляется в соковую трубу, а по ней в мерник, у которого в этот момент открывают входной вентиль.

Мерник диффузионного сока представляет собой прямоугольный железный ящик (рис. 65), разделенный перегородкой на две равные части (делаются иногда и круглые мерники). К дну мерника в каждом отделении присоединены две трубы: одна из них — наборная — для наполнения мерника соком, а другая — спускная. Отверстие спускной трубы прикрывается решеткой, чтобы в нее не могли попасть посторонние предметы (тряпки и т. п.). На обеих

трубках имеются вентили с длинными штангами, выведенными на верх мерника.

Для измерения количества сока в мерниках имеются поплавки, которые двигаются в направляющих трубах, не доходящих немного до дна мерника. К этим поплавкам привязаны шнуры, перекинутые через блок и имеющие на другом их конце грузик и указатель. При движении поплавка вместе с уровнем сока вверх и вниз грузик с указателем перемещается вдоль рейки, на которой имеются деления, показывающие количество сока в гектолитрах.

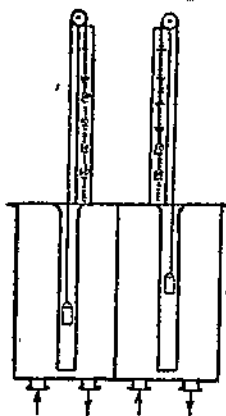


Рис. 65. Мерник диффузионного сока

Вентили мерников управляет рабочий, однако имеются также конструкции автоматических мерников, в которых без участия рабочего открываются и закрываются вентили и отмеривается количество сока даже не по объему, а по весу его, и отмечается количество отмеренного сока на автоматическом счетчике (мерник сист. Черни-Штольца, Данека, Ногачевского).

Как указано выше, для непрерывности работы устраивается не один, а два мерника (два отделения): один из них наполняется диффузионным соком из диффузионной батареи, а из другого в это время сок спускается.

Мерники обычно устанавливаются на втором этаже завода, таким образом, чтобы они свешивались под пол этого этажа. Высота установки мерников должна быть такой, чтобы высший уровень сока в мернике находился в одной горизонтальной плоскости с соковыми вентилями батареи. Выше этого не следует располагать мерники, так как это создало бы излишнее противодействие при откачке сока.

Пульполовушка. Диффузионный сок, идущий на мерник, всегда содержит примесь мелких кусочков свекловичной стружки — так называемой пульпы, или мезги. Это происходит потому, что в диффузорах имеются лишь весьма грубые сита с большими отверстиями (8 мм), которые пропускают некоторое количество пульпы.

Пульпа — весьма вредная примесь к соку, так как нерастворимые вещества ее (клеточные стенки) состоят наполовину из лектиновых веществ, которые в дальнейшем при очистке сока под действием извести легко могут перейти в раствор и значительно понизить его качество. Поэтому необходимо удалять пульпу из диффузионного сока. Для этого на пути сока между диффузионной батареей и мерниками ставят специальные пульполовушки.

Наиболее проста по конструкции пульполовушка сист. Мика (рис. 66).

Она состоит из железного цилиндрического сосуда 1 с коническим дном и герметической крышечкой 2. Внутри в ловушку вставлены два ситчатых ведра 3 с круглыми отверстиями (меньшее внутреннее ведро имеет более крупные отверстия — 2,5 мм, а на-

ружное — более мелкие — 1,5 мм; часто ограничиваются применением лишь одного, а не двух ситчатых ведер). Диффузионный сок поступает по штуцеру 4, профильтровывается через внутреннее, затем через наружное сита и уходит по штуцеру 5 к мернику диффузионного сока. Когда ловушка забивается пульпой, открывают крышку 2, извлекают ситчатые ведра и выгружают из них пульпу в загрузаемый стружкой диффузор в тот момент, когда он уже наполовину заполнен стружкой. Ловушку чистят через каждые 4 часа.

Необходимо иметь две пульполовушки, включаемые параллельно, чтобы при чистке одной из них другая могла работать.

Не следует устраивать обходную коммуникацию у пульполовушек, чтобы не было никакой возможности работать без пульполовушки.

Пульполовушка сист. Минка весьма проста по конструкции, но требует много ручного труда для ее периодической чистки. Имеются конструкции ловушек с непрерывной автоматической очисткой поверхности сита при помощи щеток (сист. Пильгарда, Коржана). Однако щетки протирают значительное количество мелкой пульпы сквозь сито. Более удовлетворительными в работе оказались ловушки с периодической механизированной очисткой сит при помощи кратковременного обратного тока диффузионного сока (сист. Соколова) или при помощи продвки паром также в обратном направлении (сист. Размыслович и Габович) [15].

Удаление жома и диффузионной воды. Обычно диффузоры устанавливают в два ряда (например при батарее из 12 диффузоров их ставят в два ряда — по 6 диффузоров). Под каждым рядом диффузоров внизу батареи расположен широкий железный жолоб для выгружаемого жома. Оба жолоба имеют небольшой уклон и соединяются с расположенной поперечно жомовой мешалкой (рис. 67), в которую выгружаемый из диффузора жом сплавляется вытекающей одновременно диффузионной водой. В мешалке жом разбавляют водой так, чтобы на одну часть жома приходилось не менее двух частей воды (диффузионной и добавленной для разбавления). Смесь жома и воды выкачивается из мешалки центробежным насосом и подается по трубе к яме для хранения жома. Там смесь поступает на водоотделители, представляющие со-

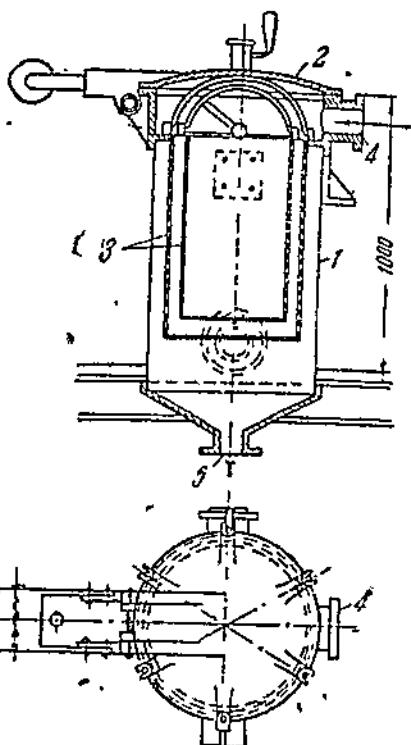


Рис. 66. Пульполовушка Минка

бой наклонные сита (под углом 45°); на них оттеживается вода, которую отводят на поля орошения, а жом скалывается по наклонным ситам в жомовую яму.

В настоящее время жомоткачка, как лучший способ быстро вытесняет все другие способы удаления жома. На некоторых заводах применяется еще старый способ, при котором жом из диффузоров вместе с диффузионной водой плавает к жомовому шнеку. Этот шнек представляет собой наклонный жолоб с дырчатыми стенками, внутри которого вращается вал с винтовой поверхностью. Жом передвигается витками шнека к верхнему концу жолоба, выходящему

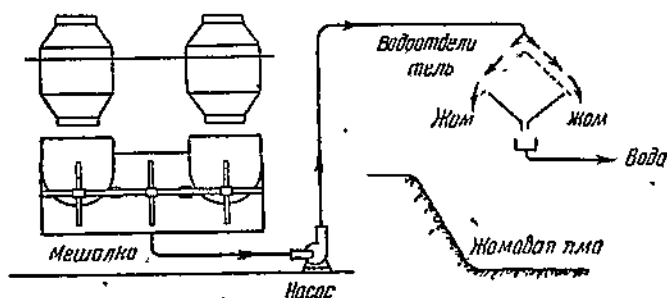


Рис. 67. Схема откачки жома насосом

наружу за стену завода, а диффузионная вода стекает через отверстия жолоба в канаву. Жом выбрасывается шнеком в вагонетки, которые отвозятся при помощи конной тяги или мотовозов к жомовой яме. Иногда для отвоза вагонок устраиваются подвесные дороги.

Снабжение диффузии водой. Для диффузионной батареи обычно используют так называемую барометрическую воду (температура около 40°), которой на сахарном заводе имеется значительный избыток. Вода подается центробежным насосом, преимущество которого заключается в том, что он дает постоянное равномерное давление. Это давление при современных быстрых методах работы на диффузии достигает 2—2,5 атм, тогда как раньше обычно его не поднимали выше 1 атм.

Для промывания диффузоров при опоражнивании устраивается над ними специальная труба для холодной воды под давлением 4 атм со штуцерами и вентилями прогив каждой пары диффузоров. К штуцеру прикрепляется гибкий шланг с брандспойтом. Ранее диффузоры обычно промывали из той же коммуникации, которая питает батарею, открывая водяной вентиль, но такой метод неудобен: он вызывает колебания напора в водяной коммуникации; кроме того давление воды в этой коммуникации недостаточно для энергичного промывания диффузоров.

3 РАБОТА НА ДИФфуЗИОННОЙ БАТАРЕЕ

Рассмотрим более подробно работу диффузионной батареи, учитывая ее устройство (вентили трубы, калоризаторы). Прежде всего надо изучить установившийся нормальный ход работы батареи, и затем начало и конец ее работы.

Нормальный ход работы диффузионной батареи. При установленном, нормальном ходе диффузионной батареи работа состоит в том, что набивают один диффузор за другим севкой стружкой; после набивки каждый из них набирают соком из предыдущего диффузора («набор») и затем делают «откачку» определенной порции сока на мерник. Воду подают на хвостовой диффузор; затем его выгружают, а воду начинают подавать на следующий диффузор.

Набор диффузора соком должен производиться не сверху, а снизу, так как сок, поступающий снизу, легче вытеснит воздух из всех промежутков между стружкой; этот воздух удаляется через открытый воздушный вентиль; момент, когда через воздушный вентиль брызнет сок в подставленное ведро, служит признаком окончания набора соком диффузора. Если же набор соком производить сверху, то в стружке остается много пузырей воздуха, мешающих соприкосновению стружки с соком и извлечению сахара, т. е. увеличиваются потери сахара.

На схеме (рис. 68, А), представляющей батарею из 14 диффузоров, показано, как осуществляется наполнение головного диффузора № 2 соком снизу: Передний ряд состоит из 7 диффузоров с калоризаторами, трубами и вентилями, задний ряд из 7 диффузоров не показан (показаны лишь трубы соковая и водяная и поставлены номера неизображенных диффузоров).

На схеме видно, что в диффузор № 5 (хвостовой) пущена вода: открыт водяной вентиль $в_4$ и закрыт переходной $п_4$, чтобы вода не могла направиться в калоризатор $К_4$ и в диффузор № 4.

Вентили после диффузора № 5 поставлены так, чтобы сок из него через калоризатор $К_5$ поступал в верхнюю часть диффузора № 6: переходной вентиль $п_5$ открыт, а соковой $с_5$ и водяной $в_5$ закрыты. В таком же положении, обеспечивающем переход сока из диффузора в диффузор, находятся вентили после диффузора № 6, после диффузоров № 7, 8, 9, 10, 11, 12 и 13 (эти вентили не изображены на схеме) и наконец после диффузора № 14 (эти вентили изображены перед диффузором № 1). Во всех этих диффузорах сок движется сверху вниз, также и в диффузоре № 1.

Диффузор № 2 только что набит стружкой. Необходимо набрать его соком снизу. Для этого закрывают переходные вентили $п_1$ и $п_2$ и открывают соковые $с_1$ и $с_2$; при этом вентиль перед мерником должен быть закрыт. В этих условиях сок из диффузора № 1 идет через калоризатор $К_1$ и вентиль $с_1$ в соковую трубу, из которой не может попасть на мерник (там закрыт вентиль), а устремляется через вентиль $с_2$ в верхнюю часть калоризатора $К_2$; проходит этот калоризатор сверху вниз и поступает в диффузор № 2 снизу. Воздушный вентиль на крышке диффузора № 2 открыт, пока через него не брызнет сок, наполнивший диффузор.

По окончании набора делается откачка сока из диффузора № 2 на мерник, причем сок в диффузоре должен двигаться уже сверху вниз, а не снизу вверх. Для этого достаточно (см. рис.

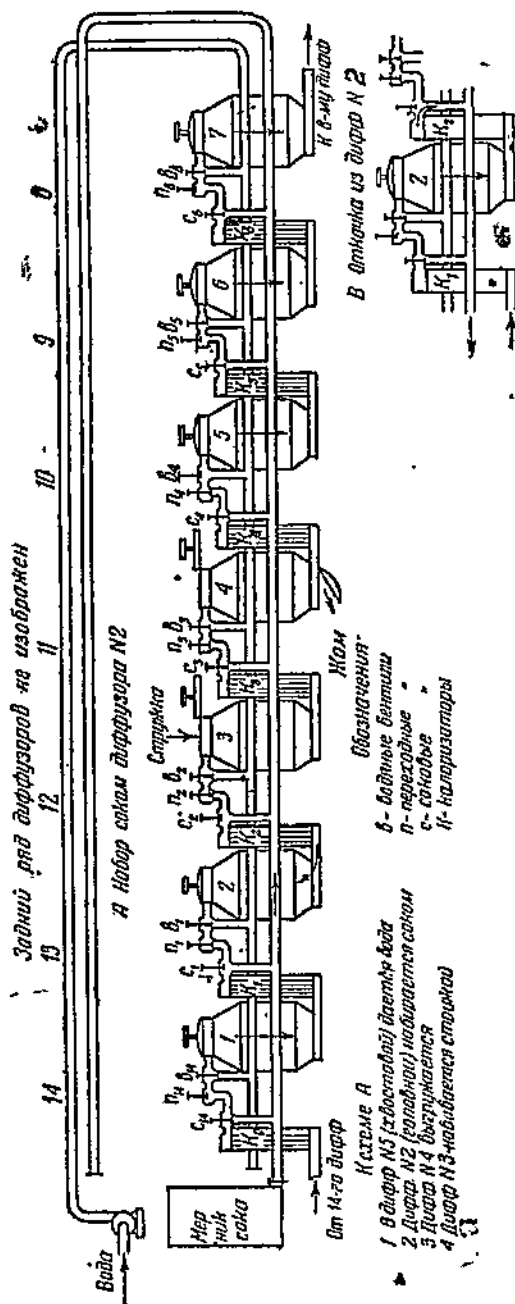


Рис. 68. Схема работы диффузионной батареи

68 В) закрыть соковой вентиль c_1 , открыть переходной n_1 и одновременно открыть вентиль на мерник; соковой c_2 попрежнему остается открытым. В этих условиях сок из калоризатора k_1 через переходной вентиль n_1 направится в диффузор № 2 сверху вниз, затем в калоризатор K_2 (снизу вверх), наконец, через соковой вентиль c_2 в соковую трубу и по ней на мерник через открытый у мерника вентиль.

Во время набора и откачки сока в диффузоре № 2 выгружают жом из диффузора № 4 и набивают стружкой диффузор № 3. Следовательно, эти два диффузора не заполнены соком («не под давлением»), верхние крышки у них открыты. При выгрузке жома диффузор ополаскивают струей воды из промывной коммуникации.

Раньше придавали чрезмерное значение плотной набивке диффузора стружкой. Поэтому рабочие, возможно сильнее утапывали ногами стружку во время наполнения его диффузора, отсюда возник и термин «набивка» диффузоров. В настоящее время искусственного уплотнения стружки в диффузорах не производят, а заботятся лишь о тщательном разравнивании падающей в диффузор стружки, чтобы в нем не оказалось мест с рыхлой набивкой и не образовалось путей наименьшего сопротивления для прохождения сока, так как это повлекло бы за собой плохое обессахаривание остальной стружки и повышение потерь сахара.

По окончании откачки сока из диффузора № 2 переключают вентили на набор соком диффузора № 3 таким же образом, как набирали диффузор № 2. Одновременно начинают набивать стружкой диффузор № 4; воду дают на диффузор № 6, а диффузор № 5 разгружают. Затем все эти операции повторяются по круговому процессу с новыми диффузорами в последовательном порядке.

Перед выгрузкой жома каждый раз прекращают давление воды на кишку Дауценберга, уплотняющую нижнюю крышку, закрывая водяной вентиль; перед наполнением диффузора стружкой этот вентиль вновь открывают.

При выгрузке жома из диффузора рекомендуется открывать воздушный вентиль на крышке калоризатора, связанного с этим диффузором нижней трубой (например диффузор № 5 и калоризатор K_5). Воздух входит в калоризатор, что ускоряет вытекание жидкого сока (почти воды) из узких трубок калоризатора. Иначе сок из калоризатора сходит очень медленно; тем временем нижнюю крышку успевают уже закрыть и часть жидкого сока попадает на свежую стружку, разбавляя получаемый диффузионный сок.

Как выше было указано, диффузия сахара начинается лишь после прогрева стружки и свертывания протоплазмы клеток. Поэтому нагревают сок, циркулирующий в головных диффузорах, открывая пар на калоризаторы. Обычно греют 5—6 калоризаторов. Головной диффузор обычно еще не успевает нагреться выше 60° ; второй от головного диффузор имеет уже температуру выше 60° ; несколько следующих диффузоров (например 4) имеют температуру около 80° , а дальше к хвосту батареи температура постепенно

падает, так как пар на калоризаторы закрыт. В хвостовом диффузоре температура близка к 40° (температура барометрической воды, питающей батарею). Так как головной диффузор еще не прогрет, то получаемый с этого именно диффузора диффузионный сок имеет температуру лишь 35—40°.

Пуск в ход диффузионной батареи. Чтобы извлечь сахар из стружки методом диффузии, необходимо прогреть стружку не менее, как до 60°. Между тем в начале производства нет даже тепловой (40°) барометрической воды, и в водяную коммуникацию диффузии подается лишь холодная вода. Нагрев воды выполняется следующим образом. Открыв водяной вентиль, наполняют водой один из диффузоров (при открытом воздушном вентиле, так как иначе вода в диффузор не пойдет). Затем вода устремляется в калоризатор этого диффузора, в котором открывают пар и таким образом подогревают воду. Через переходной вентиль подогретая вода начинает наполнять следующий диффузор (открывают воздушный вентиль), затем его калоризатор, где вода нагревается еще больше. Наконец заполняется третий диффузор, и вода еще раз подогревается в его калоризаторе. Такого нагрева в трех калоризаторах уже вполне достаточно.

Поэтому четвертый диффузор набивают стружкой и набирают горячей водой снизу (напорная холодная вода все время подается в один и тот же первый диффузор). Откачки не делают, так как сок еще слишком разбавлен. Сразу после набора соком четвертого диффузора переводят вентиль на набор соком пятого диффузора; затем шестого и т. д. Когда таким образом наберут стружкой и соком уже четыре диффузора (т. е. дойдут до седьмого, диффузора: при с нагреваемой водой и четыре со стружкой и соком), то концентрация сока настолько повысится, что можно уже произвести небольшую откачку (половину нормальной); из следующего диффузора проводят несколько большую откачку ($\frac{3}{4}$ нормальной) и далее начинают уже работу по нормальным откачкам с каждого диффузора. Когда дойдут до диффузоров, заполненных водой, спускают с них воду и запружают их стружкой. Наконец начинается и выгрузка жома. Батарея вступает в нормальную работу по круговому процессу, описанному выше.

Прекращение работы диффузионной батареи («высолаживание» батареи). Дальнейшая загрузка стружки в диффузоры прекращается. Но имеется батарея диффузоров, заполненных еще недостаточно обессахаренной стружкой. Поэтому, подавая воду в хвостовой диффузор, откачивают с головного диффузора два мерника сока. После этого хвостовой диффузор разгружают. Дают напор воды во второй от хвостового диффузор и снова откачивают два мерника с того же головного диффузора.

Таким образом продолжают работать, пока в батарее не останется лишь четыре диффузора, заполненных стружкой. Тогда из головного диффузора продолжают откачивать сок; при этом концентрация его становится все слабее и слабее. Когда она станет

ниже 0,5% сухих веществ, откачки прекращают и все оставшиеся четыре диффузора разпружают (один за другим).

Факторы и показатели работы диффузионной батареи. В работе диффузионной батареи играет роль целый ряд факторов. К ним относятся:

1) Откачка диффузионного сока, которая обычно колеблется от 110 до 120% по весу свеклы (встречаются откачки в 105 и 150%); следовательно, количество получаемого сока не слишком велико, т. е. сок разбавлен не чрезмерно;

2) Оборот батареи, т. е. период времени например от одного наполнения диффузора стружкой до второго его наполнения. Период этот бывает около 60 мин., т. е. на набор и откачку каждого диффузора расходуется около 5 мин.; встречается иногда и короткий оборот, например 45—50 мин. и очень длинный — 120 мин.

3) Температура нагрева соков на диффузии, как указано выше, бывает от 80 до 40°, т. е. в разных диффузорах различная.

4) Качество стружки измеряется длиной 100 г стружки: чем больше длина, тем тоньше и лучше стружка; эта длина бывает от 20 до 30 м (иногда она снижается до 8—10 м);

5) Обычное число диффузоров в батарее 12 или 14 (но бывает 16, 10 и даже 8).

В процессе работы диффузионной батареи весьма полно извлекается сахар из свеклы. В жоме остается лишь около 0,2—0,3% сахара, а в диффузионной воде 0,1—0,15%. Вообще из 100 кг сахара, содержащегося в свекле, 98 кг переходит в диффузионный сок и лишь 2 кг теряется в отходах диффузии. Однако потери сахара на диффузии могут весьма колебаться в зависимости от условий работы (бывает и 1% и 0,1% по весу свеклы).

Чтобы уверенно получать хорошие результаты при работе диффузионной батареи, необходимо изучить теорию ее действия и сознательно пользоваться всеми многочисленными факторами ее работы.

Пользуясь теорией, необходимо найти оптимальные условия работы, оптимальные величины факторов, влияющих на эту работу, имея целью снижение потерь сахара на диффузии и получение хорошего диффузионного сока.

4) ТЕОРИЯ РАБОТЫ ДИФфуЗИОННОЙ БАТАРЕИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЗАКОНА ФИКА

Законы диффузии. Строение клетки (см. рис. 8) указывает, что сахара находятся в растворе в клеточном соке в вакуолях клеток. Эти вакуоли со всех сторон окружены тонким слоем протоплазмы. Протоплазма является полупроницаемой перегородкой: она пропускает через себя воду, но не пропускает растворенных в клеточном соке веществ. Поэтому кусочек свеклы, сколько бы он ни лежал в воде, не отдаст сахара; сахар не выщелачивается из клетки, пока цела его протоплазма. Если же протоплазма убита, свер-

нулась под влиянием нагревания выше 60° или путем замораживания, — она уже не удерживает растворенных веществ, и они легко диффундируют изнутри клетки в воду. Таким образом основным условием диффузионного процесса является напрев стружки до температуры не менее 60° . Для надежного достижения этого условия максимальная температура диффузии, наблюдаемая в переходящем из одного диффузора в другой соке, обычно должна быть не меньше 70° .

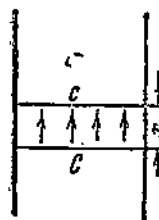


Рис. 69. Диффузия

Фик в 1855 г. развил математическую теорию диффузии, которая оказалась совершенно аналогичной теории теплопередачи, разработанной Фурье значительно ранее. Закон диффузии, найденный Фиком, утверждает, что количество растворенного вещества S , продиффундировавшего сквозь некоторый слой растворителя (рис. 69), пропорционально разности концентраций на границах этого слоя $C - c$, пропорционально времени z и площади слоя F и обратно пропорционально толщине слоя x , т. е. длине пути диффундирования. Следовательно:

$$S = D \cdot F \frac{C - c}{x} \cdot z. \quad (1)$$

Здесь D — коэффициент пропорциональности, который называется коэффициентом диффузии. Он показывает, сколько данного вещества продиффундирует в единицу времени через единицу площади на расстоянии единицы длины при разности концентраций, равной единице (при этом, конечно, подразумевается, что за время z концентрации C и c поддерживаются каким-то образом постоянными). $\frac{C - c}{x}$ можно назвать «градиентом» концентрации.

Закон диффузии по своей форме совершенно совпадает с законом теплопроводности, согласно которому:

$$Q = \lambda \cdot F \frac{t_1 - t_2}{d} z,$$

где: Q — количество переданного тепла за время z через площадь F при толщине передающего слоя d ; $t_1 - t_2$ — разность температур (аналогичная разности концентраций при явлении диффузии); λ — коэффициент теплопроводности, аналогичный коэффициенту диффузии.

Величина коэффициента диффузии D зависит от рода диффундирующего вещества и от температуры диффузии. С увеличением размера частицы растворенного вещества D уменьшается; оно приблизительно обратно пропорционально радиусу диффундирующих частиц. Поэтому коллоиды имеют чрезвычайно малые коэффициенты диффузии, а растворы кристаллоидов, находящиеся в растворе в виде отдельных молекул, диффундируют несравненно быстрее, причем для кристаллоидов с меньшим молекулярным весом обычно имеется больший коэффициент диффузии.

Влияние температуры на диффузию легко объясняется с точки зрения кинетической теории растворов: с повышением температу-

ры увеличивается скорость движения молекул и кроме того уменьшается вязкость растворителя, вследствие чего молекулы растворенного вещества легче продвигаются при диффундировании между молекулами растворителя. Таким образом понятна та зависимость, которую теоретически установил в 1905 г. Эйнштейн и которая подтверждается опытом:

$$D = \frac{k_0 T}{\eta} \quad (2)$$

Здесь k_0 — постоянная, не зависящая уже от температуры, но зависящая от размеров частиц растворенного вещества; T — абсолютная температура и $[\eta]$ — вязкость растворителя при данной температуре.

Таким образом формула (2) дает нам зависимость коэффициента диффузии от температуры. В табл. 18 приведены значения η (в сантипуазах) для температур от 0 до 100° и соответствующие значения:

$$\vartheta = \frac{T}{1000 \eta} \quad (3)$$

Таблица 18

Фактор температуры и вязкости ϑ к теории диффузионной батареи

Температура (в °C)	Абсолютная температура T (в °C)	$\eta \cdot 1000$	$\vartheta = \frac{T}{\eta \cdot 1000}$
10	283	13,10	21,6
20	293	10,06	29,1
30	303	8,01	37,8
40	313	6,58	47,7
50	323	5,52	58,6
60	333	4,72	70,6
70	343	4,10	83,6
80	353	3,61	97,8
90	363	3,21	113,0
100	373	2,89	129,0

Очевидно например, что при температуре 80° скорость диффузии будет в $\frac{97,8}{47,7} = 2,05$ раза больше, чем при температуре 40°, так как по табл. 18 для 80° $\vartheta = 97,8$, а для 40° $\vartheta = 47,7$.

Отношения коэффициентов диффузии для различных веществ при изменении температуры остаются приблизительно прежние.

В табл. 19 приведены коэффициенты диффузии сахара и некоторых несахаров в воде при температурах 20 и 70°. Как видно из таблицы, большая часть несахаров диффундирует быстрее сахарозы и, следовательно, должна легче, полнее, чем сахароза, переходить в диффузионный сок. Только рафиноза диффундирует медленнее. Значительно медленнее идет диффузия белков (коллоиды), но диффузия их вообще почти не имеет значения, так как они свертыв-

ваются от нагревания и большая часть их оказывается в нерастворимом состоянии в жоме.

Таблица 19

Коэффициенты диффузии

Вещество	Коэффициент диффузии		Вещество	Коэффициент диффузии	
	при 20°	при 70°		при 20°	при 70°
KCl	1,71	4,98	Винная кислота . . .	0,62	1,81
NaCl	1,34	3,88	Сахароза	0,37	1,07
K ₂ SO ₄	1,05	3,04	Рафиноза	0,32	0,93
Na ₂ SO ₄	0,89	2,58	Карамель	0,0063	0,0183
MgSO ₄	0,46	1,32	Альбумин	0,0088	0,0255
Лимонная кислота . . .	0,57	1,65			

Если на пути диффузии поместить пористую перегородку, то она влияет на скорость этого процесса; такая диффузия сквозь пористую перегородку называется осмосом. В чистом виде явление осмоса можно наблюдать, пользуясь так называемыми полупроницаемыми перепонками (например из коллоидной железистосинеродистой меди, осажденной внутри стенки из пористой глины). Такая перепонка пропускает растворитель, но не пропускает растворенного вещества. Таким образом получается диффузия лишь растворителя через полупроницаемую перепонку. Предположим, что в стакан с чистым растворителем А (рис. 70) поместили воронкообразный сосуд В, закрытый снизу полупроницаемой перепонкой. В этот сосуд налили раствор какого-нибудь вещества. Растворенное вещество задерживается перепонкой и не выходит из сосуда В, растворитель же, оказывается, с большей быстротой диффундирует внутрь сосуда В, чем из него. Поэтому уровень жидкости в трубке над сосудом В начинает подниматься, пока не установится равновесие, причем конечная

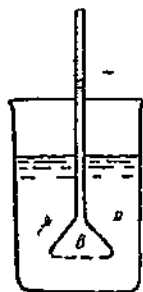


Рис. 70. Осмос

высота подъема растворителя в пьезометрической трубке будет мерой так называемого «осмотического давления». Это давление пропорционально концентрации растворенного вещества, пропорционально абсолютной температуре и одинаково для различных веществ при равных молекулярных концентрациях растворов, т. е., короче говоря, осмотическое давление подчиняется газовым законам Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Авогадро и Клайперона.

Известны и более проницаемые перепонки, которые пропускают растворитель и растворенные кристаллоиды, но задерживают более крупные коллоидные частицы. Такова перепонка из пергаментной бумаги или из коллодия. Такие перепонки широко применяются в экспериментальных работах по коллоидам для «диализа», т. е. для отделения коллоидов от кристаллоидов посредством диффузии через перепонку.

До нагрева стружки полупроницаемые пленки протоплазмы исключают диффузию сахарозы. После нагрева белки протоплазмы получают в виде отдельных сгустков, уже не мешающих диффузии. Некоторое препятствие представляют лишь клеточные стенки, которые, однако, могут только несколько замедлить диффузию кристаллоидов.

Закон Фика вполне применим и при исследовании диффузии сахара из свекловичной стружки, но коэффициент диффузии будет несколько меньше, чем для диффузии в чистой воде без препятствий в виде клеточных стенок.

Применение закона Фика к работе диффузионной батареи. Применим закон Фика (уравнение 1) для изучения диффузии сахара из свекловичной стружки в заводском диффузионном аппарате [43]. Предположим, что мы имеем некоторое количество стружки (толщиной r), соответствующее 100 кг нормального сока. Пусть выщелачивание ее в диффузионном аппарате продолжается z мин. (рис. 71). Тогда в уравнении (1) следует подставить $x = \frac{r}{4}$, так как максимальный путь диффундирования — от середины стружки — будет равняться $\frac{r}{2}$, а минимальный — от внешнего края стружки — равен 0; средний же путь — $\frac{r}{4}$.

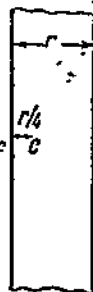


Рис. 71.
Диффузия
из стружки

Таким образом из уравнения (1), принимая во внимание также и уравнение (2), найдем, что количество сахара, продиффундировавшего из нашей стружки, содержащей 100 кг нормального сока, будет:

$$S = \frac{k_0 \cdot T_m}{\eta} \cdot n \cdot \frac{C - c}{\frac{r}{4}} \cdot z. \quad (4)$$

Здесь: C — средняя концентрация нормального сока внутри стружки за все время ее выщелачивания;

c — средняя концентрация сока снаружи стружки;

$C - c$ — средняя разность концентраций;

$\frac{C - c}{4}$ — градиент концентрации;

$$\frac{r}{4}$$

¹ Например для головного диффузора внутри стружки имеем нормальный сок свеклы с концентрацией сахара около 18,3%, а снаружи — диффузионный сок с концентрацией 14,5%, т. е. разность концентраций будет 18,3 — 14,5 = 3,8%. Для хвостового диффузора внутри имеем сок жома, например с 0,2% сахара, а снаружи — диффузионную воду с концентрацией 0,1%; следовательно, разность концентраций здесь равняется 0,2 — 0,1 = 0,1. Для всей батареи можно вычислить некоторую среднюю разность концентраций, которая и обозначена нами через $C - c$ (подобно тому как вычисляется средняя разность температур для теплопередающих аппаратов).

T_m и η — средняя абсолютная температура и соответствующая вязкость воды за время диффундирования.

Поверхностью диффундирования F здесь будет поверхность стружки, взятой в количестве, соответствующем 100 кг нормального сока.

Временем диффундирования z следует считать время соприкосновения стружки с соком с того момента, когда температура стружки достигнет 60° , и до выгрузки ее из аппарата. Таким образом для диффузионной батареи время диффундирования z всегда будет меньше оборота батареи z_0 . Например мы имеем батарею из 12 диффузоров с оборотом ее $z_0 = 60$ мин. Но из 12 диффузоров два всегда находятся вне работы диффундирования: один нагружается, а другой разгружается. Кроме того головной диффузор хотя и заполнен стружкой и соком, все же не работает, так как в нем температура еще низка (ниже 60°). Следовательно, не работают всего три диффузора; работающих имеется $12 - 3 = 9$. Так как на каждый диффузор приходится $\frac{60}{12} = 5$ мин., то время активного диффундирования будет: $z = 5 \times 9 = 45$ мин.

Итак, вообще для диффузионной батареи следует считать:

$$z = \frac{m - 3}{m} z_0, \quad (5)$$

где: m — число диффузоров,

z_0 — оборот диффузионной батареи (в минутах).

Написав уравнение (4), мы сделали два допущения, в которых следует дать отчет. Во-первых, мы считаем, что снаружи стружки сок перемешивается вследствие движения его, и поэтому в соприкосновении со стружкой находится сок уже со средней концентрацией c . На самом деле имеется некоторый слой прилипшего к стружке неподвижного сока, через который сахар должен диффундировать. Толщина этого прилипшего слоя по сравнению с толщиной стружки мала, и мы им в первом приближении пренебрегаем. Кроме того, мы допускаем, что внутри стружки концентрация сахара постепенно прямолинейно повышается от поверхности стружки, где концентрация равняется c , к центру стружки, где эта концентрация равняется $2C - c$, и следовательно, на расстоянии $\frac{r}{4}$ от поверхности стружки имеем среднюю концентрацию: $\frac{2C - c + c}{2} = C$.

Подобные допущения обычны для теории технических процессов (например находим их в теории высушивания).

Пренебрегая толщиной прилипшего к стружке неподвижного слоя жидкости, мы одновременно пренебрегаем пока — в первом приближении — и влиянием скорости движения сока на коэффициент диффузии. На самом деле такое влияние должно быть; с ускорением движения сока диффундирование несколько облегчается, но это влияние не может быть значительным, потому что оно никак не может улучшить условий диффузии внутри стружки, а влияет лишь на толщину неподвижного, прилипшего к стружке слоя жидкости.

Правильность принятых упрощений и допущений подтверждена опытной проверкой развитой теории [43].

Роль различных факторов в работе диффузионной батареи. Простое уравнение (4) уже позволяет проанализировать качественно и понять роль ряда факторов работы диффузионной батареи.

1. С увеличением откачки извлечение сахара из стружки будет полнее, так как при увеличении откачки понижается концентрация диффузионного сока, и, следовательно, в уравнении (4) уменьшается c и увеличивается $C - c$, что приводит к увеличению S .

2. Увеличение оборота батарей z , вызовет также улучшенное извлечение сахара, так как в уравнении (4) увеличится z .

3. Повышение температуры улучшает процесс извлечения сахара, так как увеличивается T_m и кроме того при повышенной температуре уменьшается вязкость воды η ; следовательно, отношение $\frac{T_m}{\eta}$, входящее в уравнение (4), увеличивается (см. табл. 18), что также приводит к увеличению количества продиффундировавшего сахара S .

4. Увеличение длины l 100 г стружки влечет за собой уменьшение ее толщины r и одновременно увеличение поверхности 100 кг F ; и то и другое увеличивает количество продиффундировавшего сахара S . Следовательно, увеличение длины стружки является особо важным фактором, как бы вдвойне благоприятствующим обессахариванию.

Итак, процесс извлечения сахара из стружки улучшается с увеличением откачки и оборота батарей, повышением температуры и особенно с увеличением длины стружки, что показано схематически в следующей таблице:

Фактор	Диффузия сахара	Пептизация пектиновых веществ
Откачка сока .	+	0
Оборот батарей	+	+
Длина стружки	++	0
Температура . .	+	+

Однако не все эти факторы могут быть использованы для более полного извлечения сахара из свеклы, так как нужно позаботиться еще о том, чтобы используемые факторы не приводили к накоплению в соке несахаров, т. е. к понижению его доброкачественности.

Молекулярный вес большинства кристаллоидных несахаров меньше, чем у сахарозы, и поэтому скорость диффузии их больше, чем у сахарозы (см. табл. 19). Задержать переход кристаллоидов в диффузионный сок нельзя. Лишь диффузия положительно заряженных катионов K^+ и Na^+ несколько задерживается наличием отрицательно заряженных коллоидов свеклы (Доннан).

Что касается коллоидов свеклы, то некоторые из них (целчатка и полуклетчатка) совсем не переходят в раствор (не пептизируются) на диффузии и не могут загрязнять диффузионный сок.

Из прочих коллоидов белки переходят в диффузионный сок в значительном количестве — около 30% от белков свеклы.

Способность к диффузии у белков ничтожна (см. табл. 19), но они вымываются в головном диффузоре из вскрытых на резке

клеток стружки. Вскрытых клеток будет тем больше, чем тоньше стружка. Следовательно, из длинной и тонкой стружки попадет в диффузионный сок больше белков и вообще коллоидов. Однако было бы ошибкой сделать поспешный вывод о вреде тонкой стружки. Дело в том, что белки — почти безвредные для сахарного производства коллоиды: они почти полностью коагулируют на дефекации-сатурации и удаляются с фильтрпрессной грязью. Они могут лишь несколько затруднить работу фильтрпрессов, но и этот вред сводится до минимума при современных методах предварительной дефекации, обеспечивающих оптимальную коагуляцию белков и хорошую фильтрацию.

В сахарной свекле имеется еще группа коллоидов — это пектиновые вещества. Их в свекле содержится много (около 2,5%). Пектиновые вещества, действительно, являются таким коллоидом, с которым необходимо бороться: если допустить их пептизацию (растворение) на диффузии, то будет затруднена работа диффузионной батареи (плохая откачка), фильтрпрессов, пробелки (так как коллоидные растворы пектиновых веществ весьма вязки), увеличится выход шатоки и потеря сахара в ней.

Пектиновые вещества как коллоиды имеют малый коэффициент диффузии, но все же диффундирование пектиновых веществ, находящихся уже в растворе в клеточном соке свеклы, проходит достаточно полно, что видно из работ Агтеева [44] и Нахмановича [38]. Диффундирование пектиновых веществ особенно заметно при незрелой свекле, содержащей большее количество пектинов в растворе. Нет способа воспрепятствовать диффузии растворенных пектиновых веществ, но нужно принимать все меры к задержке дальнейшей пептизации этих веществ, находящихся в свекле в виде протопектина.

Основными факторами пептизации пектиновых веществ, как показано выше, являются температура, время и реакция воды (pH); пептизация пектинов увеличивается: 1) с повышением температуры, особенно при температуре выше 80°; 2) с увеличением продолжительности воздействия горячей воды, особенно выше 60 мин.

Пептизация минимальна в слабокислой среде (при pH = 5) и резко увеличивается при переходе к более кислой или, особенно, нейтральной и щелочной среде.

Поэтому может оказаться очень опасной практикуемая иногда добавка извести в диффузоры. Следовало бы также более основательно изучить вопрос о влиянии всяких щелочных возвратов в диффузионную батарею на качество диффузионного сока (возврат промывов на диффузию, возврат диффузионных вод после смешения их с фильтрпрессной грязью и декантации). Уже было замечено, что цвет жома при этих условиях меняется (зеленый). Известно также, что при применении на диффузии аммиачной воды жом делается мягким и мыльным. Все эти ненормальности исчезнут, если возвраты на диффузию предварительно подвергать сульфитации до слабокислой реакции (pH = 5—6).

Пептизация пектиновых веществ является процессом внутренним: он идет по всей массе свеклы, в каждой ее клеточке. Поэтому

му от количества протекающего мимо стружки сока, т. е. откачки сока на диффузии, пептизация пектина почти не зависит. Следовательно, можно для снижения потерь сахара увеличивать откачку; в США откачки доводят до 150%, в СССР из соображений экономии топлива, чтобы не получать слишком разбавленных соков, требующих большего расхода тепла на выпаривание, придерживаются откачек около 115—120% по весу свеклы.

Как процесс-внутренний пептизация пектиновых веществ также почти не зависит от длины и тонкости стружки, что экспериментально подтверждено Агтевым [44]. На этом основании следует настойчиво рекомендовать работу с возможно тонкой ($l=30$ м) стружкой, что ни в коем случае не вызовет повышения количества пектиновых веществ в растворе.

Влияние различных факторов на пептизацию пектиновых веществ также показано в таблице на стр. 175 и сопоставлено с влиянием тех же факторов на полноту извлечения сахара из стружки. Таким образом, сопоставляя условия наилучшего обессахаривания свекловичной стружки и условия пептизации пектиновых веществ, мы приходим к полному физико-химическому и коллоидно-химическому обоснованию современного стахановского метода работы на диффузионной батарее: быстрый оборот батареи (не более 60 мин.) при не слишком высокой температуре (не более 80°) при несколько повышенной откачке (лучше — не более 115%) и при возможно тонкой стружке (длина 100 г — 30 м).

Температуру на диффузии 80°, как максимум, следует считать наиболее подходящей для большинства случаев. Но надо помнить, что устойчивость пектиновых веществ разных сортов свеклы далеко не одинакова [38 и 29]: одни более, другие менее быстро пептизируются. Поэтому для хорошей свежей свеклы можно иногда допускать и некоторое повышение температуры на диффузии (во всяком случае, не более 82—83°). Наоборот, при порченной свекле часто приходится максимум нагрева снижать до 75° и даже ниже.

При соблюдении этих условий есть полная возможность снижать потери сахара в отходах, не ухудшая качества диффузионного сока, не повышая, а даже понижая содержание пектиновых веществ в нем. В самом деле, не так давно (до 1930 г.) мы теряли в отходах диффузии 0,5% и все-таки в диффузионном соке имели около 0,15% пектиновых веществ; в настоящее время потери сахара снижены до 0,3%, и несмотря на это, пектиновых веществ в диффузионном соке часто оказывается лишь 0,05—0,07%. Таким образом снижение потерь на диффузии совсем не связано с понижением качества диффузионного сока. Качество сока понизится лишь в том случае, если потери будут снижаться путем удлинения оборота батареи и повышения температуры. Отсюда видно, как важно для практики разобраться в роли отдельных факторов, влияющих на процесс, и научиться ими пользоваться для создания оптимальных условий работы.

5. МАТЕРИАЛЬНЫЕ БАЛАНСЫ И ПРОДУКТЫ ДИФФУЗИОННОЙ БАТАРЕИ

Количество отходов диффузии. Из хвостового диффузора в жолоб под диффузионной батареей вытравляется одновременно жом, т. е. высоложенная стружка, и окружающая эту стружку так называемая диффузионная вода. Жом представляет собой свеклу, лишённую сахара. Следовательно, из 100 кг свеклы при 17,5% сахара в ней должно бы получаться около $100,0 - 17,5 = 82,5$ кг жома. На самом деле он получается в большем количестве, так как поглощает некоторое количество воды. Обычно принимают приближенно выход жома на 100 кг свеклы равным 90 кг.

На 1 гектолитр объема диффузора обычно помещается при загрузке его 55 кг свекловичной стружки, или по объему стружка занимает около половины объема диффузора. Остальное пространство — промежутки между стружкой — заняты соком, а в хвостовом диффузоре — диффузионной водой. Следовательно, диффузионной воды в диффузоре имеется около 100 кг на 100 кг свеклы. Но сюда же присоединяется вода, вытекающая при вытравке из трубок калоризатора, из-под сит, из нижней трубы, соединяющей диффузор с калоризатором. Поэтому количество диффузионной воды оказывается не 100 кг, а 120 кг на 100 кг свеклы.

Потери сахара и баланс сахара на диффузии. Предположим, что в свекле содержится 17,50% сахара, в жоме 0,22% и в диффузионной воде 0,11% (содержание сахара в жоме и в диффузионной воде каждый час определяется в лаборатории завода). На 100 кг свеклы получается, как уже сказано, 90 кг жома; следовательно, количество сахара в нем будет равно:

$$\frac{90 \cdot 0,22}{100} = 0,188 \text{ кг (на 100 кг свеклы).}$$

Диффузионной воды получается 120 кг и количество сахара в ней равняется:

$$\frac{120 \cdot 0,11}{100} = 0,132 \text{ кг.}$$

Сумма потерь сахара на диффузии на 100 кг свеклы: $0,188 + 0,132 = 0,32$ кг. Следовательно, в диффузионный сок перейдут не все 17,50 кг сахара, а $17,5 - 0,32 = 17,18$ кг.

Итак, на 17,50 кг сахара свеклы потеряно на диффузии 0,32 кг; потеря на 100 кг сахара свеклы будет равна:

$$\frac{0,32 \cdot 100}{17,50} = 1,8 \text{ кг.}$$

Итак, из 100 кг сахара свеклы потеряно в жоме и диффузионной воде 1,8 кг, а $100 - 1,8 = 98,2$ кг перешло в диффузионный сок.

Откачка сока на 100 кг свеклы определяется не по измерению в мерниках объема получаемого сока, так как это было бы нетон-

но. Гораздо точнее и проще вычислять откачку по содержанию сахара в свекле и в диффузионном соке, которое определяется в заводской лаборатории.

Положим, что в свекле оказалось 17,5% сахара, в диффузионном соке 15,0% и потери сахара на диффузии (в жоме и в диффузионной воде) оказались равными 0,32% по весу свеклы.

Следовательно, на 100 кг свеклы в ней было 17,5 кг сахара, но в диффузионный сок перешло лишь $17,5 - 0,32 = 17,18$ кг. Если бы диффузионного сока на 100 кг свеклы получилось 100 кг, то в этом соке было бы 15,0 кг сахара, но так как на самом деле там должно быть не 15,0 кг, а 17,18 кг сахара, то следовательно, получено диффузионного сока не 100 кг, а больше:

$$\frac{100 \cdot 17,18}{15,0} = 114,5 \text{ кг.}$$

Можно рассуждать и иначе. Положим, что количество полученного диффузионного сока на 100 кг свеклы равно x кг.

В этом соке содержится сахара $\frac{x \cdot 15,0}{100}$ кг. Но сахар, поступивший на диффузию (17,5 кг), очевидно, равен количеству сахара, ушедшего с диффузии с отходами (0,32 кг) и с диффузионным соком¹, т. е. баланс сахара будет следующим:

$$17,5 = 0,32 + \frac{x \cdot 15,0}{100};$$

отсюда

$$x = \frac{(17,5 - 0,32) \cdot 100}{15,0} = 114,5 \text{ кг.}$$

Вообще откачка $x = \frac{(P - a) 100}{p}$, где P и p — содержание (в %) сахара в свекле и в диффузионном соке и a — потери сахара в отходах диффузии на 100 кг свеклы.

Расход воды на диффузии. Расход воды для диффузионной батареи на 100 кг свеклы весьма легко вычислить, составляя баланс веществ, поступающих и уходящих с диффузионной батареей. Поступают на диффузию свекла (100 кг) и вода (x кг); уходит же диффузионный сок (положим, 115 кг), жом (90 кг) и диффузионная вода (120 кг). Очевидно, сумма поступлений должна быть равна сумме уходящих веществ:

$$\begin{array}{ccccccc} 100 & + & x & = & 115 & + & 90 & + & 120 \\ \text{Свекла} & & \text{Вода} & & \text{Диффузион. сок} & & \text{Жом} & & \text{Диффузион. вода} \end{array}$$

Отсюда $x = 225$ кг.

¹ Здесь мы делаем допущение, что кроме потерь сахара в жоме и диффузионной воде нет больше никаких других потерь на диффузии, нет например потерь от микроорганизмов и от инверсии сахарозы. При нормальной работе завода эти дополнительные потери, действительно, исчезающе малы.

Итак, расход воды на диффузию — около 225 кг. Кроме того некоторое количество воды тратится на ополаскивание диффузоров. Поэтому полный расход воды на диффузию будет приблизительно 250 кг на каждые 100 кг перерабатываемой свеклы.

Переход несахаров в сок. Судя по коэффициентам диффузии (см. табл. 19), следовало бы ожидать, что растворимые несахара будут более полно, чем сахар, переходить в диффузионный сок. На опыте [Андрлик, 45] оказалась другая картина. Переход несахаров и сахара в диффузионный сок при современной тонкой стружке и высокой степени выщелачивания характеризуется следующими данными:

Название веществ	Количество веществ, переходящих в диффузионный сок (в %)	Название веществ	Количество веществ, переходящих в диффузионный сок (в %)
Сахароза	98	MgO	60
Белок	30	CaO	10
Вредный азот	95	P ₂ O ₅	75
Общий азот	57	SO ₃	70
K ₂ O	80	Cl	90
Na ₂ O	60	Зола	70

Как видно из приведенных данных, белковые вещества переходят в сок лишь в количестве 30%; это — белки главным образом из вскрытых на резке клеток, вымытые из них в головном диффузоре. Остальные 70% белков — из внутренних клеток стружки — свернулись при нагревании и в сок не попадают, а остаются в жоме.

Слабое сравнительно с сахарозой выщелачивание солей калия (80%) и натрия (60%) можно объяснить с точки зрения теории Доннана задерживающим влиянием отрицательно заряженных коллоидов свекловичного сока: эти коллоидные анионы сами почти не диффундируют и вместе с собой удерживают связанные с ними силами электростатического притяжения катионы калия и натрия.

Из катионов мало выщелачиваются на диффузии кальций (ниже 10%), очевидно потому, что он в значительной степени находится в свекле в виде нерастворимых в воде солей. Кроме того фосфорная и серная кислоты, вероятно, входят отчасти в состав каких-нибудь сложных органических соединений и поэтому извлекаются неполно (например фосфорная кислота — в виде лецитинов).

Пектиновые вещества играют главнейшую роль на диффузии. Их свойства в значительной степени определяют методику работы на диффузионной багарее. В растворе в нормальном соке находится лишь незначительная часть пектиновых веществ (около 0,1%); они (хотя и медленнее сахарозы) путем диффузии переходят в диффузионный сок. Но следует всегда иметь в виду, что нераствори-

мый протопектин при нагревании с водой способен разбухать и постепенно переходить в раствор в виде пектина (арабик и пектиновая кислота). Ускоряющее влияние повышенной температуры на пептизацию пектиновых веществ было уже указано выше (см. рис. 19). Было показано, что эта пептизация особенно растет при температурах выше 80°, а потому при работе на диффузии их следует избегать.

Путем специального заводского опыта мы нашли, что при максимальном нагреве на диффузии 85,1° перешло в сок в 2,1 раза больше пектиновых веществ, чем при максимальном нагреве лишь в 75,6° (0,239% по весу сока вместо 0,116%).

Продолжительность действия воды при повышенной температуре также имеет большое значение: пептизация почти пропорциональна времени, как было указано выше (см. рис. 20). Таким образом при быстрой работе на диффузии уменьшается переход пектиновых веществ в диффузионный сок.

В слабокислой среде ($\text{pH} = 5,0$) пектиновые вещества переходят в раствор в наименьшем количестве (см. рис. 18). Поэтому для уменьшения количества пектиновых веществ в диффузионном соке было бы полезно вести диффузию на слабоподкисленной воде.

К сожалению, мы до сих пор не имеем настолько быстрого метода определения пектиновых веществ в растворе, чтобы ввести его как один из текущих анализов. Поэтому при работе на диффузионной батарее стремятся избежать лишь совершенно катастрофических явлений при ее чрезмерном перегреве: разбухание пектиновых веществ делает стружку мягкой, она теряет свою упругость, так как разрыхляются именно те вещества, которые склеивают отдельные клетки друг с другом. Такая обваренная стружка сминается, плотно прилегает к ситам в диффузорах, забивает их, вследствие чего прекращается движение сока. В таких случаях говорят: «батарея садится», и наступает «плохая качка» (т.е. очень медленный отбор сока). При свежей, здоровой свекле такие явления наступают не так легко, и поэтому здесь есть возможность работать при температуре до 83°. При порченной, мороженой свекле лучше держаться нагрева лишь в пределах температур 70—75° — не выше. Но и при здоровой свекле для получения соков лучшего качества лучше, по возможности, не поднимать температуру выше 80°.

* Коллоиды диффузионного сока. Диффузионный сок представляет собой полидисперсную систему с частицами разнообразной величины. В нем имеются и взвешенные частицы, правда, лишь в небольшом количестве, так что центрифугирование при 1500—3500 оборотах дает лишь небольшой осадок [Думанский, 46], и в обычный микроскоп почти не видно микроскопических частиц. В диффузионном соке в обычном растворе имеются и кристаллоиды. Имеются и коллоидальные частицы — как видимые в ультрамикроскоп — субмикроны (от 100 м μ до 5 м μ), так и дающие лишь эффект Тиндаля — амикроны (от 5 м μ до 1 м μ). Кол-

лондных веществ (размерами от 100 мр до 1 мр)¹ содержится в диффузионном соке около 0,34%, что составляет приблизительно 20% — одну пятую от всех сахарах диффузионного сока.

Субмикронные диффузионного сока, заряжены отрицательно (Думанский).

В химическом отношении — это главным образом белки и пектиновые вещества. Сюда же присоединяются сапонины диффузионного сока и красящие вещества сока. Путем фильтрации через коллоидную пленку (ультрафильтр) можно освободить диффузионный сок от более крупных коллоидальных частиц. Фильтрат уже не имеет темной окраски, а лишь желтую.

Соли очищенных диализом коллоидов диффузионного сока оказываются неактивны поверхностно, не изменяют поверхностного натяжения воды, но они значительно повышают ее вязкость, что указывает на сильно гидрофильный характер этих солей.

Коллоиды диффузионного сока как отрицательно заряженные коагулируют главным образом под влиянием многовалентных катионов, например солей свинца, алюминия, урана, кальция.

Коллоиды диффузионного сока как отрицательные коагулируют также с электроположительными солями, как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Растворы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ также производят коагуляцию, в то время как NaOH коагулирует коллоиды диффузионного сока лишь весьма слабо.

При коагуляции известковым молоком наблюдается optimum коагуляции при применении около 0,2—0,3% CaO . При большем количестве извести наблюдается пептизация осевших коллоидных частиц щелочью.

Пенообразующая способность диффузионного сока весьма велика. Продувая воздух, можно диффузионный сок почти целиком превратить в пену. Пенообразователем является сапонин (около 0,1% по весу сока).

Стадии работы в различных диффузорах легко видеть при рассмотрении так называемой кривой Батю (рис. 72), т. е. диаграммы, где по оси абсцисс отложен номер диффузора, а ординаты показывают соответствующий процент сахара в соке, доброкачественность и температуру. На диаграмме видно, что в диффузионной батарее идут три процесса: вымывание, диффузирование и пептизация (растворение).

1. Процесс вымывания нормального сока из разорванных нарезке клеток идет в головном диффузоре. В сок попадают белки и пектиновые вещества из разорванных клеток, ухудшая таким образом качество сока. Главным образом повышается содержание в соке белков, в меньшей степени — пектиновых веществ, так как разница в содержании их в соке, поступающем в головной диффу-

¹ мр — миллимикрон, т. е. миллионная часть миллиметра; μ — микрон, или тысячная часть миллиметра.

зор, и в нормальном соке не столь велика, как для белков. Содержание сахара в соке повышается здесь лишь незначительно.

2. Процесс диффундирования сахара (см. кривую Батю) в головном диффузоре не может идти, так как стружка еще не прогрета и протоплазма не свернулась. Это видно из того, что содержание сахара в диффузионном соке почти то же, что и в соке, по-

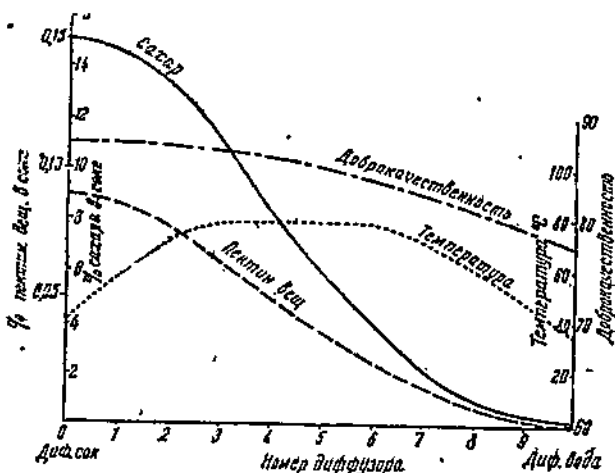


Рис. 72. Кривая Батю

ступающем в головной диффузор; следовательно, он ничего не дает, почти не повышает содержание сахара. Имеющееся все же небольшое повышение объясняется простым вымыванием сока разорванных клеток, а не диффузией.

Диффундирование идет энергичнее всего в третьем и следующих (считая от головного) диффузорах (средних), так как стружка уже нагрелась и протоплазма убита. Здесь наблюдается наибольшая разница в содержании сахара в соках соседних диффузоров: в каждом из них путем диффузии переходят в сок все новые и новые значительные количества сахара.

В стружке хвостовых диффузоров остается лишь очень мало сахара; поэтому и кривая сахаристости идет снова полого: сахар в соке прибывает слабо, потому что его уже мало осталось, и цель хвостовых диффузоров — лишь снизить потери, взять остатки сахара.

3. В процессе растворения (пептизации) и отчасти диффундирования пектиновые вещества разбухают и постепенно переходят в раствор. Процесс вредный, обуславливающий постепенное понижение доброкачественности сока по мере приближения к хвостовому диффузору. Пептизация весьма сильно зависит от температуры. Поэтому она незначительна в головном диффузоре и в соседнем от него. Стружка не прогрелась, пектиновые вещества еще не раз-

бухли. Больше всего пептизация сказывается (см. рис. 72) в средних диффузорах. В хвостовых она слабее, так как температура здесь ниже.

Брожение на диффузии. Свекла, поступающая на переработку, даже после мойки значительно инфицирована бактериями почвы. Диффузионный сок в головном диффузоре при температуре 30—40° представляет собой чрезвычайно благоприятную почву для дальнейшего развития инфекции [Мещадроли 47]. В 1 см³ диффузионного сока находится до 300 млн. микроорганизмов. Даже при температуре 60—84° в соке содержится около 20 млн. микроорганизмов, так как некоторые из них могут и при температуре 70—80° хорошо развиваться.

Разложение сахарозы микробами на диффузии может и не сопровождаться повышением кислотности и нарастанием содержания инвертного сахара. Таким образом иногда трудно бывает заметить наличие потерь.

Для борьбы с инфекцией нужно обращать внимание на тщательность мойки свеклы, поддерживать чистоту на диффузии. Очень важное значение имеет также темп работы на диффузии: при быстрой работе деятельность микроорганизмов не успевает развиваться.

В случаях, когда работа диффузии замедлена, а температура понижена, особенно при порченной свекле, возможно наступление брожения иногда с выделением газов CO₂ и H₂, как при масляно-кислом брожении. Ввиду присутствия горючего водорода случались иногда взрывы на диффузии.

Среди бактерий, найденных на диффузии, следует упомянуть *Leuconostoc*, *Bacterium coli*, *Bacillus mesentericus* и *Bacillus subtilis*.

Для борьбы с микроорганизмами следует дезинфицировать известью мерники (или давать известь в диффузионный сок в мерник до щелочности 0,15—0,25 % CaO). Рекомендуется также прибавлять в воду, идущую на диффузию, гидросульфит натрия (0,043 % по свекле по Мещадроли), но это — дорогое средство и может поэтому применяться лишь периодически — для дезинфекции. Можно также время от времени обмывать стенки диффузоров 1—2%-ным раствором формалина.

Инверсия сахарозы на диффузии незначительна, хотя диффузионный сок и имеет кислую реакцию (0,04, считая на CaO). Это объясняется тем, что кислотность диффузионного сока вызывается весьма слабыми, очень мало диссоциированными органическими кислотами и активная кислотность — концентрация ионов водорода — весьма мала; она равна приблизительно, миллионной части нормальной (pH = 5,5—6,5).

О размерах возможной инверсии сахарозы на диффузии в зависимости от pH и температуры можно судить по табл. 20, составленной Шпенглером [48]. Как, видно из таблицы, количество

образовавшегося инвертного сахара возрастает в три раза с повышением температуры на 10° и в десять раз с уменьшением pH на единицу; конечно, нарастание инверта пропорционально времени.

Таблица 20
Инверсия сахарозы за 60 мин.

pH	Температура (в $^{\circ}\text{C}$)	Количество образовавшегося инверта (в %)	
		на 100 сахара	на 100 сока (при 14,3% сахара)
6	60	0,003	0,0004
	70	0,009	0,0013
	80	0,035	0,0050
5	60	0,030	0,004
	70	0,090	0,013
	80	0,350	0,050
4	60	0,300	0,04
	70	0,900	0,13
	80	3,500	0,50

Суммарная потеря сахара от брожения и инверсии при нормальной работе весьма невелика, она близка к нулю и не превосходит 0,1% сахара по весу свеклы.

Эффект очистки сока на диффузии. Диффузионный сок имеет более высокую доброкачественность, чем соответствующий нормальный сок свеклы. Это объясняется тем, что большая часть белков свеклы остается в жоме, остается также около одной трети элементов солы. Таким образом в диффузионном соке оказывается меньшее количество несахаров, тогда как сахар довольно полно (на 98%) переходит в диффузионный сок.

В нормальном соке на 1 кг сахара приходится некоторое количество несахаров, характеризующее как бы степень загрязненности сахара в нормальном соке. Например, если доброкачественность нормального сока равняется 87,0, то в 100 кг сухого вещества содержится 87,0 кг сахара и 13,0 кг несахаров. Следовательно, на 1 кг сахара приходится $\frac{13,0}{87,0} = 0,1494$ кг несахаров (загрязненность).

Предположим, что доброкачественность диффузионного сока равна 88,8. Тогда для него на 1 кг сахара приходится $\frac{11,2}{88,8} = 0,1261$ кг несахаров. Следовательно, загрязненность сока уменьшилась на станции диффузии на $0,1494 - 0,1261 = 0,0233$ кг, или в процентах от первоначальной загрязненности — на $\frac{0,0233 \cdot 100}{0,1494} = 15,6\%$. Эта величина называется эффектом очистки на диффузии. Итак, эф-

фактом очистки сока называется понижение загрязненности сахара, выраженное в процентах от первоначальной величины загрязненности.

Легко составить и формулу для вычисления эффекта очистки сока. Положим, что первоначальная доброкачественность была q_1 , а после очистки стала q_2 . Следовательно, первоначальная загрязненность сахара была $\frac{100 - q_1}{q_1}$; после очистки загрязненность будет: $\frac{100 - q_2}{q_2}$. Понижение загрязненности получит следующее выражение:

$$\frac{100 - q_1}{q_1} - \frac{100 - q_2}{q_2}$$

Это понижение загрязненности, выраженное в процентах от первоначальной загрязненности, т. е. эффект очистки, будет

$$E = \frac{\left[\frac{100 - q_1}{q_1} - \frac{100 - q_2}{q_2} \right] \cdot 100}{\frac{100 - q_1}{q_1}} = \left[1 - \frac{(100 - q_2)q_1}{(100 - q_1)q_2} \right] \cdot 100.$$

Продукты диффузионной батареи. Примерный средний состав продуктов диффузии, т. е. диффузионного сока, жома и диффузионной воды, приведен в табл. 21, причем для сравнения указан и состав сахарной свеклы.

Таблица 21
Состав продуктов диффузии (в %)

Составные части	Свек- ла	Диффузион- ный сок	Жом	Диффузион- ная вода
Сахароза	17,5	15,0	0,2	0,10
Пектиновые вещества { нерастворимые	2,4	—	2,6	—
{ растворимые	0,1	0,1	—	0,04
Клетчатка и гемицеллюлоза	2,3	—	2,5	0,04
Азотистые вещества	1,2	0,7	0,6	0,01
В том числе:				
белки	(0,7)	(0,2)	(0,5)	—
прочие азотистые вещества	(0,5)	(0,5)	—	—
Безазотистые вещества	0,9	0,8	0,1	0,01
Зола (чистая)	0,6	0,4	0,2	0,01
Всего сухих веществ	25,0	17,0	6,2	0,21
Вода	75,0	83,0	93,8	99,79

Как видно из табл. 21, большая часть несахаров свеклы переходит в диффузионный сок. Только количество белков значительно ниже — лишь одна треть белков свеклы. Это — белки из

вскрытых на резке клеток свеклы. Они находятся в диффузионном соке в неcoaгулированном виде, так как головной диффузор, в котором происходит вымывание белков из разрезанных клеток, имеет низкую температуру (около 35—40°); с такой температурой и получается диффузионный сок.

Жом содержит в основном вещества свекловичной мякоти (клетчатка, полуклетчатка и пектиновые вещества) и coагулированный белок неразрезанных клеток свеклы. Все эти сухие вещества жома являются хорошим кормом для скота, повышающим удой молока. Недостатком жома является низкое процентное содержание сухих веществ (лишь 6%, а воды 94%). Следовательно, жом является непереносимым кормом и должен скармливаться на месте. Поэтому на территории сахарного завода обычно устраивается скотомкормочный пункт. Часть жома разбирается местным населением для молочных коров.

Жом хранят в специальных жомовых ямах. Под дном ямы устраивают дренаж для отвода жомовой воды. При хранении жом закисает: под действием бактерий образуются кислоты — молочная, масляная и уксусная. Бактерии сбраживают сахар, а также в значительной степени и пектиновые вещества, предварительно переводя их в растворимое состояние. Потери сухих веществ жома под влиянием бактерий при длительном хранении могут достигать 20—40% по весу сухих веществ. Поэтому весьма рационально высушивать жом, особенно на отходящих газах котельной сахарного завода. При этом получается весьма ценный transportабельный и хорошо сохраняющийся корм, занимающий по питательности среднее место между луговым сеном и овсом.

В диффузионной воде содержится всего лишь 0,2% сухих веществ, но эти вещества способны бродить (сахар, пектиновые вещества) и гнить (белки). Поэтому диффузионную воду нельзя спускать в реки и пруды, а следует выкачивать на поля орошения.

6) РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ДИФфуЗОРОВ

Для подсчета необходимой емкости диффузора нужно знать: 1) суточную производительность завода, 2) оборот диффузионной батареи и 3) число диффузоров в батарее.

Для примера возьмем производительность завода в 10 тыс. ц, оборот батареи—60 мин. и число диффузоров—12. Все 12 диффузоров, загружаемые в течение 60 мин., очевидно, должны вмещать количество стружки от свеклы, перерабатываемой за 60 мин. (или за 1 час), т. е.

$$\frac{10\,000}{24} = 416,4 \text{ ц, или } 41\,640 \text{ кг.}$$

На 1 гл (гектолитр) емкости диффузора помещается 56 кг стружки.

Следовательно, емкость диффузора должна быть равна $\frac{41\,640}{56} = 74,4 \text{ гл.}$

Емкость диффузоров, встречающихся на сахарных заводах, бывает от 30 до 90 гл. Чем больше емкость диффузора, тем плотнее ложится в него стружка под большим давлением более высокого слоя ее. Поэтому считают, что на

1 гл емкости для малых диффузоров (менее 40 гл) помещается 54 кг стружки, для средних (40—60 гл)—55 кг и для больших (более 60 гл)—56 кг.

Сечение труб и размеры вентиля на диффузии должны быть выбраны так, чтобы скорость движения сока в них не превышала 1 м/сек.

Скорость фильтрации сока через сита пульполовушки можно принять 600 л/мин через 1 м² при круглых отверстиях с площадью живого сечения не менее 25% общей площади сита.

7) ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДИФфуЗИОННОЙ БАТАРЕИ

Для определения расхода тепла и пара на диффузионную батарею составляется тепловой баланс батареи. При установившейся работе количество тепла, поступающего на диффузию, согласно закону сохранения энергии должно быть равно количеству тепла, покидающего диффузию.

На диффузию тепло поступает (на 100 кг свеклы):

1) со свекловичной стружкой: 100 кг стружки, теплоемкость ее 0,9 и температура, например, 5°; содержание тепла будет:

$$100 \cdot 0,9 \cdot 5 = 450 \text{ Кал.}$$

2) с барометрической водой: 225 кг, теплоемкость — 1,0 и температура 40°; содержание тепла: $225 \cdot 1,0 \cdot 40 = 9000 \text{ Кал.}$

3) с паром; обогревающим калоризаторы, — $x \text{ Кал.}$

Тепло, уходящее с диффузионной батареей:

1) с диффузионным соком: например 115 кг, теплоемкость 0,9¹, температура 40°; содержание тепла: $115 \cdot 0,9 \cdot 40 = 4140 \text{ Кал.}$

2) с жомом, выжимаемым из диффузора: 90 кг, теплоемкость 1,0 и температура 45°; содержание тепла: $90 \cdot 1,0 \cdot 45 = 4050 \text{ Кал.}$

3) с диффузионной водой: 120 кг, теплоемкость 1,0 и температура 40°; содержание тепла: $120 \cdot 1,0 \cdot 40 = 4800 \text{ Кал.}$

Баланс тепла на диффузии:

$$450 + 9000 + x = 4140 + 4050 + 4800; \text{ отсюда } x = 3540 \text{ Кал.}$$

Итак, теоретический расход тепла на диффузии на 100 кг свеклы без учета потерь на лученспускание и теплопроводность равняется 3540 Кал; потери на лученспускание и теплопроводность можно считать равными 10% от этой теоретической величины, т. е. 354 Кал. Таким образом полный расход тепла на диффузию будет:

$$3540 + 354 = 3894 \text{ Кал.}$$

Калоризаторы обогреваются обычно паром (с выпарки), имеющим температуру 100° и полное теплосодержание: $i = 640 \text{ Кал.}$ Конденсат преющего пара уходит с температурой 85° С; следовательно, 1 кг пара отдает обогреваемому соку $640 - 85 = 555 \text{ Кал.}$

¹ Теплоемкость соков зависит от концентрации; ее можно вычислить приблизительно по формуле $c = 1 - 0,0043 Bx$, где Bx — бrixс сока (имеется и более точная формула Яновского, см. стр. 86).

Отсюда вычисляется расход пара для обогрева калоризаторов на 100 кг свеклы: $\frac{3894}{555} = 7,0 \text{ кг.}$

Зная расход тепла на калоризаторы, легко определить необходимую поверхность нагрева калоризатора $F \text{ м}^2$. Пусть коэффициент теплопередачи для калоризатора будет $12 \frac{\text{Кал}}{\text{м}^2 \times \text{мин.} \times ^\circ\text{C}}$ (т. е. 12 Кал в 1 мин. через 1 м² поверхности нагрева при разности температур греющего пара и обогреваемого сока в 1°С) [13].

Средняя температура обогреваемого сока может быть принята в 65°, а греющий пар имеет температуру 100°. Пусть обогревается паром 5 калоризаторов (греющая поверхность их 5 F). При этих условиях в 1 мин. будет передано: $12 \cdot 5 F (100 - 65)$ Кал тепла.

Положим, что производительность завода равняется 10 тыс. ц в течение 24 час.; в 1 мин. перерабатывается $\frac{10000}{24 \cdot 60} = 6,94$ ц свеклы, причем на 1 ц затрачивается тепла на диффузии, как нами вычислено выше, 3894 Кал. Минутная затрата тепла:

$$6,94 \cdot 3894 = 27025 \text{ Кал.}$$

Очевидно:

$$12 \cdot 5 F (100 - 65) = 27025; \text{ откуда: } F = 12,9 \text{ м}^2.$$

* 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПРОТИВОТОЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

* 1. ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ РАБОТЫ ДИФфуЗИОННОЙ БАТАРЕИ

Методом диффузии пользуются в сахарной промышленности для получения сока из свеклы уже 80 лет и, как это ни удивительно, до самого последнего времени не применяли физических законов диффузии при изучении работы диффузионной батареи. Довольствовались весьма примитивным представлением: считали, что при переходе более разбавленного сока в следующий диффузор, где сок, находящийся внутри стружки, более концентрирован, происходит через некоторое время полное выравнивание концентраций вследствие диффузии сахара изнутри стружки наружу.

Таким образом, чем большее число раз происходит перемещение сока и выравнивание концентраций, тем лучше работа и полнее извлечение сахара; следовательно, с точки зрения этой теории главным фактором работы диффузионной батареи оказывалось число диффузоров в батарее. На этом основании, в Чехословакии например имеют большое распространение батареи в 16 диффузоров, что весьма неудобно в работе (слишком частая нагрузка и выгрузка диффузоров, замедленная откачка сока вследствие чрезмерной длины батареи и увеличенных гидравлических сопротивлений). Между тем имеются в промышленности и совсем короткие батареи (из 8 диффузоров), и не столь уже плохая работа их указывает, что число диффузоров не является таким решающим, главным фактором.

Вторым сомнительным выводом примитивной теории было чрезмерное значение, которое придавалось плотности набивки диффузоров стружкой. Рассуждали так: чем плотнее набивка, тем меньше свободного пространства между стружкой, и, следовательно, для того же числа обменов, перемещений сока требуется меньшая откачка. Таким образом считали, что, увеличивая плотность набивки стружки, следует не увеличивать, а уменьшать откачку сока из диффузора, и что при этом получится сок большей концентрации и снизятся потери. Вывод этот совершенно противоречит и здравому смыслу и заводской практике: в последние десятилетия принимают все меры (цепи в диффузорах) к тому, чтобы набивка диффузоров не была чрезмерно плотной, а была бы лишь равномерной. Таким образом удалось ускорить работу батареи и снизить потери.

Третьим неправильным и вредным выводом теории было представление о «вредных» пространствах на диффузии. Так называли пространства, не заполненные стружкой, но заполненные соком (трубы, вентили, пространства под ситами, калоризаторы). Казалось, что вредные пространства требуют увеличения откачки для получения того же числа обменов сока в диффузорах, а это приводит к получению разбавленных соков. Боязнь «вредных» пространств заставляла конструкторов уменьшать диаметр коммуникаций и вентилях на диффузии, что сильно увеличивало гидравлические сопротивления. Из боязни «вредных» пространств часто обходились без калоризаторов, устраивая вместо них инжекцию пара непосредственно в сок в переходные трубы, ведущие из одного диффузора в другой (особенно в Чехословакии). Такой способ как раз и приводил к получению разбавленного сока, так как к нему примешивался конденсат пара.

За последнее время, исходя из тех же примитивных теоретических представлений, инж. Покорный сделал неожиданно диаметрально противоположный вывод [49]. Он утверждает, что «вредные» пространства совсем не вредны, а полезны: они приводят к снижению откачки и к снижению потерь сахара в жоме. Заводские опыты, поставленные Вондраком [49], не подтвердили преимуществ «вредных» пространств, а лишь показали их безвредность. На этом основании было рекомендовано увеличивать диаметр труб на диффузии и смело устраивать калоризаторы.

Обращая внимание на несущественные факторы, приводя к вредным ложным выводам, примитивная теория диффузионной батареи оставляет без всякого рассмотрения главнейшие факторы работы: 1) оборот батареи, 2) температуру и 3) качество свежловинной стружки.

Это произошло потому, что основное положение примитивной теории ложно: никаких остановок в движении соков в диффузионной батарее, «чтобы выравнивались концентрации», не бывает; эти концентрации внутри и вне стружки никогда не бывают равны. В головном диффузоре внутри стружки находится нормальный сок свеклы, а снаружи — диффузионный сок значительно меньшей концентрации (разница концентраций сахара — около 5—6%); в хвостовом диффузоре находится жом с концентрацией около 0,2% сахара, а в промежуточных — диффузионная вода с концентрацией лишь 0,1%, т. е. в два раза меньшей. Следует не пренебрегать разностями концентраций, не считать их равными нулю, а наоборот, учитывать эти разности концентраций, положить их в основу теории, так как действительно, именно разность концентраций (по закону Фика) является движущей силой, заставляющей сахар диффундировать изнутри стружки в окружающий сок.

Как видим, теория весьма влияет на практику. Те, кто хотели бы заниматься лишь практикой и считают теорию ненужной, обычно все-таки имеют какую-то теорию, но непродуманную, примитивную и неверную, что и приводит к грубым ошибкам в практике.

С развитием стахановских методов, которые были бы непонятны без теоретического анализа их, теория в последнее время стала совершенно необходимой.

* 2. ТЕОРИЯ ПРОТИВОТОЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА БАЗЕ ЗАКОНА ФИКА

Выше уже была рассмотрена качественно роль отдельных факторов работы диффузионной батареи с точки зрения закона Фика. Этот же закон Фика можно применить и для количественного вычисления потери сахара при получении сока диффузионным способом в зависимости от ряда условий. Такую теорию процесса легче всего дать для непрерывно действующего противоточного диффузионного аппарата (например типа «Рapid» или Берке), так как происходящий здесь процесс теоретически проще, чем в обычной диффузионной батарее. Непрерывно-противоточный аппарат имеет форму длинного корыта или барабана, в котором от одного конца к другому непрерывно перемещается свекловичная стружка, а навстречу ей в обратном направлении движется вода. Вследствие диффузии стружка постепенно теряет свой сахар и превращается в жом, а вода постепенно получает сахар и превращается в диффузионный сок.

* Теория противоточного выщелачивания. Предположим, что в такой непрерывно-противоточный аппарат поступает стружка с концентрацией сока C_2 % навстречу выщелачивающей воде (см. схему рис. 73).

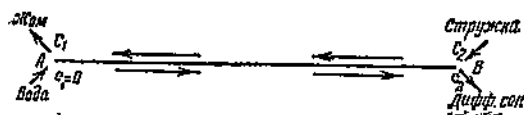


Рис. 73. Схема противоточного непрерывного диффузионного процесса

Там, где поступает вода, отводится высоложенная стружка — жом, в котором остается C_1 % сахара, а в том месте, куда вводится свежая стружка, отбирается диффузионный сок, содержащий C_2 % сахара.

В таком аппарате нет диффузионной воды, поэтому имеется потеря сахара лишь с жомом (C_1 %). Следовательно, из 100 кг нормального сока свеклы перейдет в диффузионный сок $S = (C_2 - C_1)$ кг сахара.

Подставляя это значение в уравнение 4 (стр. 173), найдем:

$$C_2 - C_1 = \frac{4 K_p T_m}{\eta} \cdot \frac{F}{r} (C - c) \cdot z. \quad (6)$$

Здесь $C - c$ — средняя разность концентраций внутри и вне стружки за все время диффундирования, причем в точке поступления стружки эта разность равняется $C_2 - c_2$, а в точке выхода

жоме $C_1 - 0 = C_1$. Среднюю же разность концентраций $(C - c)$ легко вычислить по начальной и конечной разности, применяя формулу Грасгофа, известную в теплотехнике и обычно применяемую для решоферов и противоточных холодильников (мы пользуемся здесь полной аналогией в формулах и расчетах по диффузии и теплопередаче). Итак, по Грасгофу:

$$C - c = \frac{C_2 - c_2 - C_1}{2,302 \lg \frac{C_2 - c_2}{C_1}}$$

Это выражение $C - c$ можно подставить в наше основное уравнение (6), но предварительно следует вычислить и подставить значение для концентрации диффузионного сока c_2 . Обозначим для этого через n количество диффузионного сока, получаемое на 1 кг нормального сока свеклы (обычно откачка сока на заводе вычисляется на 100 кг свеклы; эти 100 кг содержат приблизительно 93 кг¹ нормального сока; следовательно, если откачка равна a % по свекле, то $n = \frac{a}{93}$).

Легко понять, что $c_2 = \frac{C_2 - C_1}{n}$, так как из 100 кг нормального сока переходит в диффузионный $C_2 - C_1$ кг сахара (т. е. за вычетом потерь в жоме C_1), но этот диффузионный сок кроме того разбавлен по сравнению с нормальным соком в n раз.

Выполняя подстановку значения c_2 , найдем:

$$C - c = \frac{(n-1)(C_2 - C_1)}{2,302 n \lg \frac{(n-1)C_2 + C_1}{n C_1}}$$

Подставляем значение $C - c$ в уравнение (6) и сокращаем затем обе части уравнения на $C_2 - C_1$. Найдем:

$$1 = \frac{4k_0 T_m}{\eta} \cdot \frac{F}{r} \cdot \frac{n-1}{2,302 n \lg \frac{(n-1)C_2 + C_1}{n C_1}} \cdot z,$$

или

$$\frac{n}{(n-1)} \lg \frac{(n-1)C_2 + C_1}{n C_1} = \frac{4 k_0}{2,302} \cdot \frac{T_m}{\eta} \cdot \frac{F}{r} \cdot z. \quad (6')$$

Необходимо в уравнении (6') заменить чем-то более обычным и легко измеримым также и величины F и r , поверхность стружки, соответствующей 100 кг нормального сока, и среднюю толщину стружки. F и r , очевидно, зависят от длины

¹ Ваялая свекла имеет меньший соковый коэффициент, но она быстро напитывается водой в диффузоре. Нами принят соковый коэффициент 93%, а не 91—92, как считают обычно. Это сделано на основании более точных определений связанной воды в мякоти, обычные же определения сокового коэффициента базируются на ненадежном анализе нормального сока.

100 г стружки; пусть она равняется l м. Чем больше l , тем тоньше стружка, т. е. меньше r и больше F , следовательно, F и r являются функциями l . Можно математически F и r выразить через l и результат также подставить в уравнение (6').

Стружка, соответствующая 100 кг нормального сока, весит $\frac{100}{0,93}$ кг, где 0,93 — соковой коэффициент. Длина этой стружки будет $\frac{1000l}{0,93}$ м. Если периметр сечения этой стружки обозначить через φ м, то боковая поверхность ее будет:

$$F = \frac{1000l\varphi}{0,93} \text{ м}^2.$$

(Следовательно, считаем полную поверхность F приблизительно равной боковой поверхности, т. е. пренебрегаем малой поверхностью концов каждой отдельной стружки).

Средняя толщина стружки r может быть принята приблизительно пропорциональной периметру φ , т. е. $r = k_1 \varphi^1$.

Таким образом:

$$\frac{F}{r} = \frac{1000 l}{0,93 k_1}.$$

Подставляем значение $\frac{F}{r}$ в уравнение (6') и кроме того подставляем [из уравнения 3, (стр. 171)] $\frac{T_m}{\eta} = 1000 \vartheta_m$:

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{(n-1) C_2 + C_1}{n C_1} = \frac{4k_2 \cdot 1000 \cdot 1000}{2,302 \cdot 0,93 \cdot k_1} \cdot \vartheta_m \cdot l \cdot z.$$

Обозначая $\frac{4 \cdot k_2 \cdot 1000 \cdot 1000}{2,302 \cdot 0,93 \cdot k_1} = A$, где A — некоторый постоянный коэффициент, получим;

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{(n-1) C_2 + C_1}{n C_1} = A \vartheta_m \cdot l \cdot z. \quad (7)$$

Разделим числитель и знаменатель дроби [под знаком $\lg$ в левой части уравнения (7)] на C_2 . Получим:

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{n-1 + \frac{C_1}{C_2}}{\frac{C_1}{C_2}} = A \vartheta_m l z. \quad (7')$$

¹ Это выражение для r лишь грубо приближенно (было бы правильно лишь при геометрическом подобии сечений стружки). Математически более точные формулы для r и для F нами даны в „Химии сахарного производства“ (1933, стр. 62); в них приняты во внимание и размер и форма ножа резки. Однако эти усложненные формулы не оправдываются на опыте, и принятое здесь упрощенное соотношение более пригодно для практики.

В это уравнение входят: откачка (на 1 кг нормального сока) n , температурный фактор ϑ_m [по уравнению (3)]:

$$\vartheta = \frac{T}{\eta \cdot 1000};$$

значения ϑ берем из табл. 18, длина стружки — l , время диффундирования — z . Таким образом учтены все основные факторы работы диффузионного аппарата (откачка, температура, длина стружки и время). Величина A — некоторый постоянный коэффициент. Он был найден из опыта в лаборатории и на Рамонском и Ново-Покровском сахарном заводе [43]: $A = 6,7 \cdot 10^{-5}$.

Кроме того в уравнении (7') имеется весьма интересная для нас величина $\frac{C_1}{C_2}$, т. е. отношение содержания сахара в жоме к содержанию его в нормальном соке. Зная n , ϑ_m , l и z , мы можем из уравнения (7') определить $\frac{C_1}{C_2}$. Пусть оказалось, что $\frac{C_1}{C_2} = \alpha$; следовательно, $C_1 = \alpha C_2$.

Значит, содержание сахара в жоме пропорционально сахаристости свеклы. Это значит, что более сахаристая свекла при прочих равных условиях дает большие потери сахара в жоме. Конечно, отсюда нельзя делать вывода о допустимости и неизбежности больших потерь на диффузии при более сахаристой свекле: мы всегда можем и должны так изменить условия работы, чтобы эти потери снизить.

Заметим, что в уравнении (7') значения всех факторов, кроме откачки n , входят в правую часть равенства в виде их произведения. Обозначим это произведение одной буквой γ :

$$\gamma = A \vartheta_m l z. \quad (8)$$

Следовательно, γ — некоторая величина, которую чрезвычайно легко вычислить (зная, что $A = 6,7 \cdot 10^{-5}$) и в которой сосредоточено влияние трех факторов (температура, длина стружки, время). Кроме того примем $C_2 = 1$. Тогда вместо уравнения (7') будем иметь:

$$\frac{n}{n-1} \lg \frac{n-1+C_1}{n-C_1} = \gamma. \quad (9)$$

Так как C_2 принято равным 1, то уравнение (9) позволяет вычислять потери C_1 на 1 кг сахара (если же найденную величину помножить на 100, то найдем потери на 100 кг сахара).

Уравнение (9) уже достаточно просто: интересующие нас потери C_1 зависят лишь от двух переменных величин — γ и n . Эту зависимость можно выразить особой номограммой и, пользуясь ею, находить значения C_1 , не решая логарифмического уравнения (9). Такая номограмма (1) дана на стр. 199. По оси абсцисс нанесены значения γ , а по оси ординат — C_1 (но вычисленные не на 1, а на

100 кг сахара). Имеется ряд кривых¹, каждая из которых соответствует определенной откатке (эта откатка α дана в номограмме в процентах по весу свеклы, т. е. это — та величина, которую обычно определяют в лаборатории завода, а не откатка на 1 кг нормального сока, так как эту величину пришлось бы специально вычислять).

Пример 1. Например откатка равна 110%, средняя температура $t_m = 70^\circ$, длина стружки $l = 20$ м и продолжительность диффузирования в непрерывно-противоточном аппарате $z = 60$ мин.

Тогда по табл. 18 (эта же таблица имеется и на номограмме 1) найдем: $\vartheta_m = 83,6$ (соответственно $t_m = 70^\circ$). Следовательно, по уравнению (8):

$$\gamma = A \vartheta_m l z = 6,7 \cdot 10^{-5} \cdot 83,6 \cdot 20 \cdot 60 = 6,72.$$

По номограмме, пользуясь кривой, на которой написано $\alpha = 110$, находим (соответственно $\gamma = 6,72$) $C_1 = 1,55$ (отсчет на номограмме по оси ординат слева).

Итак, при этих условиях в непрерывно противоточном диффузионном аппарате следует ожидать потерь в жоме в количестве 1,55 на 100 сахара. Если же свекла содержит например 17% сахара, то потери по свекле будут:

$$\frac{1,55 \cdot 17}{100} = 0,26\%.$$

Работа обычной диффузионной батареи близка к работе непрерывно-противоточного диффузионного аппарата: при современной быстрой работе нет никаких остановок в процессе, в батарее непрерывно движется сок навстречу свежей стружке, непрерывно и без всяких скачков повышая на пути свою концентрацию; а стружка свеклы также постепенно, без скачков, понижает свою концентрацию сахара.

Нами были поставлены опыты с целью 1) доказать на опыте применимость выведенного нами уравнения (7) к работе обычной диффузионной батареи; 2) определить экспериментально постоянную величину A и проверить, действительно ли она постоянна; 3) проанализировать процесс, идущий в последнем диффузоре батареи, где имеется уже значительное отступление от работы непрерывно-противоточного аппарата, и научиться вводить поправку и вычислять потери для обычной диффузионной батареи.

Поставленные в подтверждение изложенной теории лабораторные и заводские опыты [43] дали совершенно согласные друг с другом результаты, а именно:

1) подтвердили правильность теории противоточного диффузионного процесса и применимость к работе обычной диффузионной батареи;

2) дали определенное значение для коэффициента A [для уравнений (7) и (8)], равное в среднем $6,7 \cdot 10^{-5}$.

* Работа последнего (хвостового) диффузора батареи. Итак, путем опытов мы убедились, что работа обычной диффузионной батареи близка к работе непрерывно-противоточного диффузион-

¹ Временно не следует обращать внимания на имеющийся в номограмме пучок почти прямых лучей, выходящих из левого нижнего угла номограммы; они потребуются лишь в дальнейшем.

ного аппарата. Однако в работе хвостовой части диффузионной батареи имеются значительные особенности, которые должны быть приняты во внимание при вычислении потерь.

Для непрерывно-противоточного диффузионного аппарата единственной потерей является сахар в жоме — C_1 , который легко вычисляется при помощи формулы (9) или номограммы 1. Жом удаляется здесь с минимальной сахаристостью из того места аппарата, куда поступает вода для диффузии. Потери в диффузионной воде отсутствуют.

Совсем другую картину мы наблюдаем в обычной диффузионной батарее. Здесь периодически как бы отрубается некоторая часть аппарата и все содержимое ее выбрасывается. Жом уходит не с минимальной сахаристостью: она минимальна лишь в верхней части выгружаемого хвостового диффузора, куда непосредственно поступает вода для диффузии. Нижняя же часть хвостового диффузора совсем не приходит в соприкосновение с чистой водой и выслаживается слабым соком, поэтому она всегда содержит уже значительно больше сахара. Средняя сахаристость жома оказывается повышенной. Кроме того вместе с жомом выгружается и диффузионная вода, что еще больше увеличивает потери сахара.

Особенностью работы диффузионной батареи является также и то обстоятельство, что после выключения хвостового диффузора дается вода на предпоследний диффузор (ставший теперь уже хвостовым); эта вода поступает все время до выгрузки этого диффузора, тогда как в непрерывно-противоточном аппарате вода попадает на жом лишь в момент выгрузки его из аппарата.

Таким образом, основываясь на опытных подтверждении, мы можем принять работу диффузионной батареи довольно близкой к работе непрерывно-противоточного диффузионного аппарата для всех диффузоров до предпоследнего включительно, но для последнего диффузора необходимо сделать особый расчет процесса выщелачивания, учитывая периодичность выгрузки и особые условия выщелачивания его (промывание водой).

Такой расчет [43], например при $\gamma = 6$ и $n = 1,3$ для непрерывно действующего аппарата, показывает потери $C_1 = 0,00983$ на единицу сахара, а для обычной диффузионной батареи эти потери при тех же условиях оказались 0,0176, т. е. на 79% больше. Это увеличение потерь по сравнению с непрерывно действующим аппаратом приблизительно пропорционально величине $\frac{\theta_a}{(m-3)\theta_m}$, которую обозначим через β .

Итак:

$$\beta = \frac{\theta_a}{(m-3)\theta_m} \quad (10)$$

Здесь θ_a — температурный фактор для хвостового диффузора.

Величина β показывает, какую долю всей батареи представляет собой хвостовой диффузор. Если бы температура всех диффузоров

была одинакова ($\theta_x = \theta_m$), то $\beta = \frac{1}{m-3}$, что вполне понятно: например для батарей из 12 диффузоров, имеем активных диффузоров $12-3=9$, и доля одного диффузора составляет одну девятую от всей батареи. На самом деле температура в хвостовом диффузоре ниже средней, поэтому диффузия в нем идет медленнее, и удельный вес его, его доля в диффузионной батарее будет не одна девятая, а меньше соответственно отношению $\frac{\theta_x}{\theta_m}$. Эта поправка и введена в уравнение (10).

Поняв, что такое величина β , мы легко уясним себе, что увеличение потерь в обычной диффузионной батарее по сравнению с непрерывно действующим аппаратом должно быть пропорционально β . При бесконечном числе диффузоров ($m = \infty$) $\beta = 0$, и никакого увеличения потерь нет (аппарат стал непрерывно действующим). При 7 активных диффузорах β в два раза больше, чем при 14 активных диффузорах; и вполне понятно, что увеличение потерь (добавочная потеря) для 7 диффузоров в два раза больше, чем для 14; ведь добавочная потеря возникает вследствие неравномерности работы при выгрузке, а при малом числе диффузоров эта неравномерность больше. Пропорциональность величины β и добавочной потери была нами установлена и проверена целым рядом подсчетов.

Таким образом, можно написать:

$$X = C_1 (1 + \beta Y), \quad (11)$$

где: X — суммарная потеря сахара на диффузии; C_1 — та же потеря сахара для непрерывно-противоточного аппарата; $(1 + \beta Y)$ — поправочный множитель для вычисления X по известному C_1 . Значение β дается формулой (10). Величина же Y — некоторый множитель.

Для вышеприведенного примера мы легко можем найти этот множитель Y , зная, что для этого примера $\beta = 0,1$, $X = 0,0176$ и $C_1 = 0,00983$.

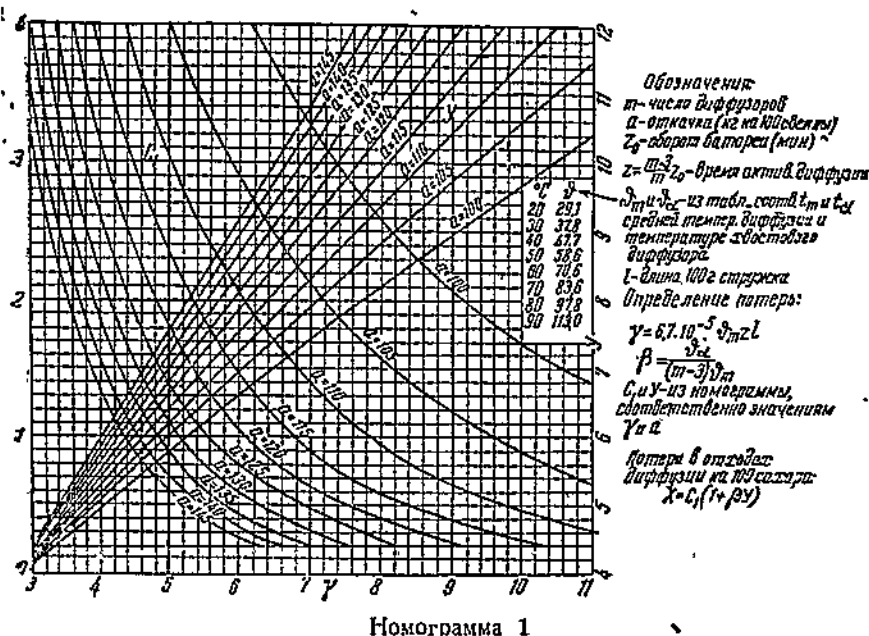
Подставляя все это в уравнение (11), найдем: $0,0176 = 0,00983 (1 + 0,1Y)$; следовательно, $Y = 7,9$.

Мы выполнили вычисление множителя Y для целого ряда примеров. Величина множителя Y зависит от γ и от n (или от откачки a), подобно тому как и C_1 было тоже функцией γ и n . Поэтому оказалось очень удобным нанести полученные значения Y на ту же (уже упомянутую ранее) номограмму 1. По абсциссе имеем величины γ , по ординате откладываем Y (значения Y отсчитываем с правой стороны, для них — особый масштаб; с левой же стороны, как указывалось выше, отсчитываются значения C_1 , соответствующие особой системе кривых). Для выражения значений Y получились едва изогнутые линии, почти прямые, выходящие лучами, веером из левого нижнего угла номограммы. Для каждой откачки

($\alpha = 100, 105, 110$ и т. д.) имеется свой луч, выражающий зависимость множителя Y от γ .

Эта номограмма позволяет обойтись без чрезвычайно длинных расчетов и очень быстро приводит к определению потерь на диффузии при любых условиях, встречающихся на практике.

* Расчет потерь на диффузии при помощи номограммы 1. Здесь имеются две системы кривых. Одна система (ряд сильно изогну-



тых кривых) позволяет находить потери C для непрерывно-противоточного диффузионного аппарата (отсчет слева); другая система кривых (почти прямые лучи) позволяет определить поправочный множитель Y (отсчет справа) для вычисления потерь обычной диффузионной батареи. Все необходимые очень несложные формулы для вычислений, обозначения и самый ход расчета даны на поле номограммы, с правой стороны ее.

Покажем на примерах, как пользоваться номограммой, причем выберем наиболее характерные примеры, чтобы убедиться, получаются ли при помощи номограммы решения, соответствующие действительности.

Пример 2. Пусть $z_0 = 60$ мин., $\alpha = 125\%$, $t_m = 60$, $t_1 = 40$, $l = 25,0$, $m = 12$.

Найдем $z = \frac{(12-3) 60}{12} = 45$ мин.; $\bar{D}_m = 70,6$; $\bar{D}_a = 47,7$.

$$\gamma = 6,7 \cdot 10^{-5} \frac{47,7}{70,6 \cdot 45 \cdot 25,0} = 5,31; \quad \beta = \frac{47,7}{70,6 \cdot 9} = 0,077.$$

По номограмме $C_1=1,16$ и $Y=7,28$.

Следовательно, потери на 100 сахара:

$$X=1,16 (1+0,077 \cdot 7,28)=1,81.$$

Потери на 100 свеклы (при 17% сахара в ней) равны:

$$\frac{1,81 \cdot 17}{100} = 0,308\%.$$

Пример 3. Стахановская работа (более быстрый оборот, наилучшая стружка, уменьшенная откачка):

$$z_0=50 \text{ мин.}, \alpha=115\%, t_m=70^\circ, t_a=40^\circ, l=30 \text{ м}, m=12.$$

$$\text{Найдем } z = \frac{9}{12} \cdot 50 = 37,5; \vartheta_m=83,6; \vartheta_a=47,7;$$

$$\gamma = 6,7 \cdot 10^{-5} \cdot 83,6 \cdot 37,5 \cdot 30 = 6,30; \quad \beta = \frac{47,7}{83,6 \cdot 9} = 0,0632.$$

По номограмме:

$$X=1,26 (1+0,0632 \cdot 7,9)=1,89, \text{ а на 100 свеклы (при 17\% сахара в ней)}$$

$$\frac{1,89 \cdot 17}{100} = 0,32\%.$$

* Влияние отдельных факторов на величину потерь сахара на диффузии. Примем пример 2 предыдущего отдела за основу и, меняя по отдельности некоторые из условий, попытаемся оценить влияние отдельных факторов на величину потерь сахара на диффузии.

Пример 4. Влияние числа диффузоров. Пусть условия будут те же, что и в примере 2, но число диффузоров не 12, а 16.

Тогда:

$$z = \frac{13}{16} \cdot 60 = 48,8 \text{ мин. (а не 45 мин.)}; \text{ поэтому } \gamma = 5,75 \text{ (а не 5,31);}$$

$$\beta = \frac{47,7}{70,6 \cdot 13} = 0,0532;$$

$$X=0,90 (1+0,0532 \cdot 7,85)=1,28\% \text{ по сахару, или } \frac{1,28 \cdot 17}{100} = 0,218\% \text{ по}$$

свекле вместо 0,308%. Так значительно влияет изменение числа диффузоров.

Однако следует заметить, что в этом примере, кроме увеличения числа диффузоров, подразумевалось увеличение поверхности нагрева калоризатора при каждом из диффузоров или увеличение температуры греющего пара, чтобы за более короткий срок ($\frac{60}{16} = 3,75$ мин. вместо $\frac{60}{12} = 5,00$ мин.) обеспечить нагрев диффузора до 60° . Если бы этого не было, то z и γ остались бы прежними; следовательно попрежнему $C_1=1,16$ (а не 0,90); лишь β стало бы меньше и потери были бы:

$$x=1,16 (1+0,053 \cdot 7,28)=1,61;$$

а по свекле:

$$\frac{1,61 \cdot 17}{100} = 0,274 \text{ вместо } 0,308,$$

т. е. снизились бы; но не столь значительно.

Пример 5. Сравним работу диффузионной батареи с работой непрерывно-противоточного аппарата при одинаковых условиях (l, t_m, ta, a) и при одинаковом времени активной диффузии z . Для непрерывно-противоточного аппарата будем иметь потерю C_1 , а для диффузионной батареи $X = C_1 (1 + \beta y)$.

В примере 2 для непрерывно действующего аппарата потеря $C_1 = 1,16\%$ по сахару или $\frac{1,16 \cdot 17}{100} = 0,197\%$ по свекле; а для соответствующей обычной диффузионной батареи $x = 1,16 \cdot 1,56 = 1,81\%$ по сахару или $0,309\%$ по свекле. Итак, для данного примера периодичность выгрузки в 1,56 раза (на 56%) повышает потери. Это является еще одним и весьма важным доводом в пользу замены диффузионных батарей непрерывно действующим аппаратом.

Пример 6. Выясним влияние откатки. Для этого также возьмем условия примера 2, но примем откатку в 120% вместо 125%. Значение γ и β остаются те же, что и в примере 2.

По номограмме: $X = 1,50 (1 + 0,077 \cdot 7,03) = 2,31\%$ по сахару или $\frac{2,31 \cdot 17}{100} = 0,393\%$ по свекле вместо $0,308\%$ примера 2.

Итак, уменьшение откатки резко повышает потери. Однако, основываясь на этом, нельзя все-таки чрезмерно повышать откатку по двум причинам: 1) потому что получаются разбавленные соки и повышается расход топлива; 2) потому что, чем больше уже повышена откатка, тем меньший эффект дает дальнейшее ее повышение. Это ясно из того, что кривые значений C_1 для высоких откаток (145, 140, 135%) расположены гораздо теснее друг около друга, чем кривые для малых откаток (100, 105, 110%). Например, если при $\gamma = 6,0$ для непрерывно-противоточного аппарата мы повысим откатку от 105 до 110%, то потери (см. номограмму. 1) уменьшатся на $4,10 - 2,90 = 1,20\%$ по сахару; но повышение откатки (при том же $\gamma = 6,0$) от 140 до 145% снизит потери лишь на $0,35 - 0,27 = 0,08\%$ по сахару, т. е. имеем выигрыш в $\frac{1,20}{0,08} = 15$ раз. меньший.

Пример 7. Изменения ϑ_m (или t_m), z и l действуют совершенно аналогично друг другу, так как они входят в виде произведения в выражение для γ (см. формулу 8). Увеличение каждой из этих величин приводит к увеличению γ и к уменьшению потерь: мы видим, что кривые C_1 на номограмме 1 с увеличением γ идут все ниже и ниже, приближаясь асимптотически к 0 (к этому же выводу придем, анализируя математическое уравнение (9), графиком которого является номограмма 1). Итак, при бесконечном увеличении оборота батарей или длины стружки или при повышении температуры потери стремятся в пределе к нулю.

Изменения ϑ_m , l и z могут заменять, компенсировать друг друга. Например, если мы уменьшим в 1,20 оборот и одновременно увеличим тоже в 1,20 раз длину стружки, мы получим прежнюю величину потерь на диффузии, так как γ не изменится.

Современная практика и идет по этому пути — сокращает оборот батарей, улучшая качество стружки.

Пример 8. Температура последнего диффузора в примере 2 была принята 40° . Понижим ее до 30° и посмотрим, как это отразится на потерях. Очевидно, при прежней максимальной температуре средняя температура на диффузии станет ниже. Головную часть батарей мы поддерживаем при прежней температуре. Всего мы имеем 9 активных диффузоров, причем первый из них имеет, например, температуру около 65° , следующие три — максимальную температуру $75-80^\circ$ и в остальных (к хвосту) 5 диффузорах температура постепенно падает. В примере 2 она снижалась до 40° , а теперь до 30° . Для 4-го от головы диффузора это снижение еще равно 0, а для 9-го оно равно $40 - 30 = 10^\circ$.

Среднее снижение для хвостовых диффузоров равняется $\frac{10}{2} = 5^\circ$.

Раскладывая это снижение на всю батарею из 9 диффузоров, найдем снижение средней температуры на диффузии:

$$\frac{6 \cdot 5 + 3 \cdot 0}{9} = 3,3^\circ.$$

Следовательно, средняя температура вместо 60° , как было в примере 4, будет теперь $60 - 3,3 = 56,7^\circ$ и $\vartheta_m = 66,6$; $\vartheta_a = 37,8$;

$$\gamma = 6,7 \cdot 10^{-5} \cdot 66,6 \cdot 25 \cdot 45 = 5,02; \quad \beta = \frac{37,8}{66,6 \cdot 9} = 0,063.$$

$$X = 1,39 (1 + 0,063 \cdot 6,9) = 2,00\%$$

по сахару или $\frac{2,00 \cdot 17}{100} = 0,340\%$ по свекле вместо прежней потери в 0,308%.

Итак, снижение температуры питательной воды на 10° повысило потери на диффузии на 0,032%, или приблизительно на 10% их величины.

Как видим из примера, влияние температуры последнего диффузора не столь велико. Поэтому так распространена (например в Чехословакии) работа на диффузии с водой всего лишь в 30° , что делается для повышения сохранности жома.

Пример 9. Как уже было сказано выше, часто придают большое значение увеличенной набивке (наполнению стружкой) диффузоров, а также вредным пространствам.

В последнее время Покорный и Вондрак выдвинули противоположное мнение, будто бы вредные пространства не только не вредны, но полезны — они ведут к уменьшению откочки и снижению потерь.

Опыты Вондрака этого не подтвердили, но лишь показали безвредность «вредных» пространств.

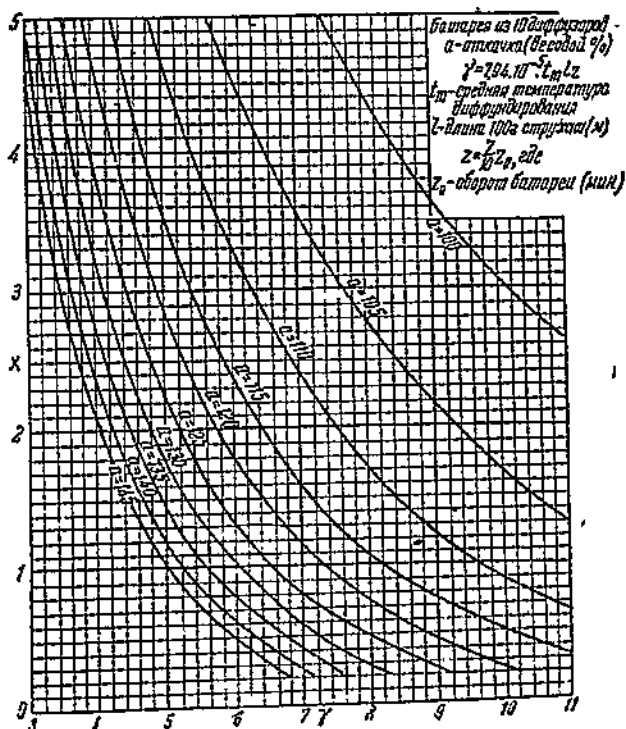
Изложенная выше теория работы диффузионной батареи позволяет учесть влияние вредных пространств и набивки. Соответствующие вычисления (43) в согласии с опытами Вондрака и с заводской практикой показывают, что набивка и вредные пространства не оказывают заметного влияния на результаты работы диффузионной батареи. Равномерность набивки, наоборот, является весьма важным фактором: при неравномерной набивке сок циркулирует по путям наименьшего сопротивления, оставляя необсахаренной стружку в местах более плотной набивки.

Пример 10. Часто практикуемый возврат на диффузию всевозможных вод, содержащих сахар (диффузионных вод, промывной), всегда приводит к увеличению потерь на диффузии, если одновременно не увеличивается откочка. Это вполне понятно, так как возврат вод снижает на равную величину количество подаваемой на хвостовой диффузор свежей воды, что, конечно, должно приводить к ухудшению обсахаривания хвостовых диффузоров или же к необходимости увеличить откочку.

Точный теоретический подсчет потерь (43) подтверждает высказанные соображения.

Упрощенные номограммы для определения потерь на диффузии. Хотя расчет потерь на диффузии при помощи номограммы 1 уже довольно прост, но его все-таки можно еще упростить и ускорить в 3, что для облегчения практического применения имеет большое значение. Такое упрощение нами достигнуто путем составления специальных номограмм для обычных батарей из 10, 11,

12, 13 и 14 диффузоров. Кроме того, мы приняли, что отношение $\frac{t_a}{t_m} = 0,6$ (таково оно для среднего, чаще встречающегося случая, а именно для случая, когда $t_a = 40^\circ$ и $t_m = 67^\circ$). Для этих условий, пользуясь номограммой 1, легко подсчитать полную потерю сахара X для любых γ и откачек a . Результаты таких подсчетов и нанесены на номограммах 2, 3, 4, 5 и 6.



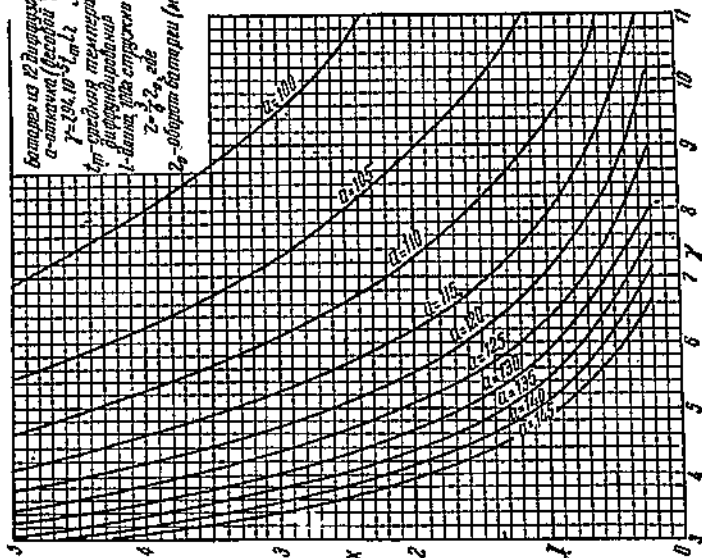
Номограмма 2

Эти номограммы позволяют очень быстро определять потери на диффузии, что ускоряется также путем применения упрощенного приближенного выражения для γ (через t_m вместо ϑ_m), приведенного в номограммах: $\gamma = 7,94 \cdot 10^{-5} \cdot t_m \cdot t_z$. По γ и a из номограмм сразу находится X , т. е. полная потеря на диффузии.

Ответы, даваемые номограммами, правильны в том случае, когда $\frac{t_a}{t_m} = 0,6$. Если это отношение больше 0,6, то на каждую лишнюю 0,1 следует полученное значение X увеличивать на 6% и наоборот, если отношение температур меньше 0,6, то соответственно уменьшать.

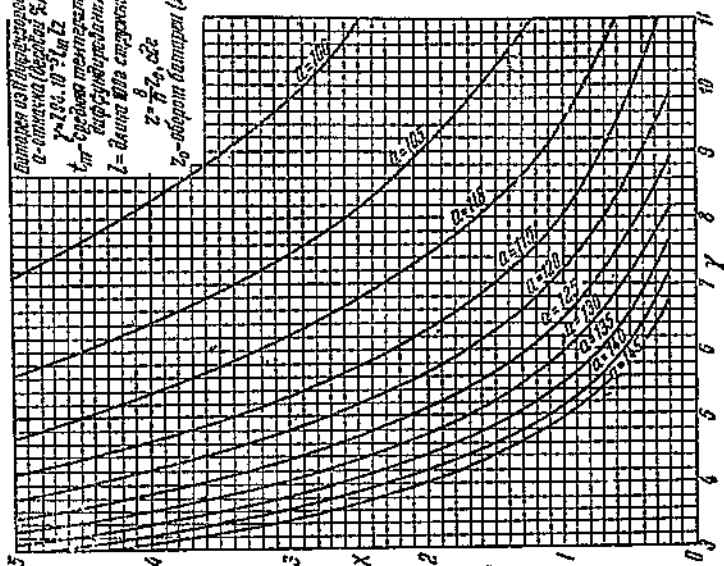
Номограммы 2—6 позволяют не только быстро определять суммарные потери сахара на диффузии (X) по заданным условиям,

Батарея из 2 диодов
 α -анатема (вектор α)
 $\gamma = 180^\circ - \alpha$
 γ - средняя температура
 γ - дифференциал
 γ - длина для структуры (м)
 $\gamma = \frac{1}{2} \gamma_0$ где
 γ_0 - обратная батарея (м)

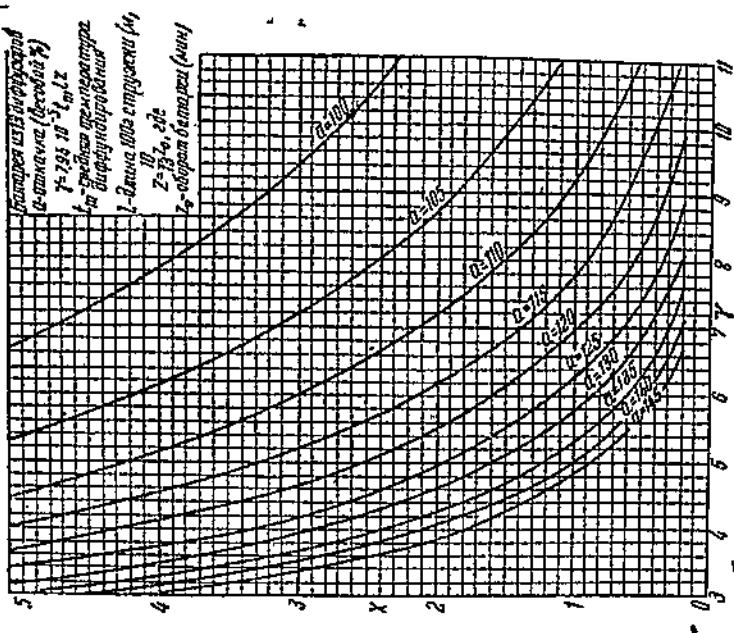
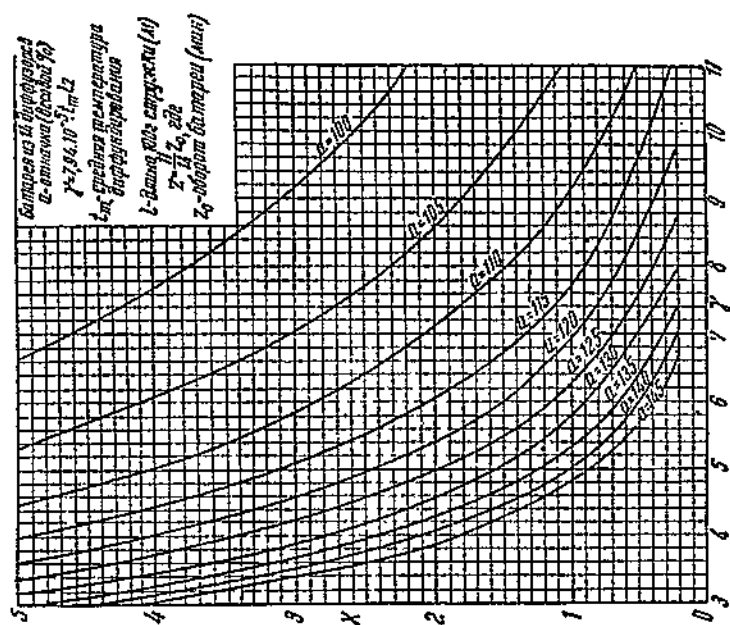


Нограмма 3

Батарея из 2 диодов
 α -анатема (вектор α)
 $\gamma = 180^\circ - \alpha$
 γ - средняя температура
 γ - дифференциал
 γ - длина для структуры (м)
 $\gamma = \frac{1}{2} \gamma_0$ где
 γ_0 - обратная батарея (м)



Нограмма 4



они дают возможность решать и обратную задачу, т. е. находить, при каких условиях будут получаться данные потери сахара на диффузии.

Например имеем батарею из 12 диффузоров; оборот батареи $z_0 = 60$ мин.; $t_m = 63^\circ$; откачка сока $\alpha = 120\%$. Спрашивается, при какой длине стружки будем иметь потери на диффузии $0,34\%$ по весу свеклы, если в свекле содержится $17,0\%$ сахара.

Потери на 100 частей сахара $X = \frac{0,34 \cdot 100}{17,0} = 2$. По номограмме 4 для $\alpha = 120$ и $X = 2$ найдем $\gamma = 5,55$. Длительность активного выщелачивания $z = \frac{3}{4} \cdot z_0 = 45$ мин. Используем формулу, приведенную на номограмме 4:

$$\gamma = 7,94 \cdot 10^{-5} \cdot t_m l z,$$

или:

$$5,55 = 7,94 \cdot 10^{-5} \cdot 63 \cdot l \cdot 45,$$

откуда $l = 24,7$ м.

* Нормирование работы диффузионной батареи при помощи теоретических расчетов. Не следует ожидать, что результаты теоретических расчетов потерь на диффузии всегда будут совпадать с той величиной их, которая получается на практике. Вычисления дают лишь результаты нормальной работы на диффузии. В расчете на нормальную, хорошую работу выбран коэффициент $A = 6,7 \cdot 10^{-5}$.

Всякие ненормальности будут уменьшать этот коэффициент диффузии и приведут к увеличению потерь.

Теория дает норму для хорошей работы. При ухудшении качества работы эта норма не будет достигнута, а при блестящей, отличной работе может оказаться перевыполненной.

Увеличенные против нормальных потери могут получаться по следующим причинам:

1. Слабый нагрев головных диффузоров. Например может оказаться, что не только первый головной, но и второй, и третий диффузоры имеют температуру ниже 60° , что уменьшает число активных диффузоров, укорачивает время диффузии и значительно повышает потери.

Пусть в примере 2 будут недогреты три диффузора вместо одного. Тогда как бы имеем батарею из 10 диффузоров вместо 12.

$z = \frac{7}{12} \cdot 60 = 35$ мин. Далее, применяя номограмму 2, найдем:

$\gamma = 7,94 \cdot 10^{-5} \cdot 60 \cdot 35 \cdot 25 = 4,17$ (вместо 5,31) и $X = 3,48\%$ по сахару или $0,59\%$ по свекле, т. е. почти в два раза больше, чем в примере 2.

2. Скачкообразная работа диффузионной батареи. Например задержки из-за подачи свеклы, всякие минутные остановки резки, мойки и т. п. нельзя считать удлинением времени оборота и ждать соответствующего уменьшения потерь, так как остановки делают процесс сильно отличающимся от оптимального непрерывного. Нужно стремиться к тому, чтобы сок в диффузионной батарее на-

ходило в непрерывном равномерном движении, без всяких остановок: за набором диффузора должна немедленно следовать откачка, за откачкой — немедленно новый набор.

3. Неравномерная набивка диффузора (плотная в середине и слабая у стенок диффузора) также ухудшает выколаживание: места с более плотной набивкой будут гораздо хуже обессахарены, так как сок будет проходить по линиям наименьшего сопротивления; общие потери на диффузии значительно возрастут.

4. Неоднородная стружка и неправильный метод определения длины 100 г ее (l) — одна из самых обычных ненормальностей в работе завода и лабораторий. Часто, определяя качество стружки, укладывают для измерения длины 100 г наряду с характерной для данной работы стружкой также и тонкие, почти волоскообразные стружки, которые следовало бы считать мезгой. Это создает совершенно неправильное представление о длине 100 г стружки: например вместо длины 25 м, можно таким путем получить длину 30—32 м. Конечно, потери на диффузии совсем не будут в этом случае соответствовать стружке в 30—32 м, они окажутся значительно больше (соответственно $l = 25$ м).

5. Неплотности вентилях или небрежное закрывание их также нарушают противоточность процесса и приводят к увеличению потерь.

6. Возврат промоя на диффузию также значительно повышает потери на диффузии.

Может иногда оказаться, что работа на заводе показывает несколько лучший результат, чем дает теоретический расчет.

Это будет свидетельствовать об особо аккуратном, четком, отличном выполнении всех операций на диффузии. Наша норма работы на диффузии, как и всякая норма, может быть перевыполнена при отличной работе.

Работа на мороженой свекле может дать лучший результат, чем мы ожидаем по норме, так как клетки мороженой свеклы уже убиты и головной диффузор уже работает, хотя температура в нем еще не достигла 60° .

Может быть, и нормальная свекла в различных районах и при разных условиях вегетации имеет несколько различную способность к отдаче сахара методом диффузии.

Наши опыты дали почти одинаковые коэффициенты: $A = 6,7 \cdot 10^{-5}$ для свеклы Ворожежа, Рамони и Ново-Покровского сахарного завода. Однако опыты ЦИНС (Западная Украина) дали $A = 7,2 \cdot 10^{-5}$, т. е. на 7% больше.

* 6. ВАРИАНТЫ В РАБОТЕ НА ДИФфуЗИИ

Теоретическое исследование работы диффузионных аппаратов указывает на ряд факторов, от которых зависят получаемые результаты. По этим факторам удобнее всего рассмотреть и многочисленные изменения, какие предлагаются для улучшения работы диффузии.

* 1) КАЧЕСТВО СТРУЖКИ

Для получения хорошей стружки особенно важное значение имеет тщательный ремонт и тщательный набор диффузионных ножей в рамы. Стахановцы сахарной промышленности, например т. Коберник, много поработали над этим вопросом и дали ряд улучшенных методов [50].

Притупившиеся и поврежденные ножи при их ремонте проходят целый ряд операций (по Кобернику).

1. Торцевание ножей имеет целью снять образовавшиеся при работе зазубрины и получить ровную, хотя еще и тупую кромку ножа. Торцевание производится на карборундовом диске (он тверже закаленной стали). Ножи подводятся к кругу при помощи суппорта Коберника, что значительно ускоряет работу (рис. 74).

Обычно ножи торцуются под прямым углом. Лишь для волокнистой свеклы рекомендуется торцевать под углом 120° (рис. 75).

2. Выравнивание ножей. Изогнутые ребра ножей выравнивают при помощи специальной стальной оправки (рис. 76).

3. Отжиг. Дальнейшие операции по точке ножей трудно выполнять, так как закаленный стальной нож слишком тверд. Поэтому его необходимо «отжечь».

Сталь в основном состоит из железа и углерода (0,5—1,0%). При высокой температуре, например $800\text{--}900^\circ$, углерод стали находится в виде твердого раствора в железе. При медленном охлаждении из такого твердого раствора выделяется в виде микроскопических чередующихся пластинок чистое железо («феррит») и карбид железа Fe_3C («цементит»). Такая смесь пластинок феррита и цементита называется в металлографии перлитом. Перлит мягок, так как содержащийся в нем феррит (мягкое железо) мягок.

Если же охлаждение нагретой стали произвести быстро, то пластинки цементита не успевают выкристаллизоваться, а образуется в форме микроскопических иголок и волокон твердый раствор цементита Fe_3C в железе, так называемый мартенсит, который чрезвычайно тверд.

Таким образом сталь можно сделать мягкой путем «отжигания» (нагрев и медленное охлаждение), причем образуется мягкий перлит. Если, наоборот, желают иметь сталь в твердом состоянии, то ее «закаляют», т. е. нагревают и затем быстро охлаждают; при этом образуется твердый мартенсит.

Закаленная сталь тверда, но очень хрупка. Поэтому ее после закаливания обычно «отпускают». Для этого ее кратковременно нагревают до температуры не столь уже высокой (около 400°) и медленно охлаждают. При этом часть мартенсита переходит в перлит; таким образом можно по желанию более или менее снизить твердость и хрупкость закаленной стали.

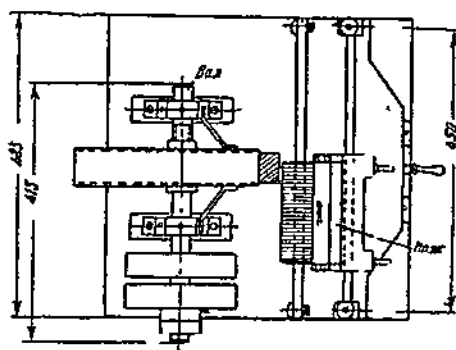
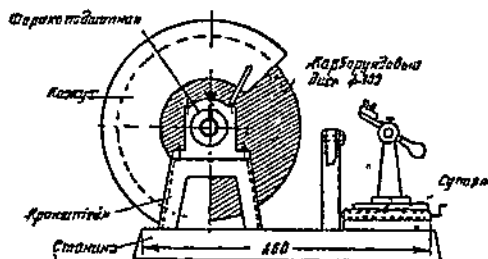


Рис. 74. Торцевальный станок Коберника

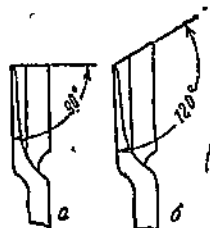


Рис. 75. Торцовка ножей под углом 90 и 120°



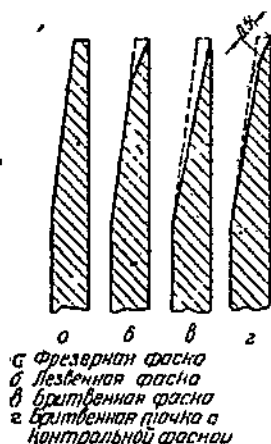
Рис. 76. Оправка для выравнивания ножей

Отжиг диффузионных ножей производят, погружая их на 5 сек. в ванну с расплавленной поваренной солью (температура плавления 776°), т. е. при температуре около 800°. Затем ножам дают медленно остыть под слоем золы («унос» паровичной). Поваренная соль применяется как регулятор температуры: пока она находится в расплавленном состоянии, — температура не ниже 776°.

С отожженных и промытых в горячей воде ножей снимают напильником окалину и заусеницы.

4. Фрезерование является уже грубой заточкой. Тов. Коберник механизировал передвижение ножа по отношению к фрезе и ускорил работу. Путем фрезерования получается плавный переход от утолщенного места лезвия к режущей кромке его. Длина полученной фрезерной фаски — 10 мм. После фрезерования все-таки режущая кромка ножа имеет еще толщину 0,5 мм (рис. 77). Острее заточивать на фрезе нельзя, так как легко совсем прорезать фрезой нож.

5. Точат ножи вручную при помощи четырехгранных напильников. Встречаются различные типы заточки ножей (см. рис. 77). Самый простой, но плохой метод заточки — это лезвенная точка ножей (см. рис. 77)). При этом способе делается довольно крутая заточка — лезвенная фаска длиной 1,5 мм. Такой круто заточенный нож слишком изгибает срезаемую стружку свеклы; получается много брака, и достаточно тонкой стружки не удается получить.



а Фрезерная фаска
б лезвенная фаска
в бритвенная фаска
г бритвенная точка с контрольной фаской

Рис. 77. Способы точки ножей.

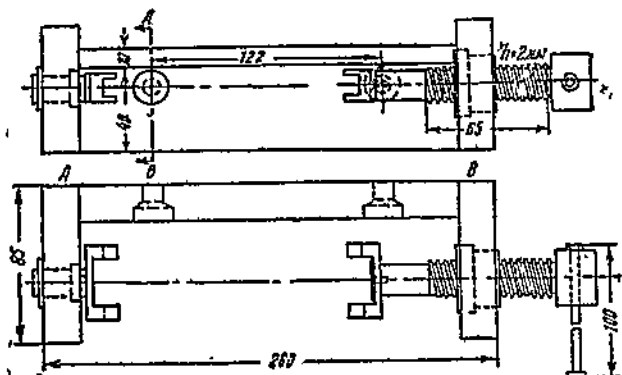


Рис. 78. Станок Коберника для точки ножей

Этот недостаток отсутствует при бритвенной заточке ножа (см. рис. 77), при которой получается у ножа весьма тонкая и очень острая режущая кромка. Такой нож вначале дает хорошую стружку, но очень быстро тупится и ломается, так как заточенный конец слишком тонкий.

Стахановский метод точки объединяет лезвенную и бритвенную точку ножа (см. рис. 77): делается лезвенная заточка; затем стачивается часть фрезерной фаски как бы для бритвенной заточки, но с таким расчетом, чтобы все-таки осталось 0,5 мм лезвенной заточки; таким образом получается бритвенная заточка с контрольной лезвенной фаской. Нож оказывается достаточно тонко заточен и дает хорошую стружку; в то же время режущая кромка ножа не так нежна, как при бритвенной точке, поэтому она притупляется медленно.

Для облегчения и ускорения точки ножей т. Коберник предложил удобный держатель для ножей в виде скобы (рис. 78), которая привинчивается к рабочему столу. Диффузионный нож вставляется в держатель и укрепляется зажимным винтом, причем он может закрепляться под любым углом наклона — как удобнее для работы.

6. Закалка ножей состоит в том, что нож погружают лезвием вниз на 5—10 мм в ванну из расплавленной поваренной соли (800°)

на 5 сек. и затем быстро охлаждают в воде, имеющей температуру 15—20°.

7. Отпуск ножей. Чтобы понизить хрупкость ножей их «отпускают», погружая лезвие на 3—8 сек. в расплавленную селитру при температуре 375—385° (натриевая селитра плавится при 318°). Затем дают ножам остыть на воздухе.

8. Набор ножей в рамы — также весьма ответственная операция, от которой зависит качество стружки. Чтобы стружка была равномерной, подъем и зазор ножей должны быть совершенно равномерны и одинаковы для всех рам. Поэтому необходимо при установке ножа пользоваться шаблонами — особыми планочками для выверки подъема и зазора.

Стахановец Коберник рекомендует следующие величины для зазоров и подъемов ножей в зависимости от качества перерабатываемой свеклы (табл. 22).

Таблица 22

Величина зазоров и подъемов ножей

Качество свеклы	Торцовка						
	Прямая				Косая		
	зазор (в мм)	подъем (в мм)			зазор (в мм)	подъем (в мм)	
		ножи 4 мм	ножи 5 мм	ножи 6 мм		ножи 5 мм	ножи 6 мм
Свежая, а также деревянистая . . .	3—5	2—2,5	2—2,5	—	3—5	2—2,5	—
Свежая засоренная . . .	4—7	—	2—2,5	—	5—10	1,5—2,5	—
Волокнистая . . .	4,5—7	—	2—2,5	—	6—10	1,5—2,5	—
Вялая . . .	2,5—5	—	2—2,5	—	4—6	1,5—2,5	—
Мерзлая . . .	4—7	2,5—3	2,5—3	—	—	—	—
Высадки . . .	6—10	—	—	2—2,5	6—10	—	2—2,5

Однако даже и при хорошей точной установке ножей по кондуктору все же получается лишь 50—55% желобчатой стружки, так как сама свекла при действии резки несколько смещается. Для устранения этого недостатка гг. Дискон и Шеванди предложили [15] на планки ножевых рам наваривать рифленные части старых ножей (рис. 79). Эта рифленая планка служит направляющей для бороздчатой поверхности частично изрезанных уже кусков свеклы. Такое простое приспособление позволяет повысить количество желобчатой стружки до 75—80%.

* 2) ОБОРОТ БАТАРЕИ

Ускорение оборота (диффузионной) батареи имеет весьма важное значение: оно дает увеличение производительности аппарата и в то

же время улучшает качество диффузионного сока (в него меньше переходит пектиновых веществ). Уменьшение оборота диффузионной батареи, конечно, требует одновременного улучшения качества стружки, так как иначе при ускоренной работе возрастут потери сахара в жоме или же придется значительно повысить откачку сока.

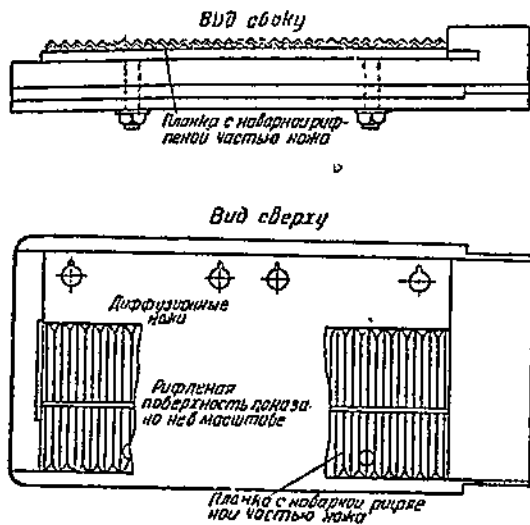


Рис. 79. Ножевая рама с рифленой наварной планкой

Часто уменьшению оборота батарей препятствует медленность циркуляции сока, работу задерживает медленный набор диффузора соком и медленная откачка. Нужно стремиться к снижению сопротивлений на пути движения сока. Сопротивление движению сока оказывают: 1) трубы, вентильные коробки и калоризаторы; 2) свекловичная стружка в диффузорах; 3) сита диффузоров и 4) пульполовушка.

Вентили и трубы должны быть такого размера, чтобы скорость сока в них не превышала 1 м/сек.

Цепи. Для снижения сопротивления стружки движению соков нашли широкое применение цепи [5]. Их подвешивают в несколько рядов на крючках. На рис. 80 дана схема подвески цепей в зависимости от размеров диффузора. При наличии цепей верхние слои стружки опираются на них и не давят на нижний слой, который меньше уплотняется, не прижимается чрезмерно к ситам и не забивает их. Сопротивление стружки и сит уменьшается, вследствие чего ускоряется набор и откачка. Кроме того и обессахаривание стружки делается более равномерным вследствие более равномерного распределения стружки в диффузоре.

При применении цепей диффузионная батарея обязательно должна быть снабжена особой промывной коммуникацией (давление воды не менее 4 атм), так как иначе будет трудно выгружать жом: много жома останется на цепях.

Кроме цепей с той же целью, т. е. для уменьшения давления стружки на сита, можно применять кольца, висящие на цепях

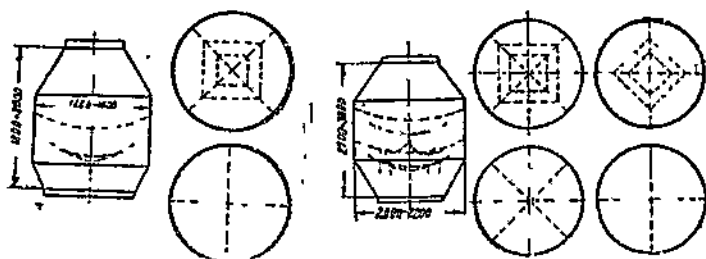


Рис. 80. Установка цепей в диффузорах

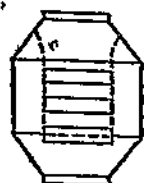


Рис. 81. Подвеска колец в диффузоре

(рис. 81). Подвешивают обычно 2—3 кольца друг под другом. Диаметр колец принимают несколько больше половины диаметра диффузора. Высота кольца — 300—400 мм.

Сита диффузоров для снижения сопротивления движению сока должны иметь такой размер, чтобы на 1 м³ объема диффузора приходился 1 м² площади сита. Это трудно достижимо для диффузоров большой емкости, так как объем растет пропорционально кубу линейных размеров, а площадь сит пропорциональна лишь квадрату линейных размеров.

Сита устраивают в нижнем конусе и над нижней крышкой диффузора. Для увеличения площади сит иногда их помещают частично и в цилиндрической части диффузора. Это не рекомендуется, так как путь сока от верхней части диффузора до цилиндрического сита меньше, чем до нижних сит; поэтому большая часть сока уходит по цилиндрическому ситу, в то время как жом над нижней крышкой остается недостаточно обессахаренным. Только для самых больших диффузоров (80—90 гл) можно допустить устройство небольшого сита в цилиндрической части на высоту не более 200—250 мм и с меньшей площадью живого сечения, чем для нижних сит.

ЦИНС рекомендует для увеличения площади сит делать над нижней крышкой не плоское сито, а снабженное ситчатыми выступами (гребнями). Таких гребней должно быть 4 или 5 (рис. 82) высотой 250 мм; площадь сита над нижней крышкой вследствие этого увеличивается в 2—3 раза (но следует заметить, что сита над нижней крышкой составляют лишь около 25% от общей площади сит диффузора).



Рис. 82. Нижнее сито диффузора с гребнями по ЦИНСу

Имеются попытки применить так называемые циркуляторы для снижения сопротивления диффузоров. Это — ситчатая закрытая труба, устанавливаемая вертикально в верхней части диффузора (рис. 83). Одновременно устраивается сито в цилиндрической части диффузора. Сок легко попадает в верхнюю часть циркулятора, а из него расходуется через стружку по коротким, сравнительно, путям в цилиндрической и нижнее сита (на рис. 83 пути сока указаны стрелками). Площадь сит значительно увеличена. Однако при работе с циркуляторами легко могут образоваться пути наименьшего сопротивления для прохождения сока, что приводит к повышению потерь сахара.

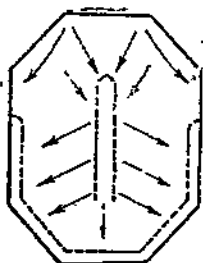


Рис. 83. Циркулятор

Пульполовухи оказывают весьма заметное сопротивление движению сока (равное сопротивлению 1—2 диффузоров). Для снижения этого сопротивления можно увеличить размеры отверстий в сите пульполовухи (до 2 и даже до 3—5 мм), но при условии, что после мерников диффузионный сок будет фильтроваться через механические фильтры. В США пульполовуху ставят после мерников; это — хорошее решение вопроса: пульполовуха выполняет свое назначение и совершенно не задерживает работу диффузии.

Непрерывная откачка сока была применена на Калининском сахарном заводе для ускорения работы на диффузии. При наборе сока в диффузор держали открытым и вентиль мерника. Таким образом одновременно выполнялись две операции — набор диффузора и откачка. Следовательно, набор диффузора не занимал особого времени, откачка велась непрерывно, причем работа заметно ускорялась; кроме того, сама непрерывность откачки являлась уже преимуществом.

Следует, однако, заметить, что при этом методе работы батарея как бы укорачивалась на один диффузор, так как откачка проводилась не с головного диффузора, а с ближайшего к головному: головной в это время лишь набирали соком. Именно лишь укорочением батареи объясняется и ускорение работы, иначе оно было бы непонятно. Струя сока, проходящего через батарею, должна «набрать» диффузор и наполнить мерник; очевидно, если бы скорость струи сока оставалась постоянной, то никакой экономии времени не получилось бы: для набора и откачки нужен определенный объем сока, который протекает через батарею в определенное время, и поэтому было бы совершенно безразлично, выполнять ли сначала набор и затем откачку или же делать обе эти операции одновременно. Ускорение работы наблюдалось лишь потому, что сок прокачивался через меньшее число диффузоров, оказывавших меньшее сопротивление. Но укорочение батареи должно было дать увеличение потерь сахара. Действительно, при такой работе получались несколько увеличенные потери.

Работа с «подбором». Для сокращения времени на набор диффузора соком можно начинать эту операцию одновременно с набивкой диффузора стружкой. Такая работа называется работой «с подбором» сока. Раньше ее считали весьма вредной, так как сок, приподнимая слегка стружку свеклы, снижает плотность набивки диффузора. Теперь, когда не придают такого большого значения плотности набивки диффузоров, работа с подбором часто практикуется, особенно при вялой, подпорченной свекле, которая легко забивает сито и задерживает откатку. Подбор предупреждает такое забивание сит.

Давление воды. Скорость турбулентного движения жидкости пропорциональна квадратному корню из напора. Раньше давление барометрической воды на диффузии обычно не превышало 1 атм (она направлялась на диффузию из сборника, расположенного на 10 м выше диффузионной батареи). За последнее десятилетие на некоторых заводах давление воды на диффузии поднято до 2—2,5 атм. Таким образом при прочих равных условиях можно ускорить набор и откатку сока в $\sqrt{2,5}=1,58$ раза. Однако, прежде чем перейти к повышенному давлению на диффузии, необходимо подсчитать, могут ли диффузоры выдержать это давление при имеющейся толщине стенок диффузоров; необходимо также принять во внимание состояние диффузоров и степень их изношенности. На герметичность вентиля и крышек диффузоров в этом случае также должно быть обращено особое внимание.

Стахановские методы дали значительное ускорение оборота диффузии (т. Есейчук). Стахановцы совершенно правильно обращают максимум внимания на равномерность работы батареи и для достижения этой равномерности поддерживают непрерывную связь с кагатным полем и бурачной. Они также строго следят за работой мойки, соломо- и камнеловушек. Конечно, диффузия — это лишь звено в общей цепи производственного процесса, и на диффузии невозможно поднять производительность, не добившись улучшения работы предыдущих станций.

Ясное понимание взаимосвязи между всеми станциями сахарного завода весьма характерно и ценно в работе стахановцев. Поэтому они улучшают не только свою работу, но ведут за собой и повышенным темпам весь завод.

Кроме того стахановцы применяют также и прочие указанные здесь методы ускорения оборота батареи. Например т. Есейчук увеличил диаметр отверстий в ситах пульполовушки до 5 мм, поднял давление воды до 2,1—2,5 атм; одновременно наблюдая за работой резки, добился длины 100 г стружки до 28—30 м.

Заполнители. Иногда случается, что завод имеет диффузионную батарею чрезмерно большой емкости. Поэтому при нормальном темпе работы прочих станций завода оборот батареи оказывается повышенным, например до 70—90 мин., потому, что она вмещает количество стружки, соответствующее 70—90 мин. работы завода.

В этом случае для ускорения оборота батареи нужно уменьшать объем диффузоров. Были сделаны попытки вставлять в диффузоры так называемые заполнители разной формы. Это оказалось слишком сложно, поэтому от них отказались. Проще и лучше в этом отношении работа с недогрузом (инж. Востоков и Лепешкин).

Работа с недогрузом состоит в том, что диффузор наполняется стружкой не до верха, а например лишь до основания верхнего конуса; таким образом полезный объем диффузора значительно уменьшается. Такой вариант работы мог возникнуть лишь после работ Покорного и Вондрака, показавших безвредность «вредных» пространств на диффузии. Работа с недогрузом оказалась особенно полезной при ненормально удлиненной форме диффузоров (повышенное отношение высоты к диаметру).

Следует заметить, что при работе с недогрузом в диффузоре получается пониженное количество стружки и значительно повышенное количество сока. Поэтому при откачке далеко не весь сок из промежутков между стружкой попадает в мерник. Часть сока, находящегося в верхнем пространстве диффузора, при откачке лишь перемещается в нижнюю часть диффузора, но не поступает в мерник. В дальнейшем при наборе следующего диффузора (снизу вверх) эта порция сока попадет в верхнюю часть диффузора и при откачке снова не выкачивается в мерник. Таким образом некоторая часть сока многократно без всякой пользы перемещается из одного диффузора в другой, являясь лишь источником инфекции (температура в головных диффузорах — самая благоприятная для развития микроорганизмов).

Во избежание такой ненормальности в работе с недогрузом следует набор соком снизу вверх проводить при открытой крышке диффузора и наблюдать, когда уровень сока дойдет до верха загруженной в диффузор стружки; тогда быстро закрывать диффузор и одновременно переключать вентили так, чтобы верхняя не заполненная стружкой часть диффузора набиралась соком уже сверху, а не снизу. При этом первая порция сока, поступившего в диффузор при наборе, попадет в мерник при последующей откачке, а не останется в диффузоре.

Стремление во что бы то ни стало иметь малый оборот батареи, хотя бы при помощи искусственных мероприятий (заполнители, недогруз), нельзя считать обоснованным. Это — бесполезное стремление к скорости работы ради лишь скорости, а не для пользы дела. Если оборот диффузионной батареи несколько повышен (например 70—75 мин.), но батарея не задерживает работы завода, то никаких особых мер к уменьшению оборота принимать не требуется. Возможность повышенного перехода пектиновых веществ в раствор легко предупредить, несколько снизив температуру максимального нагрева сока на диффузии (например, греть не до 80°, а лишь до 75°). Удлиненный оборот батарей при этих условиях даже полезен: при этом снижаются потери сахара в жоме и в то же время не требуется от рабочих слишком напряженной работы

(например загрузка нового диффузора не через каждые 4 мин., а через 5—6 мин.), т. е. удлинненный оборот представляет собой как бы механизацию работ на диффузии, облегчая физическую работу. Однако при переработке испорченной, гнилой свеклы уменьшение оборота батареи имеет огромное значение, так как в этом случае пектиновые вещества особенно легко переходят в раствор. Поэтому при гнилой свекле рекомендуется даже укорачивать батарею, выключая часть диффузоров, и держать температуру не выше 70°.

* 3) ТЕМПЕРАТУРА ДИФфуЗИИ

Обогрев хвостовых диффузоров. Теория указывает, что на полноту извлечения сахара в диффузионной батарее влияет средняя температура стружки. Эту среднюю температуру можно повысить, повышая до 60—70° температуру хвостовых диффузоров, которые при обычной работе совсем не обогреваются. В то же время можно даже снизить максимальную температуру нагрева сока (например не до 80°, а лишь до 75°). Таким образом, несмотря на повышение средней температуры на диффузии, переход пектиновых веществ в сок даже уменьшится. Диффузия сахара вследствие повышения средней температуры ускорится (например если средняя температура будет 70 вместо 60°, получится ускорение в $\frac{9_{70}}{9_{60}} = \frac{83,6}{70,6} = 1,19$ раза), и потери сахара таким образом снизятся.

Эти выводы вполне подтвердились на опыте проф. Карташова [51] и у инж. Лесселя (Первый кубанский сахарный завод): при обогреве хвостовых диффузоров наблюдалось снижение потерь на диффузии и повышение доброкачественности получаемого сока. При этом желательно также повышение температуры и барометрической воды, идущей на диффузию, например до 50—55°, что достигается путем применения форконденсатора.

В Чехословакии, наоборот, обычно на диффузию дают воду с низкой температурой (30°), считая, что жом, выгружаемый при низкой температуре, лучше сохраняется. Опыты не подтверждают этого мнения: жом, выгруженный холодным и горячим, хранится почти одинаково.

Работа диффузии с головным гревом. При обычной работе на диффузии максимальная температура достигается лишь на 3-м или 4-м диффузоре, считая от головного. В головном диффузоре имеем температуру лишь 40°. Поэтому диффундирования здесь еще нет, так как протоплазма не скоагулирована.

Имеется ряд методов, позволяющих головной диффузор быстро нагревать до максимальной температуры. Это — так называемые методы работы с головным гревом. При одном из таких методов (метод Нодэ) обычные калоризаторы совсем выбрасываются, но зато кроме соковой и водяной трубы устраиваются еще две трубы для циркуляционного прогрева любого диффузора. Одна из этих труб соединена вентилями с верхней половиной диффузоров,

а другая — с нижней. Таким образом при каждом диффузоре устраивается по два дополнительных вентиля. Обе циркуляционные трубы сообщаются друг о другом (рис. 84,а) через центробежный насос, решофер и так называемый «мерник-компенсатор», в котором всегда должно быть некоторое количество диффузионного сока.

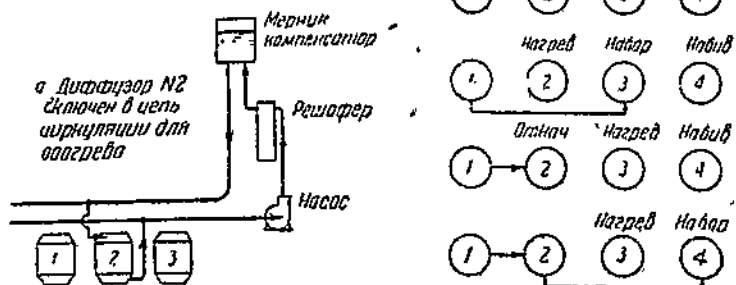


Рис. 84. Схема работы диффузии с головным гревом

Головной диффузор набирается соком, как обычно. Затем, закрывая переходные вентили перед и после этого диффузора, его выключают из сети диффузоров (соковой и водяной вентили также закрыты), но открывают вентили циркуляции (схема рис. 84,а). Под действием центробежного насоса сок снизу диффузора поступает в насос, затем в решофер, где подогревается до температуры 80—85°, потом в мерник-компенсатор и наконец обратно в диффузор (в верхнюю горловину его); нагретый сок прогревает и стружку. После того как сок проциркулирует таким образом через решофер 3—4 раза, стружка в диффузоре оказывается прогретой до 80°. Тогда диффузор выключают из циркуляционной сети, включают в цепь диффузионной батареи и производят откачку сока.

В последовательности включений диффузоров при методе Нодэ имеются некоторые особенности (рис. 84,б). Положим, что диффузор № 2 нагревается путем циркуляции, с диффузора № 1 делается откачка, № 3 набивается стружкой и № 4 выгружается (первый ряд на рис. 84,б). По окончании набивки диффузор № 3 набирается соком, но не из № 2, а из диффузора № 1; № 2 продолжает нагреваться в циркуляционной сети (2-й ряд, рис. 84,б). Затем набранный соком диффузор № 3 включают в общую цепь диффузоров (соединяют переходным вентилем с № 1) и делают откачку (3-й ряд). По окончании откачки из диффузора № 2 соединяют его с № 4) который набирают соком; № 3 в это время продолжает нагреваться (4-й ряд).

Итак, каждый головной диффузор греется в циркуляционной цепи, пока проводится откачка из предыдущего диффузора и набор соком последующего. Этого промежутка времени вполне достаточно для нагрева при надлежащей мощности насоса. Никаких других нагревов в диффузионной батарее не производится. Поэтому прочие диффузоры будут иметь температуру между 40—50° (температура барометрической воды) и 80° (температура головного диффузора).

Работа с головным превом несколько повышает производительность диффузионной батареи, так как диффузия идет и в головном диффузоре, чего нет при обычной работе на диффузии. Кроме того сок получается немного более высокой доброкачественности, потому что он содержит меньше белков вследствие коагуляции их в головном диффузоре при нагреве его; жом, наоборот, оказывается богаче белками.

В микробиологическом отношении диффузионный сок при головном преве получается значительно чище, так как при нагреве большинство микроорганизмов погибает. Отсутствие калоризаторов с их паровой коммуникацией, оттяжками газов и отводами конденсатов является значительным упрощением устройства диффузионной батареи. Зато требуется довольно сложная циркуляционная система для нагрева головного диффузора и постоянная работа центробежного насоса; также требуются рабочие более высокой квалификации для выполнения сложных переключений вентилей.

Решоферы при работе с головным превом требуются весьма значительных размеров, так как диффузионный сок получается нагретым до 80°, т. е. решофер при головном греве выполняет задачу и калоризаторов и решоферов диффузионного сока (при обычной работе расход пара на калоризаторы равняется 7 кг на 100 кг свеклы и на решоферы сырого сока — 11 кг; при головном же греве решоферы берут около 14 кг пара). При работе с головным гревом холодную предварительную дефекацию устраивать нельзя, а можно лишь горячую. В СССР при длительном производстве, именно горячая предварительная дефекация в большинстве случаев должна давать наилучший эффект.

С теплотехнической точки зрения работа с головным превом имеет существенный недостаток. Так как через решофер здесь движется сок, достигающий температуры 80—85°, то для нагрева пар должен иметь температуру 100°. Таким образом не находит себе применения пар четвертого корпуса выпарки под уменьшенным вакуумом, имеющий температуру 85° (при обычной работе на диффузии этим паром греют первую группу решоферов диффузионного сока — от 40 до 65°).

Работа без обогрева головного диффузора является прямой противоположностью работы с головным гревом. При наборе соком головного диффузора в калоризаторы, через которые проходит этот сок, совсем не пускают пара. Вследствие этого получается диффузионный сок с низкой температурой — около 20°. Соответственно снижается расход пара на диффузии (на 3—3,5 кг, т. е. почти в 2 раза). На такую же величину увеличивается расход пара на решоферы сырого сока. Но в решоферах первой группы от 20 до 40° можно нагревать сок отбросным паром (который ничего не стоит), идущим на конденсатор (пар 4-го корпуса выпарки с 0-корпусом и пар вакуумнаппаратов). Таким образом общий расход пара по заводу уменьшается на те 3—3,5 кг, которые сэкономили на диффузии.

Недостаток такой работы — низкая температура стружки в двух годовных диффузорах; следовательно, не в одном, как при обычной работе, а в двух головных диффузорах диффузии сахара происходить не будет.

* 4. ЧИСЛО ДИФFUЗОРОВ В БАТАРЕЕ

Теория диффузионной батареи указывает, что при большем числе диффузоров снижаются потери сахара на диффузии. Поэтому имеется стремление увеличивать число диффузоров в батарее; в Чехословакии например, весьма распространены батареи из 16 диффузоров. Однако при такой длинной батарее возрастает сопротивление движению сока, замедляется откачка и увеличивается оборот батареи (например до 80 мин.). Поэтому на заводах СССР не имеется ни одной батареи из 16 диффузоров.

Тем более сомнительны высказываемые иногда предложения довести число диффузоров до 20. При этом предлагается для ускорения движения сока применять вспомогательный центробежный насос, включаемый между 10-м и 11-м диффузорами, считая от головного. Это ускорит откачку, но усложнит схему работы. Кроме того при обороте например в 60 мин. на все операции с каждым из диффузоров придется лишь по $60 : 20 = 3$ мин. Получается чрезмерно напряженная работа, что должно отразиться и на ее качестве. На подавляющем большинстве заводов в СССР батареи состоят из 14 и 12 диффузоров.

Батареи в 10 диффузоров также встречаются, но они при прочих равных условиях требуют увеличенной откачки, чтобы избежать повышенных потерь сахара. Чтобы не увеличивать откачки, можно устраивать батареи и на 10 диффузоров, но несколько большего объема с увеличенным оборотом (например до 70 мин). Возможно, что такие батареи окажутся выгодными для малых заводов на 4—5 тыс. ц в 24 часа. Для таких заводов батареи из 12—14 диффузоров состояли бы из слишком маленьких диффузоров (на 20—30 гл), тогда как батарея из 10 диффузоров при обороте в 70 мин. состояла бы из диффузоров по 35—40 гл, устройство ее было бы проще и дешевле, а работа менее напряженной, что позволило бы уменьшить число рабочих (на операции с каждым диффузором приходится по 7 мин).

* 5. РАВНОМЕРНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СОКА

Содержание сахара в жоме в разных местах хвостового диффузора далеко не одинаково. Имеются места как чрезмерного, так и недостаточного обессахаривания стружки, потому что сок движется в диффузоре быстрее по линиям наименьшего сопротивления и эти места оказываются сильнее выщелоченными. В связи с этим нужно принимать все возможные меры к достижению равномерности движения сока в диффузоре.

Прежде всего нагрузка диффузора стружкой должна быть равномерной. Поэтому падающую в диффузор стружку надо разравнивать вилами, стараясь сдвигать ее к стенкам диффузора, так как стружка имеет тенденцию ложиться плотнее по оси диффузора и рыхлее у стенок и, как следствие, в центре диффузора над нижним плоским ситом обычно получается максимальное содержание сахара в жоме.

Рекомендуется также пользоваться загрузочной лопаткой (рис. 85) для равномерного распределения стружки. Это наклонный лопкообразный жолоб, который устанавливают на борт горловины диффузора. Лопатка отбрасывает стружку к стенкам диффузора, не позволяя ей чрезмерно уплотниться в средней его части. Во время загрузки диффузора лопатку постепенно поворачивают, чтобы заполнить весь диффузор равномерно, а не сыпать стружку все время к одной и той же стенке его.

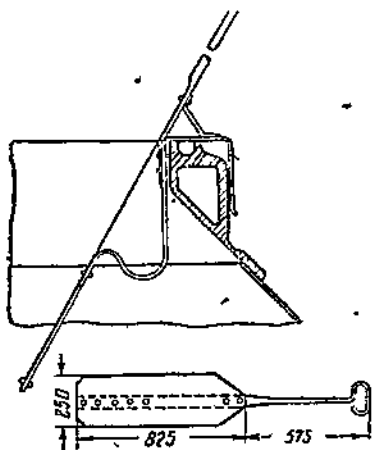


Рис. 85. Загрузочная лопатка

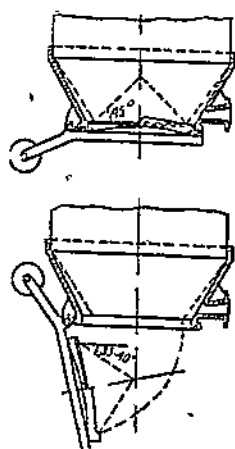


Рис. 86. Центральный отвод сока из диффузора

Цепи также способствуют равномерному распределению стружки, не позволяя ей слишком уплотниться в центральной части и на дне диффузора.

Если сок в диффузор поступает не через отверстия кольцевого канала верхней горловины, а просто через переходную трубу в одной точке, то в этой точке поступления сока и воды жом будет чрезмерно высоложен, а у противоположной стороны горловины в нем будет содержаться слишком много сахара. Поэтому наличие кольцевого канала в верхней горловине обязательно. Кроме того размеры отверстий из этого канала внутрь диффузора должны быть разной величины: там, где к кольцевому каналу присоединена переходная труба, отверстия канала должны быть меньшего размера.

Чтобы добиться более равномерного движения сока, желательно также и отвод его снизу диффузора устраивать не с одной стороны, а центрально. На рис. 86 показано устройство для центрального отвода сока (ниж. Лепешкин и Невструев). Кроме того здесь вместо плоского нижнего сита устроен ситчатый конус, что увеличивает площадь сит и способствует лучшему выщелачиванию стружки над нижним ситом, где обычно остается максимальное количество сахара.

* 6. ОТКАЧКА СОКА

Размер откачки. На свеклосахарных заводах США размер откачки часто достигает 140 и более процентов, но это приводит к увеличенному расходу топлива. Поэтому в СССР принято держать откачку в пределах 110—120%.

Контроль откачки и работы батарей. Равномерность откачки и ровный ход всей работы на диффузии имеют огромное значение. Для автоматического контроля работы батарей существует весьма простой контрольный аппарат сист. Расмуса (рис. 87). В этом аппарате имеется барабан 1 с намотанным на него

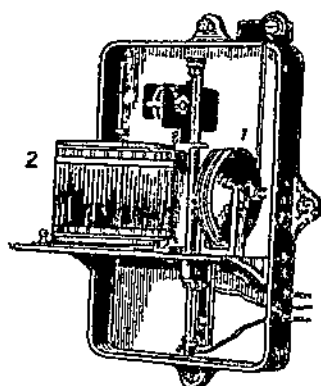


Рис. 87. Контрольный аппарат Расмуса

тонким шнурком, конец которого посредством блоков связан с поплавком мерника сока. Когда поплавок дыкнется, барабан 1 вращается. На одной оси с барабаном сидит маленькое зубчатое колесо, которое двигает вверх и вниз вертикальную зубчатую рейку. Вместе с рейкой движется перо, которое чертит линию на листке бумаги, обернутой вокруг барабана 2 с вертикальной осью. Барабан движется посредством часового механизма и за смену (8 час.) делает один оборот. Лист бумаги разделен вертикальными линиями на 8 частей (часы) и горизонтальными линиями, соответствующими различной величине откачки.

Когда мерник пуст, перо находится в низшем положении. Когда произведена откачка сока в мерник, перо поднимается на высоту, соответствующую величине откачки. Если откачка чрезмерно велика, перо поднимается выше. Таким образом легко проконтролировать, насколько равномерна была откачка, каков ее размер, много ли диффузоров выработано за смену, когда и какие были остановки. Если в течение некоторого времени перо чертило горизонтальную линию в низшем положении, это обозначает, что мерник был пуст, т. е. диффузия не работала из-за плохой подачи свеклы или из-за каких-нибудь поломок станций перед диффузией. Если перо чертило горизонтальную линию в верхнем положении, — значит, мерник был полон и некуда было его опорожнить, так как станции дефекации и сатурации не принимали сока. Если входящие линии, соответствующие откачке, шли почти вертикально, — значит, откачка шла быстро и беспрепятственно; если же эти линии наклонны, пологи, — значит, медленность откачки задерживала работу (вялая свекла, закупорка сит).

Кроме регистрации работы диффузионной батареи, контрольный прибор, включая электрические контакты, дает сигналы звонками о конце набора мерника и об опорожнении мерника (т. е. при высшем и при низшем положении пера).

Регулирование откачки по количеству подаваемой на диффузию воды. Шведские инженеры Винтцель и Вейбуль обратили внимание на то, что при определенной откачке диффузионного сока мы все-таки не знаем, сколько воды поступает при этом в хвостовой диффузор, так как в стружке всегда содержатся газы и воздух; поэтому после прекращения откачки продолжает поступать вода в хвостовой диффузор за счет сжатия содержащихся в батарее газов. Это количество воды довольно значительно — до 30% емкости диффузора, т. е. почти три четверти величины откачки. Основываясь на этих наблюдениях, Винтцель и Вейбуль предложили

регулировать откачку не путем отмеривания диффузионного сока, а при посредстве водомеров путем измерения воды, подаваемой в хвостовой диффузор. Таким образом количество диффузионного сока совсем не измеряется — мерники отсутствуют.

При этом методе работы, кроме того, откачка сока (в процентах по весу свеклы) более постоянна. При обычном методе работы откачка с каждого диффузора по величине постоянна, но величина набиваемой в них стружки колеблется; следовательно, при уменьшении набивки откачка по весу свеклы окажется увеличенной, и наоборот. При работе же по Винтцель—Вейбулю в батарею подают некоторый объем воды A ; в откачку пойдет объем сока $A - a$, где a — объем сока, затраченный на набор головного диффузора. Если набивка стружки уменьшилась на некоторый объем a , то на такой же объем a возрастет пространство в промежутках между стружкой, т. е. оно будет уже не a , а $a + a$. Следовательно, величина откачки будет: $A - a - a$, т. е. на a меньше, чем раньше.. Значит, по весу свеклы откачка останется постоянной.

Сомнительно все же, дает ли метод Винтцель—Вейбуль очень значительные преимущества. Если бы при обычной работе количество поступающей в хвостовой диффузор воды колебалось столь чрезмерно, то наблюдались бы резкие скачки содержания сахара в жоме. В действительности этого не наблюдается.

Кроме этого нового принципа регулирования откачки, Винтцель и Вейбуль разработали систему автоматизации управления водяным и соковым вентилями (кнопочное включение при помощи электричества).

Диффузионные аппараты непрерывного действия. Непрерывно действующие диффузионные аппараты дают значительно меньшие потери сахара по сравнению с объемными диффузионными батареями (см. «Теория противоточного выщелачивания»). Большим преимуществом их является автоматичность работы и вследствие этого резкое снижение расхода рабочих рук (требуется лишь один человек для наблюдения). Кроме того при работе аппарата непрерывного действия диффузионные воды отсутствуют и расход свежей воды на диффузии вдвое меньше. Поэтому аппараты такого типа привлекают все больше внимание производителей.

Впервые в практике был осуществлен (в 1906 г.) вертикальный непрерывно действующий пресс-аппарат сист. Гирош-Рака. Он состоит (рис. 88) из шести вертикальных диффузионных аппаратов, представляющих собой закрытые конические шнеки. Боковая поверхность каждого шнека внутри покрыта ситом. Стружка передвигается шнеками — в первом из них сверху вниз, во втором снизу вверх и т. д., каждый раз отжимаясь от сока. Перед последним отжиманием стружка смешивается с водой; получаемый при этом жидкий сок из-под боковых сит идет в смеситель перед вторым от конца диффузором; сок, отжатый во втором диффузоре, идет в смеситель перед третьим с конца диффузором и т. д. Головной диффузор, куда подается свежая стружка, служит для ее

прогревания путем циркуляции сока при помощи насоса через решофер.

В настоящее время прессаппараты сист. Гирош-Рака не применяются, так как они слишком сложны, имеют чрезмерное количество движущихся частей, подверженных поломкам, и требуют большого расхода энергии.

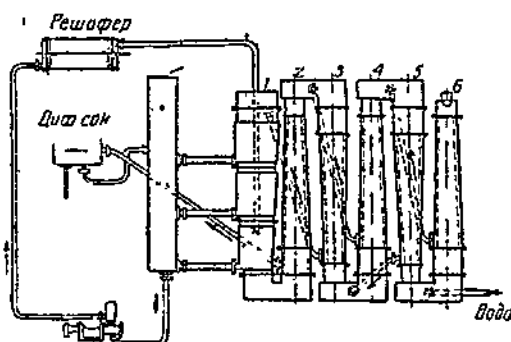


Рис. 88. Диффузия Гирош-Рака

В 1913 г. появился непрерывно действующий аппарат сист. инж. Раабе «Рапид», в котором сок не отжимается. Аппарат представляет собой длинное корыто (26 м), поставленное несколько наклонно и разделенное поперечными перегородками на 24 камеры. Вдоль всего корыта проходит вращающийся вал с кулаками и лопатками. Стружка поступает в нижнюю камеру и постепенно передвигается вдоль корыта к верхнему концу, причем лопатки вала перебрасывают стружку через стенки из камеры в камеру. В верхнюю камеру подается вода, которая самотеком вследствие уклона корыта переходит из камеры в камеру навстречу движущейся стружке. Все камеры во время работы заполнены смесью сока и стружки. Из нижней камеры уходит готовый диффузионный сок.

Для достаточного обессахаривания стружки данный аппарат требует довольно высокой откачки сока (125%); кроме того вал длиной 26 м с многочисленными лопастями подвержен поломкам. Поэтому и этот тип аппарата не привился в практике.

В настоящее время лучшими диффузионными аппаратами непрерывного действия являются аппараты барабанного типа. Такой аппарат сист. Берже работает с 1930 г. на заводе Тирлемон (Бельгия).

Аппарат сист. Берже представляет собой вращающийся горизонтальный барабан длиной 16 м и диаметром 3,2 м. Барабан имеет два банджа, которыми он опирается на ролики и на них вращается. Внутри барабан разделен витками спиральной ленты на 40 отделений (рис. 89). Вода подается с одного конца барабана и при вращении его передвигается от витка к витку до другого конца (архимедов винт).

Для продвижения стружки навстречу воде Берже дал весьма остроумную конструкцию. Барабан по всей длине разделен пополам диаметральной решетчатой перегородкой (рис. 90). Средняя часть перегородки сплошная и снабжена наклонными направляющими плоскостями (ребрами). При вращении барабана решетчатая перегородка поднимает стружку кверху, причем вода (сок) от нее оттеживает. При дальнейшем движении перегородки кверху, стружка начинает катиться по этой перегородке вниз, попадает на на-

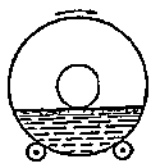
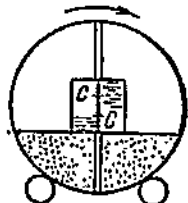
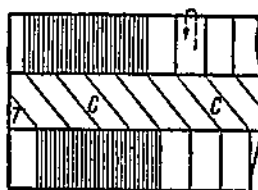


Рис. 89. Схема движения воды в диффузионном аппарате Берже



→ Стружка
← Сок

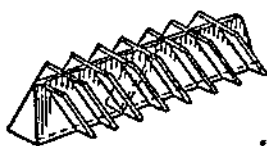


Рис. 90. Схема движения стружки в диффузионном аппарате Берже

клонные направляющие плоскости и отбрасывается в соседнее отделение барабана как раз навстречу движению сока. Таким образом стружка перебрасывается из отделения в отделение и наконец выбрасывается из аппарата в виде жома.

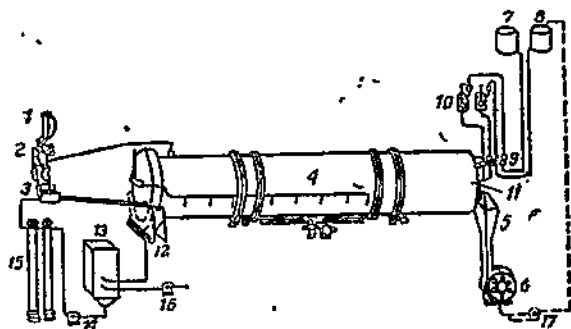


Рис. 91. Общий вид диффузионного аппарата Берже

Общий вид аппарата сист. Берже изображен на рис. 91. Стружка через воронку 1, автоматические весы 2 и желоб 3 поступает в барабан 4. Весы опрокидываются при определенном положении барабана, причем каждое отделение затружается стружкой в количестве 480 кг (точно). В барабан стружка сплавляется по желобу ошпаривающим ее нагретым диффузионным соком. Жом через воронку 5 идет в жомовый пресс 6. Холодная и горячая вода из

сборников 7 и 8 через мерники 10 и краны 9 поступает в барабан. При определенном положении барабана в его последнее отделение отмеривается точная порция воды. Диффузионный сок трубопроводом 12 отводится в сосуд 13, который имеет два отделения. Из одного сок насосом 14 через решоферы 15 подается в жолоб 3 для обваривания стружки; из второго отделения сосуда 13 сок выкачивается на завод при помощи насоса 16.

Таким образом вся работа аппарата сист. Берже механизирована и весьма точна. Стружка и вода подаются отмеренными порциями. Большим преимуществом этого аппарата является многократное отцеживание стружки от сока и осуществляемый строгий противоток. Берже опытами установил, что главный недостаток обычной диффузионной батареи — это смешение соков различной концентрации при движении их через неравномерно уплотненную стружку. Этот недостаток в аппарате сист. Берже совершенно отсутствует, что дает наилучшие результаты обессахаривания стружки.

Барабан аппарата сист. Берже делает от 26 до 40 оборотов в час, причем длительность диффузирования устанавливается от 60 до 92 мин. Производительность барабана — 3600 ц свеклы в сутки.

При низкой откачке (102—103%) в диффузионном аппарате сист. Берже в жоме терялось сахара лишь 0,20—0,25%.

Недостатки аппарата сист. Берже заключаются в его громоздкости и малой производительности. Эти недостатки — следствие слабой заполненности аппарата стружкой; степень его заполнения — не более одной трети.

Имеется целый ряд и наших отечественных конструкций барабанных диффузионных аппаратов (например тт. Карагузова, Мандрыко, Саливонковского завода, т. Гузенко).

Широкое распространение в разнообразных отраслях промышленности получил диффузионный аппарат сист. Гузенко (в витаминной, дубильно-экстракционной промышленности). В сахарной промышленности аппараты сист. Гузенко будут ставиться на малых заводах первичной переработки свеклы по Фремелю [28].

Аппарат представляет собою вращающийся барабан, разделенный внутри тридцатью поперечными перегородками на секции. Каждая перегородка имеет три симметрично расположенных овальных выреза (окна), около которых устроены ситчатые карманы-ковши (рис. 91а). При вращении барабана стружка свеклы в ковшах поднимается, причем сок от нее отцеживается, затем стружка из ковша падает через окно в соседнюю секцию; сок движется навстречу стружке самотеком через те же овальные окна.

Таким образом осуществляется противоточное движение стружки и сока.

Для предварительного нагрева стружки над диффузионным барабаном ставится барабан такого же диаметра и устройства, но вдвое меньшей длины. В этот барабан с одного конца поступает

свежая стружка, а с другого конца — нагретый до температуры 85° диффузионный сок. При противоточном движении сок отдает свою

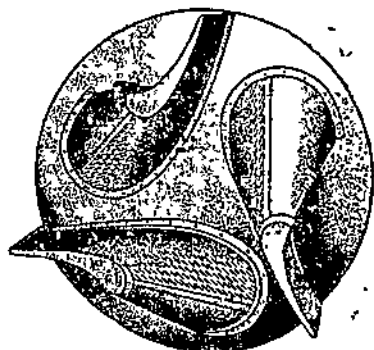


Рис. 91-а,

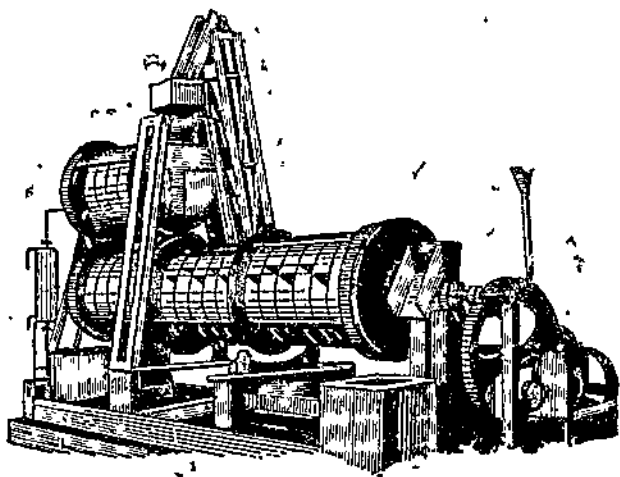


Рис. 91-б

теплоту, а стружка нагревается. Вся установка аппарата сист. Гузенко (но со снятой боковой поверхностью барабанов) показана на рис. 91б.

* 7. НЕНОРМАЛЬНОСТИ В РАБОТЕ ДИФфуЗИИ

Причины целого ряда ненормальностей, наблюдающихся иногда в работе диффузионной батареи, и меры к устранению этих ненормальностей в большинстве случаев ясны после изложенной теории и вариантов работы диффузии. В настоящей главе дается лишь систематизация возможных аномалий работы и напоминание о мероприятиях для борьбы с ними [16 и 19]

1. ЗАМЕДЛЕННЫЙ НАБОР И ОТКАЧКА СОКА

Причинами замедленного набора и откачки сока могут быть следующие факторы:

а) Плохая стружка из вялой свеклы, легко забивающая сита; меры: применение цепей, колец, работа с подбором.

б) Забиты сита пульполовущки или сита диффузоров; меры: частая чистка сит, тщательное промывание диффузоров.

в) Перегревы на диффузии, причем вследствие набухания пектиновых веществ получается мягкая разваренная стружка, забивающая сита. Нужно помнить, что при здоровой свекле не следует нагревать сок на диффузии выше 80—82°, а для подмороженной или гнилой свеклы этот максимум должен быть значительно ниже (например 70°). Если температурный режим выбран правильно, все же возможны перегревы по небрежности в работе вследствие неправильных показаний термометров (их необходимо тщательно проверять), а также вследствие неплотностей паровых вентилях у calorizаторов.

г) Плохое удаление воздуха, который, оставаясь в промежутках между стружкой, задерживает движение сока. Поэтому при наборе диффузора соком следует подставлять ведро под воздушный кран и закрывать этот кран не после первого появления сока из него, а лишь по наполнении ведерка (сок из ведерка выливается в соседний загружаемый диффузор).

д) Образование газов вследствие развития микроорганизмов. Признаком скопления газов является резкое отбрасывание нижней крышки при выгрузке диффузора. В газах содержатся водород и метан, поэтому при соприкосновении с воздухом они могут давать взрывы. Микроорганизмы развиваются при медленной работе на диффузии и при порченной плохо вымытой свекле. Меры: быстрая работа, хорошо вымытая свекла; периодическое добавление к воде, идущей на диффузию, 0,043% гидросульфата натрия для дезинфекции (Менцадрол), или сульфатация этой воды до $pH = 5,5$, или периодическое обмывание стенок диффузоров раствором формалина (1—2%).

е) Чисто механические препятствия движению сока: мало пространство под ситами (должно быть не менее 70 мм), мало живое сечение сит, мал диаметр коммуникации.

Следует обращать большое внимание на полное открытие всевозможных вентилях на диффузии (переходных, водяных, соковых, вентилях у мерника); при небрежном открытии — лишь наполовину — часто создаются излишние сопротивления движению сока. Набор диффузора иногда задерживается вследствие засорения воздушного крана. Иногда медленность оборота батареи зависит от слабого давления подаваемой на диффузию барометрической воды.

2. ВЕЛИКИ ПОТЕРИ САХАРА В ЖОМЕ, И ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ ПРИХОДИТСЯ СИЛЬНО ПОВЫШАТЬ ОТКАЧКУ СОКА

Причинами могут быть:

- а) Плохая стружка.
- б) Неравномерная набивка диффузоров.
- в) Плохой нагрев сока на диффузии. Это может происходить вследствие следующих причин: плохого удаления конденсата или аммиачных газов; недостатка греющего пара; низкой температуры барометрической воды; очень низкой температуры свеклы. Если поверхность нагрева калоризаторов мала, то иногда лишь на третьем или четвертом диффузоре от головного удаётся поднять температуру выше 60°, т. е. уже не в одном головном диффузоре, а в двух или в трех процесс диффузии будет отсутствовать, так как протоплазма в них ещё не свернулась. Таким образом число активных диффузоров будет значительно уменьшено.
- г) Водяные вентили неплотно закрываются и пропускают воду, вследствие чего сок разбавляется, а в хвостовой диффузор поступает меньше воды, что снижает выщелачивание жома.
- д) Быстрый оборот батарей при недостаточной тонкой для этого стружке.

3. ДИФфуЗИОННЫЙ СОК ПЛОХОГО КАЧЕСТВА

Причины:

- а) Высокая температура.
- б) Медленная работа на диффузии (и то и другое вызывает накопление в соке пектиновых веществ).
- в) Плохая стружка дает много пудры, которую трудно отделить.
- г) Остановки в работе диффузии весьма вредны: они приводят как к накоплению пектиновых веществ в соке, так и особенно к развитию инфекции и закисанию сока. По возможности, и при остановках нужно все же осуществлять движение соков.

Если остановка произошла из-за перебора на какой-нибудь станции до диффузии, то во время перероста продолжают производить откачки сока через 10—15 мин. При затяжной остановке (на 6—8 час.) следует совершенно освободить (высолодить) батарею.

Если остановилась работа по откачке жома и его некуда выгружать, то все же следует продолжать откачку сока, не выгружая хвостовых диффузоров.

Если остановка вызвана станциями, стоящими после диффузии, которые перестали принимать сок, то следует немедленно закрывать все паровые вентили калоризаторов, чтобы не перегреть сок.

4. ВЕЛИКИ НЕУЧТЕННЫЕ ПОТЕРИ САХАРА НА ДИФфуЗИИ

Лаборатория учитывает для станции диффузии обычные нормальные потери сахара в жоме и диффузионной воде. Но могут быть сверх того неучтенные лабораторией потери. Сумму их можно определить, если точно измерить количество диффузионного сока (имеются мерники с точной автоматической регистрацией прошедшего через них сока). Количество сахара, поступившего со свеклой на завод, должно было бы равняться сумме количеств сахара в диффузионном соке, в жоме и в диффузионной воде. На самом деле эта сумма несколько меньше. Это расхождение (разница) и является неучтенной потерей сахара на диффузии.

Неучтенные потери сахара на диффузии при нормальной работе близки к нулю (не больше 0,05%). Но они могут иногда значительно возрастать по следующим причинам:

- а) Микроорганизмы и брожение. При этом обычно наблюдается и выделение газов, о чем уже упоминалось. Меры против развития микроорганизмов: более быстрая работа при повышенной температуре, хорошая работа мойки, дезинфекция.

Не все потери сахара под влиянием микроорганизмов можно обнаружить, так как сахар может превращаться в праворащающие продукты брожения (например лейконосток—«лягушечья икра» — дает декстран с «вращательной способностью» 200, т. е. в 3 раза больше, чем у сахарозы).

б) Инверсия сахарозы на диффузии при pH диффузионного сока 5,5—6 обычно исчезающе мала. Но она может сделаться весьма заметной при переработке порченной свеклы, если сок ее имеет повышенную кислотность (pH = 5 или меньше), также при переработке сушеной стружки (она кисла, так как поглощает во время высушивания сернистый ангидрид из дымовых газов).

Иногда рекомендуют нейтрализовать кислотность свекловичной стружки путем добавления в головной диффузор небольшого количества известкового молока. Нужно, однако, помнить, что это весьма опасное средство: при малейшем избытке известия (или при избытке ее в некоторых местах диффузора) легко под влиянием щелочной реакции перевести в раствор пектиновые вещества стружки.

При переработке мороженой свеклы диффузионный сок всегда содержит инвертный сахар, так как он образуется под влиянием инвертазы клетки, убитой морозом. Для уменьшения инверсии сахарозы в этом случае нужно следить, чтобы свекла не оттаивала в гидравлическом транспортере и в мойке; нагрев на диффузии должен проводиться возможно быстрее, чтобы скорее убить инвертазу путем повышения температуры. Поэтому для заводов Алтайского и Минусинского краев, которые обычно работают на мерзлой свекле, следует рекомендовать диффузионные батареи с головным гревом.

в) Утечка сока через вентиля и крышки диффузора. Нужно следить, не пропускается ли сок через затвор нижней крышки диффузора. Это случается или потому, что диффузор при выгрузке плохо промыт и оставшийся в затворе крышки жом не позволяет ее плотно закрыть, или же потому, что испортилась уплотняющая книжка сисг. Дауценберга. В последнем случае ее необходимо немедленно сменить. Заметить подтекание нижней крышки весьма нетрудно.

Еще легче заметить течь в верхней крышке вследствие небрежного закрытия ее (перед закрытием нужно тщательно очищать верхний край диффузора от свекловичной стружки).

Возможна утечка сока через неплотно закрытый нижний спускной вентиль диффузора.

Иногда протекает неплотно закрывающийся соковой вентиль и сок теряется во время выгрузки диффузора. Поэтому следует наблюдать, не набирается ли сок в диффузор после разгрузки его и закрытия нижней крышки. Если такое явление обнаружено (и если при этом не протекает водяной вентиль, т. е. нет поступления жидкости через окна верхней горловины диффузора), то нужно сменить прокладку сокового вентиля.

г) Течь трубок калоризатора. Пар, обогревающий калоризаторы, обычно имеет лишь атмосферное давление, тогда как в трубках калоризатора давления сока доходит до 2 атм. Поэтому при износившихся трубках калоризатора сок понадеет в паровое пространство и уходит вместе с аммиачной водой (конденсатом пара). Необходимо контролировать, не содержится ли сахар в аммиачной воде диффузионной батареи. Если сахар в ней оказался, нужно установить, который из калоризаторов дает течь. Для этого берут пробы из трубок аммиачной воды отдельных калоризаторов (из краников на обратных вентилях этих трубок под калоризаторами). Определив испорченный калоризатор, выключают его (вместе с диффузором) из батареи и ремонтируют. Быстрым примитивным ремонтом является заглушка дающей течь трубки калоризатора.

Исправность трубок калоризатора можно проверить (грубая проба) и иначе. Когда предшествующий калоризатору диффузор находится вне цеха, заполнен стружкой, и у него закрыта верхняя крышка (но сок не набирается), открывают полностью вентиль газовой оттяжки калоризатора и его воздушный кран и подносят к крану горящую свечу. Если в калоризаторе имеются трубки с течью, то пламя свечи будет затягиваться в воздушный кран.

Путем такой же пробы легко найти, какая именно из трубок калоризатора протекает. Для этого снимают верхнюю крышку калоризатора, причем открывается доступ к верхним концам всех трубок. При полностью открытой газовой оттяжке приближают свечу к отверстию каждой трубки и находят, в которую из них будет втягиваться пламя.

5. ВЫКЛЮЧЕНИЕ ДИФFUЗОРА ДЛЯ РЕМОНТА

Иногда приходится выключать отдельные диффузоры и калоризаторы из общей цепи батарей для того, чтобы их отремонтировать (сменить кишку сист. Дауценберга, сменить трубки в калоризаторе и т. п.). Для выключения (обхода) диффузора пользуются обходными резиновыми рукавами. Эти рукава с обоих концов снабжены штуцерами с шайбами.

Установка рукава для обхода диффузора № 2 показана на рис. 92: отняты нижние переходные трубы диффузоров № 1 и № 2 (т. е. трубы, соединяющие нижнюю часть этих диффузоров со следующими за ними калоризаторами; на рис. 92 отнятые трубы изображены пунктиром); нижний штуцер диффузора № 1 гибким рукавом соединен с нижним штуцером калоризатора № 2. Таким образом оказываются обойденными калоризатор № 1 и диффузор № 2: сок из диффузора № 1 поступает в калоризатор № 2.

Можно поставить обходную трубу и в верхней части диффузионной батареи. Такой трубой соединяют [15] верхний штуцер калоризатора, стоящего перед выключенным диффузором, со штуцером вентиляционной группы, стоящей после выключаемого диффузора (предложение т. Жадан).

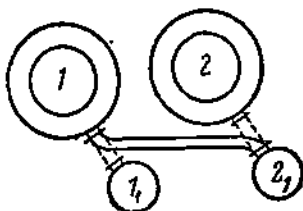


Рис. 92. Обходной рукав для выключения диффузора

IV. ОЧИСТКА ДИФфуЗИОННОГО СОКА

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ ОЧИСТКЕ СОКА

Необходимость очистки сока. Диффузионный сок имеет ряд таких свойств, которые затрудняют получение из него сахара путем непосредственного выпаривания и кристаллизации без предварительной очистки.

1. Диффузионный сок содержит взвешенные тонкие частицы, и кроме того, при нагреве к нему присоединяются хлопья скоагулировавшихся белков; все эти частицы необходимо удалить, чтобы они не примешались к кристаллам сахара.

2. Отфильтровывать взвешенные частицы очень трудно, так как они заклеивают фильтр; кроме того, получить чистый, не опалесцирующий фильтрат вообще не удается.

3. Диффузионный сок имеет кислую реакцию (кислотность около 0,04% СаО и $\text{pH} = 5,5-6,5$), и при непосредственном выпаривании его сахара инвертируется. Необходима нейтрализация. Для нейтрализации следует применять дешевое основание, т. е. известь. При этом выпадают осадки.

4. Диффузионный сок имеет темную окраску, которая при непосредственной переработке сока на сахар передалась бы и кристаллам сахара.

5. Выпаривание сока затруднительно, так как он обладает способностью сильно пениться.

6. Сок содержит в растворе значительное количество несахаров; эти несахара увеличивают выход патоки и потери сахара в ней. Некоторые из несахаров вызывают особые затруднения, так как они поверхностно активны и при кристаллизации адсорбируются на поверхности кристаллов сахара, мешая кристаллизации и ухудшая качество продукта. В соке содержится много гидрофильных коллоидов, которые при выпаривании дают очень вязкие растворы, также мешая кристаллизации.

Цель очистки диффузионного сока состоит, следовательно, в том, чтобы: 1) освободить его от взвешенных частиц, 2) нейтрализовать и 3) удалить возможно больше несахаров из раствора, особенно же поверхностно активные несахара и коллоиды.

Методы очистки сока. Так как диффузионный сок представляет собой весьма сложную смесь целого ряда веществ с разнообразными свойствами, то и методов для удаления этих веществ может быть весьма много. Учет различных веществ, предлагавшихся для очистки диффузионного сока, произвел еще в 1902 г. Липман, и уже тогда число таких веществ оказалось более 600.

В производственной практике прививаются, конечно, лишь наиболее дешевые способы, дающие в то же время наибольший и по возможности универсальный эффект: нужно при небольшом числе простых производственных операций воздействовать на возможно большее число разнообразных несахаров диффузионного сока.

В настоящее время после отбора из сотен предложений общепринятым методом оказался метод обработки сока известью с последующим удалением избытка извести углекислым газом, т. е. обычная дефекация и сатурация. При этом сатурация производится обычно в два приёма: после I сатурации остается еще некоторое количество извести в растворе (щелочность 0,06—0,07% CaO) и после II сатурации снижается щелочность до оптимального низшего предела.

Очистка при помощи извести может производиться весьма разнообразно: 1) дефековать на холоду или при нагревании; 2) сатурировать на холоду или при нагревании; 3) работать с сухой известью или с известковым молоком; 4) варьировать количество извести; 5) изменять продолжительность операций; 6) изменять последовательность и число операций (многократная дефекация, III сатурация) и т. д.

Метод рассмотрения всех этих сложных вопросов примем следующий: прежде всего рассмотрим основные необходимые операции очистки, применяемые всюду; и выясним с физико-химической стороны происходящие при этих операциях процессы; затем уже с точки зрения определенной физико-химической теории сделаем обзор, сопоставление и оценку ряда разнообразных вариаций в работе, предлагаемых целым рядом изобретателей и исследователей, но встречающихся далеко не на каждом заводе.

Иначе говоря, сначала изучим наипростейшую схему очистки сока и затем рассмотрим возможные ее усложнения.

Обычный метод очистки сока. Элементы простейшей схемы очистки сока таковы: 1) нагрев диффузионного сока до температуры 85—90°; 2) дефекация, т. е. обработка 2—3% извести по весу свеклы (в виде известкового молока); 3) I сатурация, т. е. обработка углекислым газом до щелочности 0,07—0,06% CaO; 4) фильтрация на фильтрпрессах; 5) II сатурация углекислотой до низкой (оптимальной) щелочности; 6) фильтрация.

В основном это: 1) дефекация, 2) I сатурация, 3) II сатурация. Каждая из этих операций имеет точно определенную основную целевую установку.

Дефекация имеет целью очистку диффузионного сока посредством коагуляции известью белков и красящих веществ и осаждения ряда анионов, дающих нерастворимые соли с ионом кальция извести (анионы щавелевой, фосфорной и ряда других кислот); кроме того на дефекации идет ряд реакций разложения нес сахаров (амидов, инвертного сахара, пектиновых веществ).

Сатурация I дополнительно очищает сок путем адсорбции растворимых нес сахаров и особенно красящих веществ на поверхности частиц мелкого осадка CaCO_3 , который получается при пропускании углекислого газа через дефекованный сок, содержащий избыток извести; именно для получения на сатурации значительного количества CaCO_3 прибавляют к соку на дефекации почти в 10 раз больше извести, чем требуется для реакций осаждения и коагуляции нес сахаров. На I сатурации не всей извести дают превращаться в CaCO_3 , но оставляют 0,06—0,07% свободной извести. Это делается потому, что в соке I сатурации еще находятся в виде суспензии и все нес сахара, осажденные известью на дефекации; если удалить полностью известь из раствора, то эти осадки в отсутствии избытка осаждающего реактива (извести) вновь частично перейдут в раствор и ухудшат качество сока.

Сатурация II имеет целью возможно полнее удалить известь и вообще ион кальция в виде CaCO_3 ; это делается возможным, так как все осадки после I сатурации отфильтровываются, и, следовательно, нет опасности перевести их в раствор, удаляя всю свободную известь.

Кроме дефекации и двух сатураций за последние 10—15 лет широко распространилась на сахарных заводах еще так называемая предварительная дефекация. Она состоит в том, что перед главной обычной дефекацией предварительно задают в сок небольшую часть извести (0,25—0,30% по весу свеклы). Обнаружено на опыте, что при малых количествах извести осадок нес сахаров получается более плотный, легче фильтрующийся и более полный. При большом избытке извести, задаваемой без предварительной дефекации, получается менее совершенная очистка сока и затрудняется фильтрация.

Обзор развития методов очистки сока. Маргграф, открывший сахарозу в свекле, несомненно, имел уже очищенный сок, из которого у него при выпаривании кристаллизовалась сахароза. Он применял высушенную и измельченную свеклу, из которой извлекал сахар спиртом и выпаривал спиртовый вытяжку до кристаллизации сахара. При высушивании свертывались белки свеклы и убивалась оксидаза; следовательно, спиртовая вытяжка не содержала ни белков, ни черных красящих веществ; в спирте не могли также раствориться пектиновые вещества свеклы. Получался довольно чистый, почти бесцветный раствор сахарозы.

Ашар, отказавшись от высушивания, стал извлекать сок прессованием истертой свеклы, но сок получался черного цвета. Для его очистки Ашар стал применять серную кислоту. В подкисленном соке белки коагулируют вместе с черными красящими веществами — сок получается слабо окрашенный. Серную кислоту затем удаляли при помощи мела или при помощи извести и мела (осадок CaSO_4), как в крахмало-паточном производстве. Избытка извести

Ашар опасался — и не без основания, так как серная кислота частично инвертировала сахарозу, и избыток извести мог осмолить инвертный сахар, окрашивая раствор в бурый цвет.

В 1811 г. Деронь (также и Лампаднус) совершенно отказались от серной кислоты и стали очищать сок свеклы путем добавления к нему 0,2% извести и доведения до кипения (при этом снималась грязная пена); затем жидкости давали отстояться и декантировали с осадка. Одновременно начали применять и животный уголь для обесцвечивания сиропов свеклы (животный уголь в качестве отбросов получался при производстве берлинской лазури).

Около 1820 г. Домбаль применяет тот же способ, но указывает, что из животных углей лучше всего обесцвечивает костяной уголь. Серная кислота применяется лишь для нейтрализации извести, если она была прибавлена в излишнем количестве.

В 1840 г. Шаттен и Михаэлис начали пользоваться углекислотой для удаления избытка извести.

Наконец в 1863 г. появился метод Елинека-Фрея дефекосатурации с применением большого избытка извести и превращением ее на сатурации в CaCO_3 .

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПЕРЕД ОЧИСТКОЙ СОКА

Фильтрация диффузионного сока. Пульпа, увлеченная соком сквозь грубые сита диффузоров (отверстия 8×8 мм), задерживается в пульполовушке. Но отверстия сит пульполовушки довольно велики (2 мм), вследствие чего некоторое количество пульпы проходит и через них. Между тем, как уже указывалось, пульпа весьма вредна: сухие вещества мякоти свеклы наполовину состоят из пектиновых веществ, легко переходящих в раствор в щелочной среде. Поэтому на заводах ставят после мерников механические фильтры для диффузионного сока, в которых сок профильтровывается сквозь мешечную ткань (применяемую для сахара). Конструкция механических фильтров будет описана ниже.

Польза от таких фильтров сомнительна, так как диффузионный сок фильтруется лишь с большим трудом: фильтры или задерживают работу или же пропускают сок через отдельные грубые отверстия мешков вместе с мелкой пульпой, и во всяком случае такие фильтры являются очагом инфекции, так как температура (35—40°) проходящего через них сока оптимальна для развития ряда бактерий (лейкопосток). Вероятно, было бы более целесообразным применять надежную пульполовушку и обходиться без фильтрации диффузионного сока.

Пульполовушки с тонкими отверстиями сит (1—1,5 мм) оказывают увеличенное сопротивление прохождению сока и задерживают работу диффузионной батареи; но можно ставить пульполовушки после мерников, и тогда они не будут мешать работе диффузионной батареи.

Нагрев диффузионного сока перед дефекацией. Диффузионный сок имеет температуру 35—40°. Перед дефекацией его нагревают до 90°, прокачивая насосом через решоферы (нагреватели). Решофер по конструкции напоминает калоризатор. Он представляет собой также вертикальный цилиндр (рис. 93), заполненный внутри пучком стальных трубок (диаметром 30—33 мм и длиной 2—3 м), концы которых развальцованы в отверстиях верхней и нижней решеток. Сверху и снизу решофер имеет герметически закрывающиеся крышки с резиновыми уплотнениями (их открывают для чистки трубок решофера).

Крышки решофера не имеют специальных противовесов, так как нижняя крышка связана тягой (рис. 92—слева) с верхней крышкой и играет по отношению к ней роль противовеса; когда нижняя крышка в силу своего веса открывается, то она тянет вниз тягу, что помогает открывать верхнюю крышку; наоборот, верхняя крышка при ее закрывании тянет тягу вверх и своим весом помогает закрывать нижнюю крышку.

Трубки решофера снаружи обогрываются паром, а внутри по ним движется нагреваемый сок. В калоризаторах сок движется по всем трубкам сразу; для решофера, имеющего большую поверхность и большее число трубок, чем в калоризаторе, такое устройство неудобно, так как скорость движения сока была бы слишком мала, что снижало бы теплопередачу и способствовало бы быстрому загоранию (загрязнению осадками) поверхности нагрева, а это еще сильнее уменьшало бы теплопередачу. Поэтому весь сок должен двигаться лишь по малой части трубок, что повышает скорость движения; пройдя первую секцию трубок, сок делает поворот и вступает в соседнюю секцию; затем после нового поворота направляется в следующую секцию трубок и т. д. Таким образом сок делает примерно 12 проходов вверх и вниз, что в 12 раз увеличивает и скорость движения (до 1,5 м/сек); получается так называемый быстротечный решофер.

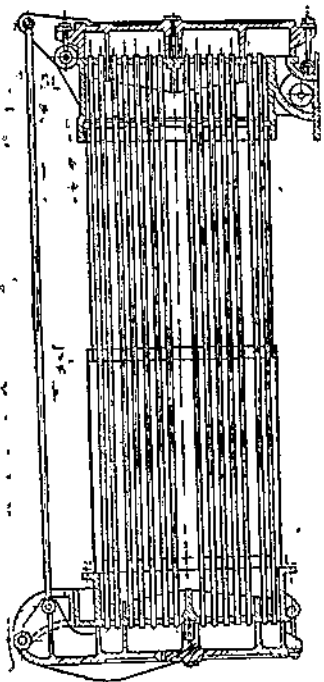


Рис. 93. Быстротечный решофер

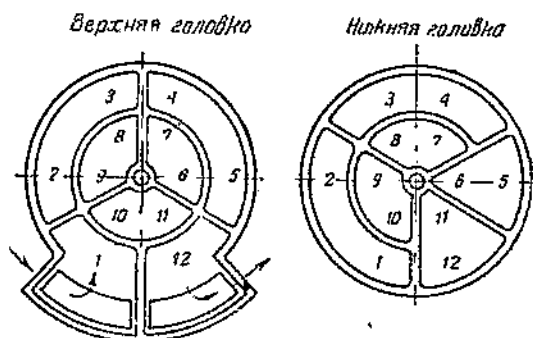


Рис. 94. Решофер. Схема расположения ходов для сока

Направление движения сока меняется вследствие весьма простого приспособления: крышки решофера имеют внутри ребра-перегородки, которые при закрывании крышек прижимаются к решетчатым днищам и делают пространство под крышками на целый ряд камер (рис. 94). Сок поступает под верхнюю крышку в камеру 1-ю и по соответствующей секции трубок идет сверху вниз. Так как внизу перегородки расположены иначе, то сок попадет в камеру 2-ю и по трубкам поднимается в верхнее пространство 2, из него по трубкам пространства 3 идет снова вниз и т. д. Наконец сок попадает вверх в 12-ю камеру, откуда и выводится из решофера.

Нижние и верхние соковые камеры решофера снабжены кранами: нижняя — для спуска сока перед чисткой решофера или при

остановке завода, верхняя — для выпуска накапливающегося здесь воздуха и других газов.

Постепенно на трубках решофера отлагается осадок (белки, сапонин), что резко снижает коэффициент теплопередачи. Поэтому требуется ежедневная чистка решоферов диффузионного сока.

Обогревающий пар (температура его 100°) поступает в пространство между трубкой (паровое пространство) немного выше середины решофера. Пар, отдавая соку свою теплоту, конденсируется, и конденсат отводится из нижней части паровой камеры, из верхней же части камеры отводятся (как и из калоризаторов) неконденсирующиеся газы.

Конденсат по отводным трубкам стекает в расположенный ниже автомат - водоотводчик или конденсационный горшок. Это — аппарат, выпускающий воду (конденсат), но не допускающий потери пара (рис. 95). Поступающий в автомат конденсат, накапливаясь, заставляет всплывать поплавок, который открывает при помощи рычажка кран для спуска воды. С понижением уровня воды поплавки опускаются и вновь закрывает кран, не допуская утечки пара.

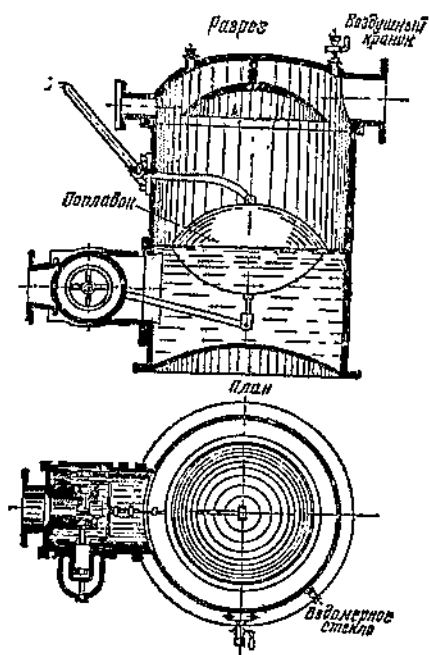


Рис. 95. Автомат-водоотводчик

Для хорошего нагрева и максимального использования поверхности нагрева решоферов важнейшее значение имеет равномерность подачи сока. Равномерность работы решофера контролируется манометром, установленным на соковой коммуникации перед решофером. Колебания давления указывают на неравномерность поступления сока.

При остановках работы следует закрывать паровой вентиль, чтобы не перегреть чрезмерно неподвижный сок в решофере.

Для контроля степени нагрева сока должны быть установлены термометры в местах входа и выхода сока из решофера.

Слабый нагрев, кроме плохой очистки решоферов и неравномерности движения сока, может быть также следствием плохого отвода конденсата (заедание движения поплавка) или плохого удаления неконденсирующихся газов (вентили на оттяжках газов должны быть настолько приоткрыты, чтобы оттяжки были достаточно теплыми — температурой около 50—60°; полностью открывать вентили не следует, чтобы не терять в оттяжки слишком много пара).

Расход пара на 100 кг свеклы для нагревания диффузионного сока подсчитывается следующим образом. Положим, что количество откачиваемого диффузионного сока равняется 115 кг. Теплоемкость его, приблизительно, 0,9. Сок нагревается от 35 до 90°.

Расход тепла на нагрев: $115 \cdot 0,9 (90 - 35) = 5693$ Кал. Добавляем 5% на потери тепла вследствие лучеиспускания и теплопроводности. Полный расход тепла будет: $5693 + 285 = 5978$ Кал. Полное теплосодержание греющего пара (100°) $i = 640$ Кал. Но конденсат пара уходит при температуре 87° ¹. Следовательно, 1 кг пара, конденсируясь, отдаст $640 - 87 = 553$ Кал. Расход пара на нагревание сока будет:

$$\frac{5978}{553} = 11 \text{ кг.}$$

Определяют поверхность нагрева решоферов, принимая коэффициент теплопередачи:

$$13 \frac{\text{Кал.}}{\text{м}^2 \times \text{мин.} \times ^\circ\text{C}}.$$

¹ Температура конденсата принята из следующих соображений. Средняя температура сока в решофере $\frac{35 + 90}{2} = 62,5^\circ$. Конденсат по своей температуре должен быть ближе к температуре пара (100°T), непосредственно соприкасающегося с ним, чем к температуре сока. Обычно считают, что температура конденсата меньше температуры греющего пара на $\frac{1}{3}$ разницы температуры пара и сока, т. е. $100 - \frac{100 - 62,5}{3} = 87^\circ$

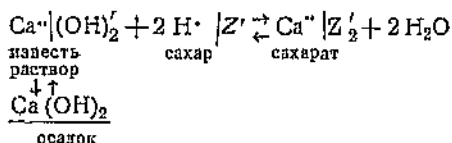
3. ДЕФЕКАЦИЯ

На defeкации к диффузионному соку для очистки прибавляют 2—2,5% извести (CaO) в виде известкового молока.

1. СИСТЕМА: ИЗВЕСТЬ + САХАР + ВОДА

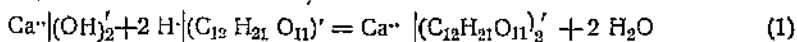
Необходимо рассмотреть то физико-химическое равновесие, в котором находится наш реагент — известь — с водой и сахаром; следовательно, надо рассмотреть систему (CaO + H₂O + сахар) в зависимости от температуры и количественных соотношений. При этом надо выяснить количество при различных условиях основных реагентов, производящих реакции на defeкации — иона кальция и иона гидроксидов. Все это рассмотрим пока независимо от присутствия несахаров, которые мало влияют на состояние равновесия.

Схема химического равновесия в нашей системе такова:



Количество извести, прибавляемой на defeкации, значительно больше того, какое может раствориться. Мы берем около 2—2,5% извести, но растворяется фактически при температуре 80° в 14%-ном сахарном растворе только 0,25%, т. е. лишь 1/8, а 7/8 взятой извести остаются в осадке (см. табл. 11).

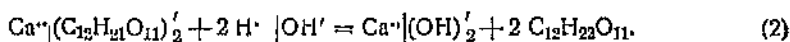
Однако в нашем сахарном растворе все-таки гораздо больше извести, чем могло бы ее раствориться при той же температуре в чистой воде: там было бы в растворе не 0,25%, а лишь 0,072% (см. табл. 11). Повышенная растворимость извести в сахарном растворе объясняется образованием сахарата кальция. Сахароза действует как очень слабая кислота (постоянная электролитической диссоциации — около $3 \cdot 10^{-13}$):



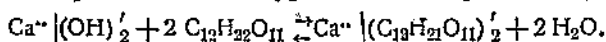
При температуре 85° и той незначительной концентрации извести (0,25%), какая при этих условиях имеется в растворе, следует думать, что лишь один водород сахарозы проявляет кислотные свойства, т. е. образуется даже не моносахарат (C₁₂H₂₂O₁₁ · CaO), а «полусахарат», где на одну молекулу двухвалентной извести

приходится две молекулы сахарозы (это и изображено в нашем уравнении). Если бы весь сахар полностью вступил в реакцию образования «полусахарата», то при молекулярном весе сахара 342 и эквивалентном весе $\text{CaO} - \frac{56}{2} = 28$, при 13% сахара в растворе растворилось бы $\frac{13 \cdot 28}{342} = 1,06\%$ извести, а не 0,25%, т. е. в четыре раза больше.

Этот расчет достаточно ясно показывает, что реакция образования сахарата идет неполно, так как она обратима: образовавшийся сахарат как соль очень слабой кислоты гидролизует и дает вновь сахарозу и известь:



Таким образом идут одновременно обе реакции (1) и (2), что может быть изображено одним уравнением обратимой реакции:



Следовательно, мы всегда имеем смесь извести, сахара и сахарата. Количество какого из этих веществ будет больше зависит от соотношения скоростей реакций (1) и (2), а они зависят, в свою очередь, от соотношения действующих масс и от температуры.

При повышении температуры усиливается реакция гидролиза; сахарат гидролизует, давая известь, которая оказывается уже в чрезмерном количестве в растворе и начинает выпадать в осадок: следовательно, растворимость извести, при повышении температуры падает.

Итак, мы имеем две равновесные системы: 1) равновесие между известью в осадке и в растворе; 2) равновесие между сахаратом кальция и продуктами его гидролиза — сахаром и известью.

Данных для точного решения задачи о количественных соотношениях системы $\text{CaO} + \text{сахар} + \text{H}_2\text{O}$ на дефекации не имеется, но приближенный подсчет возможен. Например, при температуре 80° в чистой воде растворяется 0,072% CaO . Можно считать, что и в присутствии сахарозы (например 14 г в 100 см³) свободной извести в насыщенном известью растворе будет тоже 0,072%. Всего в таком растворе имеется 0,25% извести; следовательно, $0,250 - 0,072 = 0,178\%$ извести будет находиться в виде сахарата.

Количество сахарозы, связываемой 0,178% CaO в сахарат (считая на полусахарат), будет:

$$\frac{0,178 \cdot 342 \cdot 2}{56} = 2,17\%$$

(здесь 342 и 56 — молекулярные веса сахарозы и CaO). Свободной сахарозы остается $14,0 - 2,17 = 11,83\%$.

Итак, из всей сахарозы, находящейся в растворе, имеется $\frac{2,17 \cdot 100}{14,0} = 15,5\%$ в виде сахарата и 84,5% — в свободном состоянии.

Этот расчет, хотя лишь приближенный, все же дает представление о состоянии нашей системы $\text{CaO} + \text{сахар} + \text{H}_2\text{O}$ и опровергает часто встречающееся предвзятое мнение, будто бы весь сахар и вся известь на дефекации находятся в виде сахарата.

С изменением температуры количество сахара и извести в свободном виде и в виде сахарата будет изменяться. Количественные отношения каждый раз могут быть подсчитаны (приблизительно — при сделанных нами допущениях). Результаты таких подсчетов приведены в табл. 23 для температур 80 и 40° и для 14 и 10%-ного раствора сахарозы.

Таблица 23

Система: $\text{CaO} + \text{сахар} + \text{вода}$

Концентрация сахара г/100 см ³	Температура в °C	СаО в растворе г/100 см ³	На 100 частей извести		На 100 частей сахара		Свободная СаО г/100 см ³
			свободной извести	известн. в виде сахарата	свободный сахар	сахар в виде сахарата	
14	80	0,25	28,8	71,2	84,5	15,5	0,072
	40	1,22	9,2	90,8	3,2	96,8	0,110
10	80	0,175	41,1	58,9	87,4	12,6	0,072
	40	0,66	16,7	83,3	32,8	67,2	0,110

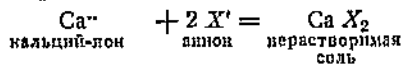
Необходимо обратить внимание на следующие выводы из данных табл. 23: 1) растворимость извести в 14%-ном сахарном растворе при температуре 40° почти в пять раз больше, чем при температуре 80° (меньший гидролиз сахарата при пониженной температуре); 2) несмотря на большую растворимость извести, при пониженной температуре концентрация свободной извести лишь в полтора раза больше, так как при низкой температуре только незначительная часть извести находится в свободном виде (9,2% при температуре 40° вместо 28,8% при температуре 80°); 3) всегда некоторая часть извести находится в растворе в свободном виде (например 28,8% от общего количества ее для обычных условий работы: 14%-ный сахарный раствор и температура 80°); 4) при этих же обычных условиях лишь меньшая часть сахара (15,5%) оказывается в виде сахарата, а большая часть его в свободном виде; при понижении температуры количество сахара в виде сахарата значительно увеличивается; 5) при меньшем количестве сахара в растворе уменьшается растворимость извести, но концентрация свободной извести в растворе остается прежней.

Таким образом приведенные расчеты и таблица дают ясное представление о количестве реагентов, действующих на дефекации: о количестве ионов кальция (растворимость извести) и о количестве ионов гидроксила. Переходим к разбору действия этих ионов на несахара диффузионного сока.

2. РЕАКЦИИ НА ДЕФЕКАЦИИ

Реакции, вызываемые ионом кальция, являются реакциями осаждения и коагуляции.

Ион кальция прибавленной нами извести, встречаясь с анионами некоторых кислот, соли кальция которых нерастворимы в воде, дает осадок. Схема реакции:



Сущность реакции именно в том, что ион кальция, встречаясь с ионами некоторых кислот, дает нерастворимые соли. Выражают же эти реакции в схемах часто (без особой к тому надобности) гораздо сложнее. Катион кальция находится в растворе с эквивалентным количеством анионов, поэтому вместо Ca^{++} пишут обычно или $\text{Ca}^{++}(\text{OH})_2$ или $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \cdot \text{CaO}$ (сахарат кальция). Последний из методов изображения реакции лишь запутывает наши представления, так как легко при устарелой дуалистической формуле сахарага кальция упустить из виду, что реагирует и здесь лишь ион кальция; сахарат кальция — это соль кальция и сахара.

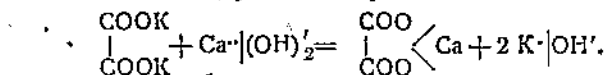
Анионы реагирующих кислот также находятся в растворе вместе с эквивалентным количеством каких-то катионов, например K или H (когда мы имеем свободные кислоты, а они, действительно, присутствуют в соке, так как диффузионный сок имеет кислую реакцию).

Осаждаются на defeкации следующие кислоты: щавелевая, оксалиммонная, лимонная и винная. Прочие безазотистые органические кислоты, а также аминокислоты и бетани не осаждаются известно и остаются в растворе.

Из минеральных кислот осаждается фосфорная кислота и в очень малой степени — серная кислота.

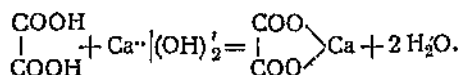
Из всех кислот полнее других удаляется из раствора уже на defeкации щавелевая кислота. Вообще же в присутствии сахара и щелочи, как уже указывалось выше, растворимость солей кальция повышенная. Поэтому, например, на defeкации почти половина лимонной кислоты находится все-таки в растворе, тогда как после сатурации, т. е. после понижения щелочности, выпадает еще дополнительное количество лимоннокальциевой соли, и в растворе ее остается лишь 17% (Пахлюник).

Для примера напомним реакцию осаждения щавелевой кислоты из ее кальевой соли следующим образом:



Отсюда видим, что в растворе частично вместо $\text{Ca}(\text{OH})_2$ после defeкации оказывается $\text{K} \cdot \text{OH}'$ или $\text{Na} \cdot \text{OH}'$, и это явление связано с реакциями осаждения. Однако реакции осаждения со свободными кислотами (ведь диффузионный сок имеет кислотность

около 0,04, считая на CaO) не дают в растворе никаких щелочей, например:



Итак, количество щелочей (KOH и NaOH), появляющихся в растворе в результате реакций осаждения, эквивалентно количеству анионов, дающих осадок с кальцием, за вычетом свободных кислот диффузионного сока.

Кроме обычных реакций осаждения на дефекации идут еще и реакции коллоидного характера — коагуляции под действием иона кальция, о чем уже говорилось при описании свойств диффузионного сока. Коагулируют главным образом белки диффузионного сока (уже при нагревании, а в присутствии извести дают крупные и плотные хлопья), а также сапонины и красящие вещества диффузионного сока. Таким образом очищенный сок уже не имеет черно-коричневой окраски, а лишь желтую, и не способен так пениться, как диффузионный сок.

Уже 0,06% CaO по весу сока обнаруживают коагулирующее действие: жидкость над осадком оказывается светлорозовой, прозрачной. При увеличении количества извести осадок становится более плотным и раствор более светлым и прозрачным. Оптимум плотности осадка и прозрачности раствора получается при pH = 11 (при количестве извести 0,2 — 0,3%). При дальнейшем увеличении количества извести осадок делается менее плотным, а раствор более окрашенным: происходит частичная пептизация осадка под влиянием сахара и щелочи (pH > 11), о чем уже говорилось. Таким образом имеются две точки оптимальной коагуляции коллоидов диффузионного сока: одна в кислой среде при pH = 4,5 и другая в присутствии извести в щелочной среде при pH = 11. Коагуляция в кислой и щелочной среде, вероятно, не идентична; в кислой среде коагулируют белки, как таковые, адсорбируя ион H⁺ и образуя нейтральные мицеллы; в присутствии извести коагулируют мицеллы белка, адсорбировавшие ион Ca⁺⁺.

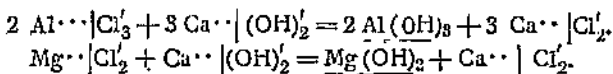
Так как мы идем на дефекации большой избыток извести, то мы не имеем оптимальных условий для коагуляции (а также и для осаждения). Они создаются лишь при сатурации, когда снижаем щелочность и добиваемся более полного выпадения осадков, пептизированных на дефекации щелочью в присутствии сахарозы.

Реакции осаждения с ионом кальция и коагуляции — это именно те реакции, при помощи которых удаляется часть нес сахаров диффузионного сока и повышается доброкачественность. На долю коагуляции выпадает удаление 30—40% от общего количества удаляемых нес сахаров. Остальные 60—70%, удаляются путем обычных химических реакций осаждения нерастворимых солей кальция.

Реакции, производимые ионом гидроксила. Ионы гидроксила прибавленной извести прежде всего нейтрализуют свободные кис-

лоты диффузионного сока (кислотность его около 0,04%, считая на эквивалентное количество СаО).

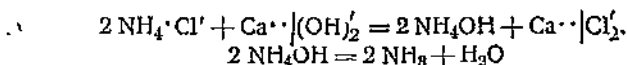
Ион гидроксидов вызывает и реакции осаждения имеющихся в диффузионном соке в весьма небольшом количестве солей алюминия, железа, магния, которые выпадают в виде их гидратов окиси:



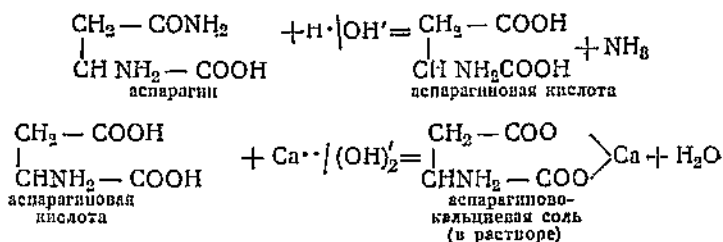
Избыток извести создает щелочную реакцию. Под влиянием иона гидроксидов как катализатора на дефекации идет целый ряд реакций разложения.

Разложению подвергаются соли аммония, амиды кислот (аспарагин, глутамин, оксаминовая кислота), аллантоин, инвертный сахар, пектиновые вещества (находящиеся в растворе и во взвешенных частицах мезги), белки.

При разложении солей аммония выделяется аммиак, а в растворе остается эквивалентное количество солей кальция, например:



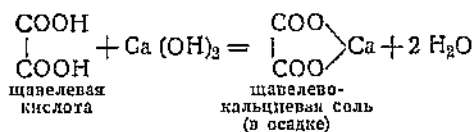
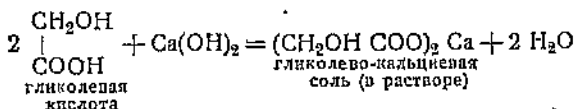
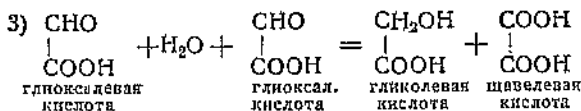
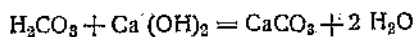
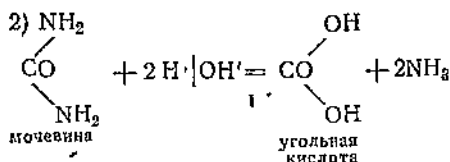
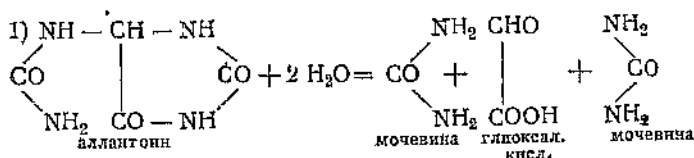
Реакция разложения амидов идет по схеме:



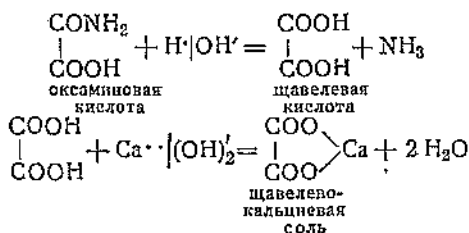
Аналогичная реакция идет и с глутамином, причем глутамин разлагается гораздо быстрее аспарагина.

В результате разложения амидов, как видим, выделяется аммиак, а в растворе накапливаются растворимые соли кальция. Таким образом аммиачный и амидный виды азота удаляются, но они все-таки не являются безвредными (хотя и присчитываются по Андрику к безвредному азоту), так как остающиеся в результате растворимые соли кальция вредны для производства — они увеличивают потери сахара в патоке, затрудняют варку и кристаллизацию.

Разложение аллантоина идет весьма медленно и проходит несколько стадий: сначала аллантоин распадается на мочевины и глиоксальную кислоту; мочевина гидролизует, выделяя аммиак и углекислоту, а глиоксальная кислота путем самоокисления — самовосстановления альдегидной группы дает гликолевую и щавелевую кислоты, из которых первая в виде кальциевой соли остается в растворе, а последняя дает осадок щавелево-кальциевой соли:



Столь же медленно, как и аллантоин, разлагается оксаминовая кислота, причем выделяется аммиак и выпадает осадок щавелево-кальциевой соли:



Разложение аллантоина и оксаминовой кислоты лишь начинается на дефекации и сатурации; в дальнейшем эти реакции продолжаются на вытарке, давая на поверхности нагрева ее осадок щавелево-кальциевой соли.

Инвертный сахар на дефекации быстро разлагается под влиянием гидроксил-иона, давая целый ряд кислот — молочную, глюциновую, апоглюциновую, сахариновую, сахарумовую, мелассиновую, гуминовые (см. выше «Химия моносахаридов»), причем лишь сахарумовая и гуминовые кислоты дают с известью осадок, а все

прочие оказываются в растворе в виде кальциевых солей. Количество перешедшего в раствор СаО (в виде солей) составляет от 25 до 60% по весу инвертного сахара (чем меньший процент инвертного сахара имеется в диффузионном соке, тем больший процент СаО по весу инвертного сахара переходит в растворимые соли кальция).

При разложении инвертного сахара известью раствор получает оранжево-желтую окраску (апоглоциновая, мелассиновая кислоты). Окраска сатурационного сока (желтая) в значительной степени зависит от продуктов разложения инвертного сахара.

0,3%-ный раствор инвертного сахара при обработке известью при температуре 80° и последующей сагурации дает окраску в 2,1° Шт.

Жиры свеклы на дефекации омыливаются известью, причем в растворе остается глицерин, а жирные кислоты осаждаются в виде кальциевых солей.

Из пектиновых веществ арабан, не изменяясь, остается в растворе, а пектиновая кислота распадается с выделением метилового спирта, уксусной кислоты, частично арабинозы и галактозы и тетрагалактуроновой кислоты (см. выше о пектиновых веществах). Уксусная кислота остается в растворе в виде уксусно-кальциевой соли; арабиноза и галактоза изменяются подобно инвертному сахару с образованием ряда кислот, кальциевые соли которых остаются в растворе.

Тетрагалактуроновая кислота с известью дает осадок желатинозного характера, весьма трудно отфильтровывающийся. Неразложенная и частично разложенная пектиновая кислота также дает осадок с известью, но легче отфильтровывающийся. Поэтому разложение пектиновой кислоты вредно для производства.

Частицы мезги, проскочившие через мезголовушку, подвергаются также действию извести: пектиновые вещества, составляющие половину нерастворимого в воде сухого их вещества, под влиянием щелочи быстро переходят в раствор, выделяя обратно в осадок лишь кальциевую соль тетрагалактуроновой кислоты.

Итак, пектиновые вещества и мезга диффузионного сока оказывают весьма вредное влияние на производство: соки оказывают пониженной доброкачественности с увеличенным количеством солей кальция; грязь получается трудно отфильтровываемая, слизистая, задерживается работа фильприссов.

В действии известны на частицы мезги мы имеем пример вредного растворяющего действия извести на имеющийся осадок. Другим аналогичным примером является действие извести на коагулировавшие белки; при энергичном воздействии извести белки начинают расщепляться на альбумозы и пептоны и постепенно вновь переходить в раствор.

Следует остановиться на вопросе о сравнительной скорости прохождения (кинетика) реакций разложения на дефекации при различных условиях [52].

При температуре 80° в течение 20 мин. разлагается приблизительно при применении 2% извести (в %):

инвертного сахара	98
аспарагина	10
глутамина	70
аллантиона	0,2
белков	2,0

Из приведенных данных видно, что на дефекации довольно полно разлагается лишь инвертный сахар, в значительной степени — глутамин, слабо — аспарагин и лишь очень слабо затрагиваются белки и аллантион.

При повышении температуры скорость реакций разложения быстро увеличивается. Например аспарагин в течение 30 мин. разлагается в присутствии 2% извести в 15%-ном сахарном растворе следующим образом:

Температура (в °C)	100	85	50
Разложение (в %) в течение 30 мин.	32,6	17,1	2,0

Таким образом при температуре 100° реакция разложения аспарагина идет в два раза скорее, чем при 85°, а при 50° — в 8,5 раза медленнее, чем при 85°.

Количество извести влияет на скорость реакции разложения, но лишь до некоторого предела; при увеличении количества извести от 0,5 до 1% скорость реакции разложения увеличивается в 1,5 раза, но при дальнейшем увеличении количества извести скорость разложения остается постоянной, так как избыток извести остается в осадке, а количество активной растворенной извести не увеличивается.

Во всяком случае реакции разложения амидов на дефекации лишь начинаются и проходят менее чем наполовину.

Длительность дефекации принимают в 8—10 мин. при нагреве сока перед дефекацией до температуры 90°. Более короткая дефекация и при пониженной температуре может давать ненормальные явления на выпарке: значительное падение щелочности, нарастание цветности и пенение выпариваемого сока, так как реакции разложения амидов и инвертного сахара, слишком мало продвинувшиеся на дефекации, будут идти в значительной степени на выпарке.

Слишком длительная дефекация (15—20 мин.) и при повышенной температуре также вредна, так как при слишком энергичном воздействии извести выпавшие первоначально в осадок белки могут разлагаться и в виде пептонов и аминокислот переходить в раствор, понижая доброкачественность сока.

Щелочность и соли кальция. Щелочность дефекованного (отфильтрованного) сока обуславливается присутствием в нем в растворе $\text{Ca}^{++}(\text{OH})_2$, а также $\text{K} \cdot \text{OH}$, накопившегося в результате реакций осаждения. В растворе при дефекации образуется ряд растворимых солей кальция (вследствие реакций разложения). Их мы можем изобразить общим символом $\text{Ca}^{++}/\text{A}'_2$, где A' — анион

каких-то кислот, дающих растворимые соли кальция, например молочной, янтарной, аспарагиновой. В растворе же имеется сахар отчасти в свободном состоянии и отчасти в виде сахаратов кальция и калия.

В осадке на дефекации находится большая часть извести, осажденные нерастворимые соли кальция (CaX_2) таких кислот, как щавелевая, фосфорная и т. п. Кроме того в осадке же находятся скоагулированные белки вместе с красящими веществами свеклы и сапонином.

Итак, после дефекации имеем следующую систему, которая и переходит на станцию 1 сатурации:

Раствор	$\text{Ca}^{++} (\text{OH})_2'; \text{K}^+ \text{OH}'; \text{Ca}^{++} \text{A}_2'; \text{сахар}$
Осадок	$\text{Ca}(\text{OH})_2; \text{CaX}_2; \text{белки}$

3. АППАРАТУРА И ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕФЕКАЦИИ

Дефекационный котел. Дефекация обычно выполняется в дефекаторах непрерывного действия, состоящих из одного вертикального цилиндрического котла (рис. 96). Внутри котла имеется мешалка (вертикальный вал с лопастями), делающая 25—30 оборотов в минуту. Диффузионный сок и известковое молоко направляются вместе в нижнюю часть дефекатора, заполняют его, хорошо перемешиваются и переливаются через патрубок особого кармана, устроенного в верхней части дефекатора. Вследствие отвода дефекованного сока путем перелива дефекатор всегда заполнен до одного и того же уровня. Весьма важно также и то, что через карман при переливе уходит вместе с соком и пена, непричиняя никаких затруднений в работе.

Чтобы образующиеся осадки не оставались на дне дефекатора, нижние лопасти мешалки снабжены пальцами, очищающими дно от осадка.

Дефекатор разделен несколькими горизонтальными перегородками на ряд отделений (на рис. 96 изображено четыре перегородки). Перегородки имеют вырезы в виде сегментов, расположенные таким образом, что у одной перегородки они находятся справа, у следующей слева и т. д. В связи с таким устройством поступающий снизу сок проходит по отделениям зигзагообразный путь: при этом вновь поступающий сок не может примешиваться к соку, уходящему через патрубок кармана при переливе и лишь посте-

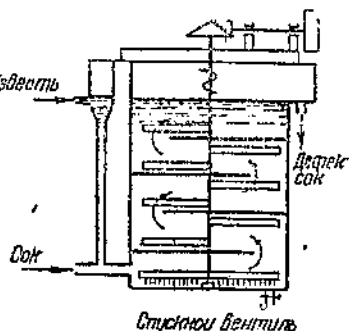


Рис. 96. Дефекационный котел непрерывного действия

ленно доходит до места перелива, пробыв в дефекаторе определенное время, зависящее от объема аппарата.

Опоражнивается дефекатор по окончании производства через спускной вентиль в нижней части.

Сверху дефекатор закрыт крышкой, имеющей лаз. Крышка уменьшает потери тепла; с этой же целью боковая поверхность дефекатора покрывается изолирующим слоем.

Горизонтальные перегородки в дефекаторе удорожают устройство, мешают при осмотре и ремонте аппарата и при этом едва ли приносят заметную пользу: дефекаторы без перегородок работают так же хорошо.

Иногда встречаются дефекаторы переменного объема, что позволяет изменять по желанию продолжительность дефекации. Объем дефекатора меняют посредством регулирующего шибера или путем подъема или опускания сливной трубы, причем меняется уровень слива. Все эти приспособления также существенного значения не имеют.

Расчет объема дефекатора. Положим, что завод перерабатывает в сутки

10 тыс. ц свеклы, т. е. в 1 мин. $\frac{10000}{24 \cdot 60} = 6,95$ ц. Если на 1 ц свеклы полу-

чается например 118 л дефекованного сока, то в 1 мин. будем иметь $6,95 \cdot 118$ л дефекованного сока. При длительности дефекации в 8 мин. дефекационный котел должен вмещать восьмиминутное количество дефекованного сока; следовательно, рабочий объем котла должен быть: $6,95 \cdot 118 \cdot 8 = 6561$ л $\approx 6,56$ м³. Сверх рабочего объема прибавляют еще запас на пену в 25%, так что полный объем котла будет:

$$1,25 \cdot 6,56 = 8,20 \text{ м}^3$$

Примечание. Объем дефекованного сока (принятый в 118 л на 1 ц свеклы), как и вообще количество всевозможных продуктов сахарного завода, берется из продуктового расчета. Метод которого приведен в конце II тома «Технологии свеклосахарного производства».

Мерник известкового молока. Чтобы не слишком разбавлять диффузионный сок при добавлении известкового молока, это молоко готовят довольно высокой концентрации — 23° Боме или около 255 г СаО в 1 л. Известковое молоко обычно отмеривают периодически определенными порциями: при спуске каждого мерника диффузионного сока одновременно спускают в дефекационный котел мерник известкового молока.

Наиболее распространенным является мерник известкового молока сист. Черни-Штольц, позволяющий отмеривать определенное количество СаО независимо от некоторых колебаний концентрации известкового молока.

Этот мерник (рис. 97) представляет собой цилиндрический резервуар с коническим дном. Вентиль 2 служит для наполнения мерника известковым молоком, а вентиль 3 для спуска молока в дефекационный котел. Вентили открываются и закрываются вручную.

В мернике имеется поплавок 1 конической формы, прикрепленный к коромыслу с противовесом 7 и стрелкой 5, двигающейся по шкале 6. Когда в мернике наберется нужное количество известкового молока, поплавок всплывает, и стрелка 5 показывает положение равновесия; тогда рабочий закрывает вентиль 2 и открывает вентиль 3. Поплавок 1 имеет форму как бы ареометра; поэтому, если концентрация известкового молока и его удельный вес окажутся меньше, то поплавок всплывает лишь при более глубоком

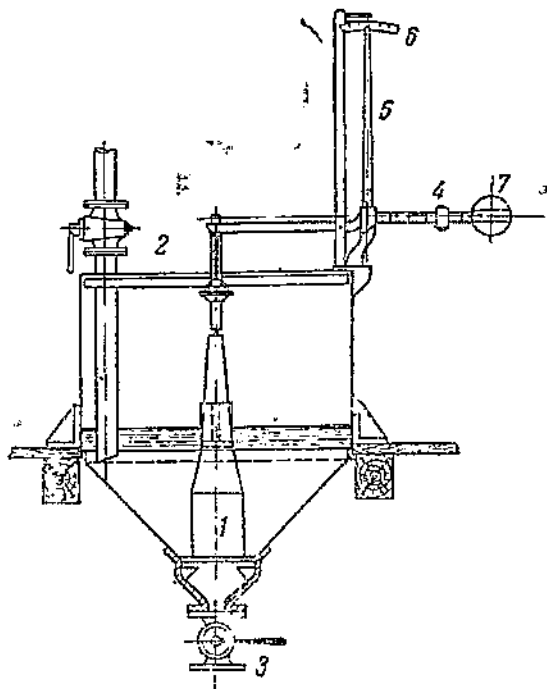


Рис. 97. Мерник для известкового молока
Черни-Штольца

погружению в жидкость меньшего удельного веса и поэтому автоматически отмеривается большая порция жидкости, которая, несмотря на меньшую концентрацию, будет содержать такое же, какое требуется, количество извести.

Если желают изменить дозировку извести (например вместо 2% по весу свеклы, давать 2,5 или 3%), то передвигают грузик 4 по правому плечу коромысла: если сдвинуть грузик вправо, то поплавок будет всплывать при меньшем количестве известкового молока; наоборот, при перемещении грузика влево будут отмериваться большие порции известкового молока.

Мерник известкового молока опоражнивают быстро, чтобы успеть наполнить его вновь для следующей порции (мерник) диф-

фузионного сока. Между тем выкачивание диффузионного сока из мерника через решоферы на defeкацию идет постепенно (такая равномерность движения сока требуется для оптимальной работы решоферов). Таким образом в самом начале спускания диффузионного сока из мерника этот сок будет получать много извести из быстро опоражнивающегося мерника известкового молока: в конце же спуска мерника сок может оказаться совсем почти без извести. Чтобы выравнивать щелочность defeкованного сока, следует устанавливать между мерником известкового молока и defeкатором промежуточный резервуар с коническим дном. Спускное отверстие из этого резервуара должно быть открыто настолько, чтобы опоражнивание этого резервуара длилось столько же времени, как и опоражнивание мерника диффузионного сока.

На некоторых заводах применяется непрерывная подача известкового молока на defeкацию по методу Пелетинского (Калининский сахарный завод). Известковое молоко поступает, как обычно, в вертикальную мешалку-сборник, установленную над defeкатором (рис. 98). В мешалке имеется известковое молоко с постоянным уровнем, так как его накачивают туда из известкового отделения с некоторым избытком, а этот избыток уходит через железную трубу из верхней части мешалки обратно в известковое отделение.

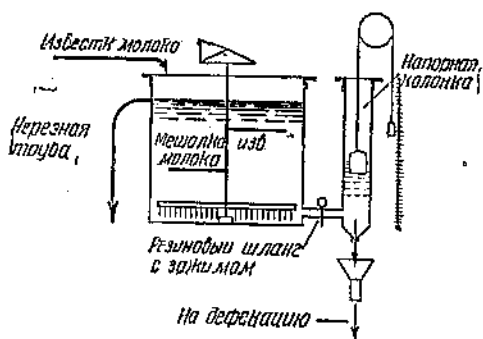


Рис. 98. Непрерывная подача известкового молока

Рядом с мешалкой находится цилиндрическая напорная колонка, в которую известковое молоко поступает из мешалки по резиновому шлангу с регулирующим зажимом. В нижней части колонки имеется сопло, по которому известковое молоко вытекает в воронку и далее уходит на defeкацию. В колонке устанавливается некоторый напорный уровень жидкости, необходимый для проталкивания через сопло подаваемого из мешалки известкового молока. Если больше открыт зажим на шланге, то будет больше подаваться известкового молока, и уровень жидкости в колонке поднимется. В колонке устраивается поплавок, связанный шнурком, перекинутым через блок, с грузиком. Грузик движется около рейки с делениями, и положение его характеризует скорость подачи известкового молока, так как $V = \sqrt{2gh}$, где v — скорость подачи известкового молока в м/сек и h — величина напора жидкости в колонке в м. Таким образом устанавливается и регулируется скорость подачи извести на defeкацию.

Следует отметить два недостатка способа непрерывной подачи извести: 1) необходимо часто прочищать сопло, так как оно забивается осадком извести и карбоната кальция; это нетрудно сделать, и для этого имеется простое приспособление [15, ст. 23]; 2) чтобы количество извести, поступающей на defeкацию, не колебалось, известковое молоко должно быть всегда постоянной одинаковой концентрации; 3) хотя и можно добиться равномерной непрерывной подачи извести на defeкацию, но диффузионный сок может подаваться с перерывами и неравномерно; поэтому щелочность defeкованного сока может весьма сильно колебаться; следовательно, непрерывная подача извести дает хороший результат лишь при бесперебойной непрерывной и равномерной подаче диффузионного сока.

4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДЕФЕКАЦИЯ

Общее понятие. Легко убедиться на опыте, что наиболее плотный осадок и наиболее полное осаждение несахаров из диффузионного сока получаются при некотором вполне определенном «оптимальном» количестве извести: меньшее количество извести не дает полного осаждения несахаров, и сок над осадком после отстаивания в цилиндрике мутен и окрашен в темный цвет; при оптимальном количестве извести получается плотный быстро оседающий осадок, а над ним — прозрачный желтоватый сок; при количестве извести, большем оптимального, осадок слишком объемист, желатинозен, плохо отстаивается и медленно отфильтровывается.

Таким образом в лаборатории легко определить оптимальное количество извести для данного диффузионного сока. Это количество обычно колеблется от 0,2 до 0,3% по весу свежлы. Дедек и Шпентлер установили, что оптимальное осаждение достигается при добавлении извести до $\text{pH} = 11$ (необходимое для этого количество извести, как уже сказано, колеблется от 0,2 до 0,3% в зависимости от качества свежлы).

Плотный осадок, выпавший из диффузионного сока с оптимальным количеством извести, остается плотным и после дальнейшего добавления обычного для defeкации большого количества извести (2—2,5% CaO). На этом основании за последние 10 лет на сахарных заводах получила большое распространение так называемая предварительная defeкация. На этой станции к диффузионному соку, поступающему из мерников (т. е. при температуре 35—40°), прибавляют оптимальное количество извести при энергичном перемешивании. Затем после перемешивания в течение 4—5 мин. сок предdefeкации выкачивают насосом через решофер диффузионного сока на основную defeкацию, где добавляют остальную часть извести, требующуюся лишь в дальнейшем на I сатурации для получения CaSO_3 .

Цель предварительной defeкации, следовательно, заключается в получении более плотного осадка и достижении более полного осаждения несахаров. При работе с предварительной defeкацией значительно облегчается и ускоряется фильтрация сока после I сатурации, очищенный сок имеет гораздо меньшую цветность (окраску) и содержит почти в два раза меньше солей кальция. Добракачествовность сока также повышается, хотя весьма немного (на 0,2—0,3). При работе с предварительной defeкацией, кроме того, меньше загорают решоферы диффузионного сока (вероятно, потому, что белки осаждаются известью уже ранее — на предварительной defeкации, а не коагулируют в решоферах при нагревании).

Аппаратура и выполнение предварительной defeкации. Для большей точности в дозировании известкового молока, предварительную defeкацию выполняют периодическим методом¹. Для этого

¹ Имеются и непрерывные — более удобные — методы работы, которые изложены дальше (см. „Варианты работы по очистке сока“).

нужно иметь два котла с мешалками: один наполняется диффузионным соком, в нем же сок перемешивается с известковым молоком, из второго котла в это время готовый сок предварительной defeкации выкачивается на главную defeкацию (через решетоферы). Объем каждого котла предварительной defeкации удобнее всего делать равным объему одного мерника диффузионного сока. При этих условиях не требуется специального отмеривания диффузионного сока для предварительной defeкации: в каждый котел сок передается из одного мерника, соответствующего определенному количеству свеклы.

Мешалка в котлах предварительной defeкации делает не менее 40 оборотов в минуту. Известковое молоко отмеривается точно в особом мернике и подается в нижнюю часть котла одновременно с диффузионным соком. Количество прибавляемой извести назначается лабораторией завода и возможно чаще определяется экспериментально.

4. I САТУРАЦИЯ

1) ЦЕЛЬ И ОБЫЧНЫЕ УСЛОВИЯ I САТУРАЦИИ

Цель. Дефекованный сок вместе со всеми имеющимися в нем осадками направляется на I сатурацию. Здесь через сок пропускают углекислый газ, вследствие чего известь выпадает в осадок в виде CaCO_3 . На поверхности частиц этого осадка адсорбируется некоторое количество несахаров, находящихся в растворе. Особенно заметна адсорбция окрашенных коллоидных продуктов разложения инвертного сахара, так как эти коллоиды заряжены отрицательно, а суспензия CaCO_3 несет положительный заряд. Таким образом на дефекации получается химическая очистка сока посредством осаждения и коагуляции несахаров, а на I сатурации — дополнительная физико-химическая очистка путем адсорбции [2,54].

Выпавший на I сатурации кристаллический осадок углекислой соли облегчает также фильтрацию сока, но главная задача сатурации заключается не в этом: для облегчения фильтрации можно было бы вместо сатурации просто прибавлять к соку, например, кизельгур или молотый мел и т. п.

Иногда также неправильно считают задачей I сатурации удаление избытка извести в виде CaCO_3 . Однако можно было бы совсем не давать этого избытка извести на главной дефекации, т. е. ограничиться лишь предварительной дефекацией. Тогда совсем не потребовалось бы I сатурации; а для легкой фильтрации достаточно было бы добавить лишь молотого мела. Такой метод предлагался, но дал значительно худший эффект очистки сока.

Избыток извести с последующей I сатурацией применяется именно для дополнительной очистки сока путем адсорбции, что и является главной задачей I сатурации.

Температура. Сок подогревается до температуры 90° лишь перед дефекацией. Дефекатор обычно устанавливают немного выше котла I сатурации, и сок движется на I сатурацию самотеком. В котле I сатурации также никаких приспособлений для нагревания не имеется, и сок, поступающий туда, имеет температуру около 85° . После I сатурации температура сока снижается до 80° , так как при пропускании через него сатурационного газа, содержащего лишь около 30% CO_2 , с отходящими газами уносятся пары воды, и на это испарение затрачивается часть тепла сока.

После I сатурации остывший сок прокачивают насосом через решетофер и нагревают до 100° для того, чтобы облегчить его фильтрацию: при повышенной температуре вязкость сока меньше, что и ускоряет фильтрацию.

Время пребывания сока на I сатурации — 10 мин.

Количество извести, прибавляемой к соку на дефекации, как уже сказано, колеблется от 2 до 3% по весу свеклы в зависимости от качества свеклы. Эта известь и превращается на I сатурации в CaCO_3 . При плохой свекле приходится прибавлять больше извести, так как иначе затрудняется фильтрация: слизистый, желатинозный осадок замазывает фильтрующую ткань. Фильтрпрессная грязь получается не в виде плотных лепешек, а в виде полужидкой массы, давление сока при фильтрации возрастает; с увеличением же количества извести слизистые осадки распределяются в большей массе кристаллического осадка CaCO_3 , обволакиваются и задерживаются этим кристаллическим осадком, не заклеивают поры фильтрующей ткани, что и улучшает фильтрацию.

Можно было бы увеличивать количество извести сверх указанной меры, что улучшило бы адсорбцию несахаров и очистку сока, но такой чрезмерный расход извести оказывается нерентабельным. Наоборот, всегда стараются работать с минимально возможным расходом извести. Станция предварительной дефекации устраивается именно для того, чтобы иметь возможность уменьшить расход извести благодаря получению более плотного, легче отфильтровываемого осадка.

Щелочность сока после I сатурации имеет первостепенное значение. Эта щелочность должна быть в пределах от 0,06 до 0,08% CaO^1 на 100 cm^3 сока; при этом активная щелочность сока должна быть $\text{pH} = 11$.

Если сатурировать более энергично и снижать щелочность далее указанного предела (например до 0,03% CaO), т. е. полнее удалять известь из раствора, то получается «пересатурированный» сок, имеющий более интенсивную буроватую окраску и большее количество несахаров в растворе. Некоторый избыток извести (0,06—0,08%) обязательно должен оставаться в растворе после I сатурации, так как известь является при очистке сока осаждающим реактивом, и, как известно, большая полнота осаждения достигается в присутствии избытка осаждающего реактива (закон действия масс). Если этот избыток снижается, то часть осадков вновь переходит в раствор.

Наоборот, если уменьшать количество пропускаемой углекислоты и оставлять большую щелочность сока после I сатурации (например 0,1 и больше), то получится «недосатурированный» сок. Качество такого сока не хуже, чем при нормально проведенной сатурации, но его весьма трудно отфильтровать, так как осадок CaCO_3 при недостаточной сатурации оказывается не кристаллическим, а желатинозным.

Такой коллоидный жель образуется вместо кристаллического осадка CaCO_3 в том случае, когда осаждение ведут в сильно ще-

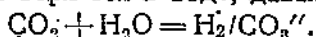
¹ Следует заметить, что все щелочности разных соков сахарного завода всегда выражаются в процентах CaO на 100 cm^3 .

лочной среде ($pH > 11$ и щелочность больше 0,10% СаО) в присутствии сахарозы. Очевидно, щелочь $[Ca(OH)_2]$ и сахаразы как-то связываются с частицами $CaCO_3$ и не позволяют им образовывать кристаллический осадок. Этот желатинозный осадок иногда называют «углекальциевым сахаратом», желая отметить, что в составе его имеется $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ и сахар, т. е. как бы сахарат кальция и уголекислота. Однако углекальциевый сахарат не является определенным химическим соединением. При понижении щелочности окружающего раствора также и содержание щелочи и сахарозы в осадке делается меньше. Наконец, при $pH = 11$ и содержании извести в растворе 0,07—0,06% желатинозный осадок превращается в кристаллический осадок $CaCO_3$.

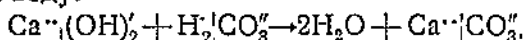
2) ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НА I САТУРАЦИИ

Сущность процессов, идущих на I сатурации, уже изложена. Остается лишь их изложить в более конспективной форме химических формул.

Система: известь + уголекислота + сахар + вода. Углекислый газ прежде всего растворяется в воде, давая уголекислому:



Затем уголекислота реагирует с известью, находящейся в растворе, образуя воду:



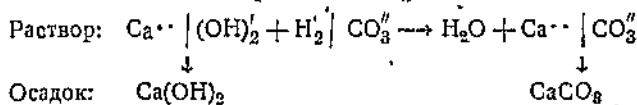
Взамен прореагировавшей извести новое количество извести переходит из осадка в раствор (вспомним, что на дефекации 90% имеющейся извести находится не в растворе, а в осадке). Таким образом постепенно весь осадок извести, переходя сначала в раствор, превратится с уголекислотой в $Ca^{++}CO_3''$.

Когда накопится в растворе $Ca^{++}CO_3''$, он начинает осаждаться, образуя сначала жель, а потом после достаточного снижения щелочности — кристаллический осадок $CaCO_3$.

Дефекованный сок содержит в растворе около 0,25% СаО.

После начала I сатурации эта щелочность быстро снижается приблизительно до 0,15, но затем держится на этом уровне, пока еще имеется в осадке $Ca(OH)_2$, так как по мере осаждения уголекислотой извести из раствора новые количества извести переходят в раствор из осадка $Ca(OH)_2$ и поддерживают щелочность раствора на повышенном уровне. Только после того как весь осадок $Ca(OH)_2$ исчезнет и заменится $CaCO_3$, т. е. к концу сатурации, щелочность раствора начнет вновь быстро понижаться, причем осадок $CaCO_3$ начинает делаться кристаллическим.

Все это можно выразить следующей схемой:



Итак, после I сатурации в осадке уже нет $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а лишь CaCO_3 (правда, зернышки неразгасившейся, а поэтому и непрореагировавшей с уголекислотой извести конечно могут оставаться в осадке и после сатурации).

В растворе после I сатурации попрежнему остается некоторое количество извести, но гораздо меньшее, чем было в дефекованном соке (0,07% вместо 0,25%).

Солей кальция в растворе будет также меньше, так как они адсорбируются осадком CaCO_3 .

Щелочность и соли кальция после I сатурации. Схема распределения извести, щелочей и солей кальция между раствором и осадком, которая дана была выше для дефекации, превращается после I сатурации в новую:

	Дефекация	I сатурация
Раствор	$\text{Ca}^{++} (\text{OH})'_2; \text{K}^+ \text{OH}'; \text{Ca}^{++} \text{A}'_2; \text{сахар}$	$\text{Ca}^{++} (\text{OH})'_2; \text{K}^+ \text{OH}'; \text{Ca}^{++} \text{A}'_2; \text{сахар}$
Осадок	$\text{Ca}(\text{OH})_2; \text{CaX}_2; \text{белки}$	$\text{CaCO}_3; \text{CaX}_2; \text{белки}$

Все несакхара, осажженные на дефекации (CaX_2 , белки), попрежнему остаются в осадке, если только сок не пересатурирован на I сатурации.

3) АППАРАТУРА И ВЫПОЛНЕНИЕ I САТУРАЦИИ

Сатурационные котлы непрерывного действия. На большинстве сахарных заводов СССР I сатурация выполняется непрерывным методом в одном котле. Наиболее распространенным аппаратом для этой цели служит сатурационный котел сист. Ногачевского (рис. 99).

Котел имеет форму цилиндра (высота около 7,5 м). Он наполовину висит под полом второго этажа завода. Котел на высоту около 3,5 м заполнен сатурируемым соком. Сок с дефекации самотеком поступает на вращающуюся тарелку в верхней части аппарата и разбрасывается с нее веером. Сок движется в аппарате сверху вниз; внизу он попадает в широкую центральную трубу, из которой по боковой отводной трубе выводится из аппарата и через открытый переливной ящик («контрольный» ящик) сливается в трубу, ведущую к насосу, подающему сок на решоферы перед фильтрпрессами. Очевидно, сатуратор всегда заполнен соком, уровень которого будет такой же, как уровень в контрольном ящике. Лишь по окончании работы завода котел опорожняют, открывая внизу аппарата спускной клапан (см. рис. 99).

Сатурационный газ, подаваемый газовым насосом из известко-обжигательной печи, содержит около 30% уголекислоты. Он посту-

пает в нижнюю часть аппарата и движется снизу вверх навстречу соку.

Чтобы полнее использовать углекислоту газа, необходимо принять меры к хорошему распределению его в соке в виде мелких пузырьков, что достигается при помощи барботера для газа. Барботер представляет собой (см. рис. 99, внизу) опрокинутый железный жолоб с зубчатыми краями, погруженный в сок. Газ поступает в барботер по трубе, заполняет барботер и вырывается между зубцами нижних краев его в виде многочисленных пузырей. Барботер в сатураторе сист. Ногачевского изогнут в виде кольца. Газ поступает в кольцевую трубу, расположенную над барботером параллельно ему. Из этой трубы по нескольким патрубкам газ проникает и в самый барботер. Кроме главного барботера сатурационный газ поступает по особой трубке в небольших размеров дополнительный барботер в закрытой широкой центральной трубе для окончательной сатурации уходящего по этой трубе сока. Для выхода отработанного сатурационного газа из аппарата в верхней крышке его имеется широкое отверстие с отводной трубой, выходящей на крышу завода. Из центральной внутренней трубы аппарата отработанный газ особой боковой трубкой отводится в надсоковое пространство.

Чтобы вновь поступающий дефекованный сок не перемешивался пузырями газа с уже отсатурированным соком, соковое пространство аппарата разделено тремя горизонтальными перегородками на четыре части. Верхняя перегородка имеет в центре вырез в виде круга, по которому сок движется вниз. Следующая, т. е. вторая перегородка, не имеет выреза в центре, но не доходит до боковых стенок аппарата, где остается свободным проход кольцевой формы для движения сока. Наконец нижняя перегородка имеет круговой вырез, как и верхняя. Таким образом сок движется сверху вниз зигзагообразно.

Для лучшего использования сатурационного газа край вырезов

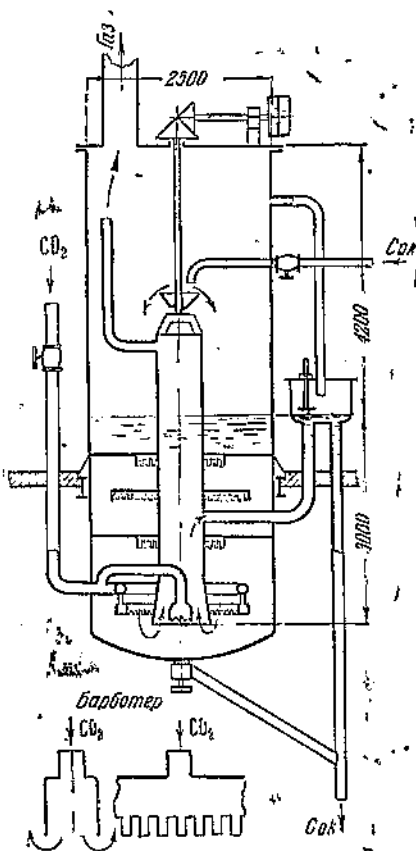


Рис. 99. Сатурационный котел Ногачевского

в перегородках отогнуты вниз и имеют зубцы, между которыми газ еще три раза барботируется, т. е. разбивается на мелкие пузырьки, три раза встречая горизонтальные перегородки на своем пути вверх.

Высота слоя сока над барботером в сатураторе сист. Ногачевского — 3—3,5 м; при меньшей высоте понижается коэффициент использования сатурационного газа; большая же высота сока требует большего давления газа и увеличивает расход энергии на газовый насос.

Во время сатурации сок может сильно пениться. Поэтому в сатурационном котле и устраивается такое большое надсоковое пространство (4,2 м). Несмотря на это, бывают случаи переброса пены через трубу отходящих газов на крышу завода. Для предупреждения этого из верхней части аппарата отводится сигнальная трубка к контрольному ящику (см. рис. 99). Стоящий около него рабочий немедленно замечает, когда по сигнальной трубе начинает перебрасываться пена, и может своевременно принять меры (дать масла в сатуратор).

Сатуратор сист. Ногачевского вполне удовлетворяет своему назначению. Недостатком его является чрезмерно усложненное устройство. Трудно например обосновать необходимость внутренней трубы и дополнительного барботера в ней.

Значительно проще устроен решетчатый сатуратор (рис. 100), принятый в настоящее время в качестве типового. Он представляет собой вертикальный цилиндрический котел с коническим дном.

Внутри котла имеется пять горизонтальных решетчатых перегородок из деревянных брусков, предназначенных для раздробления и распределения газа по всему поперечному сечению сатуратора. Сок поступает в котел сверху и отводится из нижней части конического

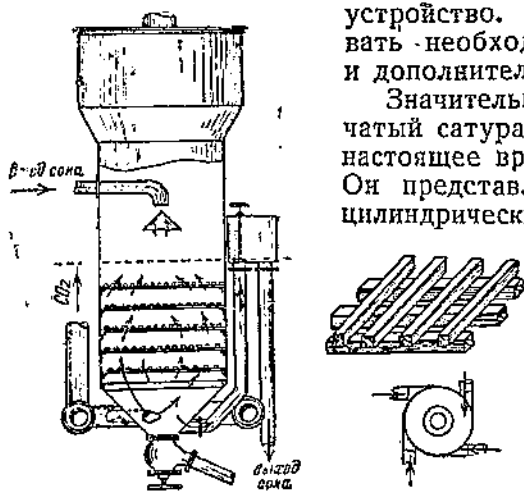


Рис. 100. Решетчатый сатуратор

дна в контрольный ящик. Газ подается четырьмя штуцерами по касательной непосредственно в котел без помощи барботера; поступающая по касательной, газ приводит сок в нижней зоне аппарата во вращательное движение и хорошо с ним перемешивается. Газ поднимается и распределяется равномерно по всей площади сечения сатуратора. Никаких движущихся частей сатуратор не имеет.

Степень утилизации углекислоты сатурационного газа в сатураторах непрерывного действия достигает 70—75% благодаря четкому проведенному принципу противотока сока и газа.

Контроль и регулирование I сатурации. Важное значение имеет равномерность щелочности отсатурированного сока; ее следует держать в пределах 0,06—0,08% СаО. При понижении щелочности ухудшается очистка сока, а при повышении ее образуется вместо кристаллического осадка СаСО₃ — желатинозный углекальциевый сахарат, что чрезвычайно затрудняет фильтрацию сока.

Поэтому на I сатурации необходимо как можно чаще определять щелочность отсатурированного сока, который берут из контрольного ящика, фильтруют и титруют $\frac{1}{10}$ -нормальным раствором серной или соляной кислоты, пользуясь фенолфталеином как индикатором.

Такие титрования невозможно делать ежеминутно. Между тем щелочность уходящего из сатуратора сока может быстро меняться. Необходимы весьма частые и хотя бы приблизительные качественные наблюдения щелочности. Для этого пользуются индикаторными бумажками. Часто применяют фильтровальную бумагу, пропитанную раствором фенолфталеина с примесью небольшого количества лимонной кислоты. Такая бумажка при смачивании соком дает лишь бледнорозовую окраску, если сок имеет требующуюся щелочность (0,06—0,08% СаО). При большей щелочности бумажка становится яркокрасной, а при меньшей щелочности она совсем не окрашивается. Пользуются также тимолфталеиновыми бумажками: этот индикатор при pH = 11 дает бледноголубую окраску, при большей щелочности окраска делается синей, при меньшей щелочности окраска отсутствует.

Весьма большое значение имеет так называемая «проба на ложку»: сок зачерпывают из контрольного ящика в большую ложку; пену с поверхности сока удаляют (сдувают) и наблюдают, насколько быстро оседает на дно ложки осадок и появляется сверху слой прозрачного отстоявшегося сока. Если сок недосатурирован, то отстаивание замедляется, так как осадок не кристаллический, а желатинозный.

Несмотря на все старания, все же весьма трудно добиться равномерной щелочности сатурационного сока, если предшествующие станции работают неравномерно, т. е. если неравномерно подается диффузионный сок на дефекацию, если подача известкового молока не идет параллельно подаче диффузионного сока, если сильно колеблется содержание углекислоты в сатурационном газе.

Поэтому и стахановцы сахарной промышленности (например тт. В. П. Гнатенко и К. И. Лымарь), добиваясь равномерной щелочности сатурационного сока, строго следят за равномерностью работы всех станций, связанных с сатурацией, т. е. за диффузией, решоферами, дефекацией и газовой печью.

С газовой печью сатуратчик должен быть связан сигнализацией, чтобы знать, когда производится загрузка печи, что снижает содержание СО₂ в сатурационном газе. В этот период следует увеличивать количество газа, подаваемого на сатурацию, и таким

образом не допускать повышения щелочности сатурационного сока.

Следовало бы кроме того устанавливать у рабочего места сатуратчика прибор, показывающий содержание CO_2 в сатурационном газе и применяемый в контроле топок паровых котлов. Действие таких приборов основано на том, что теплопроводность газа увеличивается с увеличением содержания CO_2 . Поэтому платиновая проволочка, помещенная в газ, при пропускании тока постоянного напряжения нагревается током тем меньше, чем больше содержится в газе CO_2 (вследствие большей теплоотдачи). При изменении температуры платиновой проволоки меняется ее электрическое сопротивление (при более высокой температуре оно выше). Поэтому колеблется сила проходящего через проволоку тока, которая измеряется амперметром, но на его циферблате нанесены не амперы, а проценты CO_2 в газе.

За равномерностью подачи сока на сатурацию легко следить, если устроить в контрольном ящике сатурации треугольный водослив, позволяющий измерять количество протекающего сока (рис. 101). В ящике устраивают вертикальную перегородку с треугольным вырезом, обращенным вершиной вниз. Сок, протекающий по контрольному ящику, проходит через треугольный вырез, причем чем больше подается сока, тем больше осяжется напор и перед водосливом. Следовательно, по высоте уровня сока перед водосливом можно судить

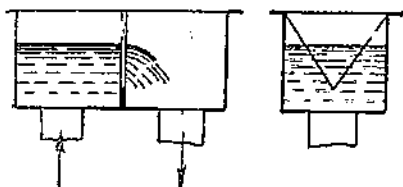


Рис. 101. Треугольный водослив

о количестве подаваемого сока; еще легче наблюдать в ящике ширину протекающей через водослив струи: она также увеличивается с увеличением подачи сока. Соответственно с изменениями скорости сока сатуратчик должен регулировать и подачу сатурационного газа.

Наиболее правильным и единственно надежным решением вопроса о контроле сатурации непрерывного действия является устройство автоматического прибора, показывающего активную щелочность (pH) отсатурированного сока. Такие приборы (recorder) имеются на крупных свеклосахарных заводах США, причем они не только показывают pH сока, но и удерживают его на постоянном уровне (pH = 11), регулируя автоматически — без участия рабочего — подачу сатурационного газа [5].

Действие прибора основано на том, что электропроводность сатурационного сока зависит в значительной степени от ионов OH^- , имеющих большую подвижность по сравнению с ионами солей. Сок заставляют протекать между электродами, к которым подводит переменный ток постоянного напряжения. Температуру сока поддерживают постоянной. Сила проходящего тока зависит от электропроводности сока, т. е. от его щелочности (содержания OH^- -ионов). Эта сила тока измеряется амперметром.

Коэффициент утилизации сатурационного газа определяют, анализируя при помощи прибора Орса газ, идущий на сатурацию, и отработанный газ, уходящий из сатуратора. Положим, что в поступающем газе оказалось $s_0\%$ CO_2 , а в уходящем — $s\%$ CO_2 .

100 л поступающего газа содержат s_0 л CO_2 . Если утилизируется $x\%$ по объему имеющейся углекислоты, то следовательно, по-

поглощено $\frac{c_0 x}{100}$ л CO_2 ; останется в отходящих газах $\left(c_0 - \frac{c_0 x}{100}\right)$ л CO_2 ; объем уходящего газа будет также уже не 100 л, а $\left(100 - \frac{c_0 x}{100}\right)$ л.

Так как в отходящем газе имеется $c\%$ CO_2 , то легко составить уравнение

$$\left(100 - \frac{c_0 x}{100}\right) \cdot \frac{c}{100} = c_0 - \frac{c_0 x}{100},$$

откуда

$$x = \frac{100 \cdot 100(c_0 - c)}{c_0(100 - c)} \%.$$

Например, если поступающий газ содержал 30,2%, а отходящий 10,8%, то утилизировано:

$$x = \frac{100 \cdot 100 \cdot (30,2 - 10,8)}{30,2(100 - 10,8)} = 72,0\% \text{ CO}_2.$$

Ненормальности в работе 1 сатурации и их устранении [16, 20]. Иногда на 1 сатурации наблюдаются ненормальности двух типов: 1) сильное пенение сока, 2) замедленная работа.

Сильное пенение создает угрозу переброса пены на крышу завода и потери сахара. Причины пенения могут быть следующие:

1) низкая температура сока, поступающего на сатурацию: при низкой температуре в соке растворяется больше извести, и в верхней части сатуратора, где сок лишь частично отсатурирован, образуется много желатинозного — вязкого «углекальциевого сахара», который и дает сильное пенообразование; поэтому температура нагрева на решоферах перед дефекацией должна быть не ниже 85°, чтобы сок после дефекации имел температуру не ниже 80°;

2) переполнение сатуратора слишком быстро поступающим соком: при этом приходится прикрывать выпускной вентиль сатуратора (в контрольном ящике); уровень сока в сатураторе повышается; верхние слои быстро поступающего сока будут иметь высокую щелочность, так как углекислого газа не хватает для снижения ее; поэтому также образуется чрезмерное количество углекальциевого сахара и много пены; для прекращения пенения в этом случае нужно лишь снизить уровень сока в котле, прекратив подачу его в котел на несколько минут;

3) недостаточная подача извести на дефекацию: по небрежности в работе на сатурацию могут попасть порции диффузионного сока даже совсем без извести или с очень малым ее количеством; такой сок дает обильное образование пены, так как неочищенный диффузионный сок обладает весьма большой способностью к пенообразованию (сапонины).

Для борьбы с пеной иногда устраивают подвод сатурационного газа через особую дырчатую трубу в надсоковое пространство сатуратора (например в решетчатом сатураторе). Большей частью пенение вызывается углекальциевым сахаром. Поэтому дополнительная подача газа в пену, снижая ее щелочность, разрушает углекальциевый сахар и разрушает пену. Дополнительным газовым барботером пользуются лишь в том случае, когда наступает опасность переброса пены. Чрезмерное пользование барботером-пеногасителем может значительно снизить коэффициент утилизации газа.

Чаше, всего для уничтожения пены вводят в котел через специальную масленку растительное масло как пеногаситель. Следует избегать излишней подачи масла вследствие дороговизны этого материала, кроме того, масло, добавленное в чрезмерном количестве, может заметно отрицательно повлиять на процесс фильтрации сока.

Иногда наблюдается замедленная сатурация: несмотря на то что полностью открыт газовый вентиль, щелочность отсатурированного сока медленно понижается, и приходится задерживать поступление сока на сатурацию, т. е. замедлять работу всего завода.

Причины замедления работы могут быть разнообразны:

1) добавление чрезмерного количества извести на дефекации (это легко установить, титруя дефекованный нефилтрованный сок);

2) низкое содержание CO_2 в сатурационном газе (определяется анализом: при ненормально низком содержании CO_2 , например ниже 25%, исследуют работу газовой печи и проверяют плотность газовой коммуникации от печи до насоса: в этой коммуникации давление ниже атмосферного и возможно засасывание воздуха через неплотности);

3) если количество извести и содержание CO_2 в газе нормальны, а работа сатурации все же идет медленно, то, следовательно, подается недостаточное количество газа, что легко узнать по снижению показаний манометра на газовой коммуникации перед сатурационным котлом. Причины этого могут быть следующие:

а) неисправность газового насоса;

б) неплотности на газовой коммуникации от насоса до сатуратора и в аккумуляторе газа (газовой виндфляше); особенно следует обратить внимание на предохранительный клапан на газовой коммуникации, при помощи которого выбрасывается на воздух избыток газа и не допускается подъем давления его выше нормы: может оказаться, что этот клапан испорчен и не может закрываться или нагрузка на него слишком мала и поэтому он поддерживает слишком низкое давление в трубопроводе;

в) недостаточный подвод воздуха в известкообжигательную печь, что вызывает увеличенное разрежение во всасывающей коммуникации газового насоса и снижает его производительность;

г) чрезмерная подача воды на газовый лавер (заливание лавера), что также создает излишнее разрежение перед газовым насосом;

д) засорение газовой коммуникации;

е) неплотности в газовой коммуникации внутри сатуратора, вследствие чего газ поступает в котел, минуя барботер (частично или полностью); иногда случается даже полный отрыв барботера от подводящей газ трубы; при этом газ, не раздробленный барботером на мелкие пузырьки, очень слабо используется, в связи с чем и сатурация замедляется; эту ненормальность легко открыть, определяя коэффициент использования газа (по анализам подаваемого и уходящего газа); в таких случаях коэффициент оказывается резко сниженным;

ж) временная нехватка газа и задержка на сатурации могут случиться при временной чрезмерно быстрой подаче сока на сатурацию; как и повсюду на сахарном заводе, здесь также важное значение имеет равномерность работы, при равномерной работе достигается максимум производительности.

Периодическая I сатурация. Следует заметить, что далеко не везде и не всегда I сатурация производится непрерывным методом. На ряде заводов имеются периодически действующие котлы I сатурации. В СССР в 1936/37 г. 17% заводов работали с котлами периодической сатурации. В США, в Чехословакии, во Франции — на подавляющем большинстве сахарных заводов имеется периодическая сатурация; в Германии она не преобладает, но все же достаточно распространена.

Устройство котлов для периодической сатурации весьма просто. Они имеют обычно прямоугольное сечение. Дно немного наклонено к спускному отверстию; у дна расположено рядом два барботера для газа (в форме опрокинутых желобов с зубчатыми краями). Высота слоя сока над барботерами — 2,0—2,5 м, высота надсокового

пространства — 4 м. Перегородок внутри котла обычно не устраивают. Иногда для лучшей утилизации газа и более равномерной сатурации всего объема сока в котле устраивается мешалка, но это совсем не обязательно.

Таких котлов для бесперебойной работы должно быть три: один из них набирается соком, второй — сатурируется и третий, уже отсатурированный, опоражнивается.

Рабочий, открыв газовый вентиль у свеженаполненного соком котла, может минут 5—6 не обращать на него особого внимания (нужно лишь следить, чтобы не было перебросов пены). Затем он должен взять несколько проб сатурируемого сока, чтобы уловить момент окончания сатурации. Убедившись, что сок отсатурирован, рабочий закрывает газовый вентиль и открывает спускной.

Длительность периодической сатурации — 7—10 мин., т. е. не превосходит длительности непрерывной сатурации. Рабочую емкость периодического котла I сатурации удобно делать соответствующей емкости двух мерников диффузионного сока (с добавлением на объем прибавляемого на дефекации известкового молока).

Недостатком периодической I сатурации является громоздкость: три котла вместо одного; зато устройство этих котлов значительно проще. Преимуществом является также более надежная работа, так как каждая отсатурированная порция сока направляется на фильтрацию лишь после того, как сатуратчик возьмет пробу сока и убедится, что он нормально отсатурирован. Здесь невозможны случайные временные колебания щелочности, какие бывают при непрерывной сатурации. Там такие колебания могут быть прекращены лишь при наличии автоматического регулирования щелочности.

Утилизация углекислоты из сатурационного газа при периодической сатурации несколько ниже, чем при непрерывной: пока щелочность раствора держится на высоком уровне (около 0,15% CaO), т. е. в течение большей части времени сатурации коэффициент утилизации углекислоты бывает 65—70%; в самом конце сатурации (при щелочности 0,1—0,07%) использование газа снижается до 50—55%. Во всяком случае при хорошем барботере недостатка в углекислоте и при периодическом ведении I сатурации обычно не наблюдается.

Расчет объема котла I сатурации для завода на 10 тыс. ц свеклы в сутки или на 6,95 ц в минуту. Положим, что по продуктовому расчету на 1 ц свеклы получается 118 л сатурированного сока. Если длительность I сатурации равна 10 мин., то рабочий объем котла должен быть $6,95 \cdot 118 \cdot 10 = 8201$ л $\approx 8,20$ м³. Сок в сатурационном котле тесно смешан с пузырьками сатурационного газа, которые занимают около 50% от объема сока. Поэтому эмульсия сока и газа займет объем: $8,20 \cdot 1,5 = 12,30$ м³.

Следует заметить, что запас объема на эмульсию газа в соке (в данном примере 4,10 м³) в сатураторах тех систем, где нет подвода газа в переходную трубу от сатуратора к контрольному ящику (безбарботерный сатуратор), располагается выше уровня перелива в контрольном ящике. В тех же сатура-

торах, в которых имеется подвод газа в переходную трубу (например сист. Ногачевского), запас объема на эмульсию газа располагается ниже уровня перелива в контрольном ящике.

Сверх рабочего объема котла должен быть объем такого же размера на пенообразование. Таким образом общий объем сатурационного котла будет: $12,30 \cdot 2 = 24,60 \text{ м}^3$.

Тепловые процессы на I сатурации. Перед дефекацией сок обычно нагревают до температуры 90° . На дефекацию он смешивается с известковым молоком, имеющим температуру лишь $40-50^\circ$. Кроме того некоторое количество тепла теряется на лучеиспускание и теплопроводность. Поэтому на I сатурацию поступает дефекованный сок с температурой не 90° , а 85° .

Реакция сатурации $(\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O})$ дает на каждый килограмм отсатурированной извести (CaO) — 487 Кал тепла. Но зато имеется ряд потерь тепла: 1) на нагревание уходящего сатурационного газа (например от 40 до 83°), 2) на испарение воды (около $2,5 \text{ кг}$ на 100 кг свеклы), так как уходящий газ насыщен парами воды (например при температуре 83°), 3) на лучеиспускание и теплопроводность.

Потери тепла на I сатурации оказываются значительно больше, чем приход тепла от реакции сатурации. Поэтому сок после I сатурации имеет температуру около 80° .

Перед фильтрпрессами отсатурированный сок прокачивают через решоферы, где он нагревается до температуры 100° . Это облегчает фильтрацию; так как нагретый сок имеет меньшую вязкость; кроме того осадок при нагревании приобретает лучшую консистенцию и оказывает меньшее сопротивление при фильтрации (кристаллики CaCO_3 делаются более ровными, коагулят белков — более плотным).

Конструкция решоферов такая же, как и для диффузионного сока; нагревание выполняется паром с выпарки, имеющим температуру около 110° . Коэффициент теплопередачи: $25 \frac{\text{Кал}}{\text{м}^2 \times \text{мин.} \times ^\circ\text{C}}$

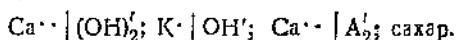
5. II САТУРАЦИЯ

Во время фильтрации сок I сатурации охлаждается на 5—10°. Его пропускают через решетоферы, нагревают до 100—102° и направляют на II сатурацию.

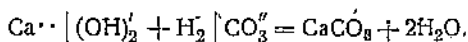
1) ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ II САТУРАЦИИ

Цель II сатурации — уменьшение содержания извести и солей кальция в соке до возможно минимального предела и таким образом дальнейшее повышение доброкачественности сока. Если известь и известковые соли не удалить достаточно полно, то это приведет к быстрому загоранию вытарки, где выпадут неудаленные своевременно известковые соли; кроме того обилие известковых солей вызывает иногда затруднения при уваривании, увеличивает выход патоки и потерю сахара в ней.

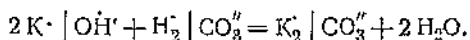
На I сатурации приходится еще оставлять в растворе избыток извести (0,06—0,07% CaO и $\text{pH} = 11$), так как иначе осаждаемые соли кальция начнут вновь переходить в раствор. На II сатурации этого препятствия к возможно полному удалению извести нет, потому что все осадки солей кальция, выпавшие на дефекации и на I сатурации, уже удалены путем фильтрации. На II сатурацию поступает лишь фильтрованный сок I сатурации, который содержит, как было уже показано выше:



Основные процессы. I. Углекислый газ, пропускаемый на II сатурации в сок, прежде всего продолжает то же действие, как и на I сатурации, т. е. осаждает известь и таким образом понижает щелочность сока.



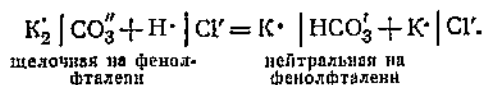
2. Когда известь уже осаждена, углекислота действует на $\text{K} | \text{OH}'$, превращая его в карбонат:



При этом титруемая щелочность на фенолфталеине продолжает уменьшаться.

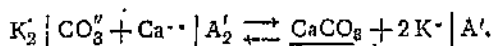
Хотя вследствие гидролиза $\text{K}_2 | \text{CO}_3''$ имеет щелочную реакцию на фенолфталеин ($\text{K}_2 | \text{CO}_3'' + \text{H} | \text{OH}' = \text{K} | \text{HCO}_3' + \text{K} | \text{OH}'$), но при оттитровывании на

ступает нейтральная реакция уже в момент превращения $K_2 | CO_3''$ в бикарбонат:



Таким образом на $K_2 | CO_3''$ требуется лишь один эквивалент $H \cdot | Cl'$, тогда как на соответствующее количество $2 K \cdot | OH'$ при оттитровывании требовалось бы $2 H \cdot | Cl'$, т. е. в два раза больше.

3) $K_2 | CO_3''$ реагирует с солями кальция, осаждая карбонат кальция:



Последняя реакция для II сатурации особенно важна, так как следствием ее является снижение количества находящихся в растворе солей кальция, в чем заключается главная цель II сатурации. Реакцию эту можно рассматривать как обратимую, если иметь в виду, что $CaCO_3$, хотя и слабо, но все-таки растворим в воде.

Температура (°C)	25	50	100
Растворимость $CaCO_3$ (в %)	0,0014	0,0015	0,0018
Соответствующий процент CaO в растворе	0,0008	0,0008	0,0010

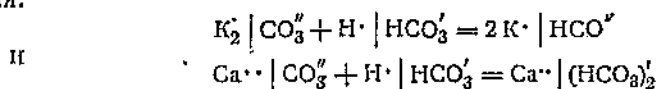
Однако в растворе остаются еще гораздо большие (в 5—10 раз) количества CaO , чем количества его, соответствующие растворимости $CaCO_3$. Это объясняется, вероятно, отчасти тем, что образуются пересыщенные растворы $CaCO_3$, из которых он лишь весьма медленно выпадает, особенно в присутствии сахара.

За последнее время Дедеком выполнена большая работа, в которой он попытался дать физико-химическую теорию осаждения углекальциевой соли. Несмотря на все введенные автором поправки, наблюдавшиеся произведения растворимости $[Ca \cdot \cdot] \times [CO_3'']$ не были постоянными, а колебались по своей величине почти в 10 раз. Очевидно, здесь играют роль еще неучтенные факторы: какие-то вещества, может быть, защитные коллоиды удерживают часть $CaCO_3$ в растворе, несмотря на наличие избытка осаждающего реактива $K_2 | CO_3''$.

Во всяком случае избыток нашего осаждающего реактива ($K | CO_3''$) согласно закону действия масс должен вызывать более полное осаждение $CaCO_3$. Следовательно, нужно стремиться получить в растворе как можно больше $K_2 | CO_3''$.

Отсюда вывод: в растворе не должно оставаться $K \cdot | OH'$, так как это равнозначно уменьшению получению $K_2 | CO_3''$. Сок II сатурации, содержащий $K \cdot | OH'$, следует считать недосатурированным; в таком соке останется больше солей кальция, чем в нормально отсатурированном.

Наоборот, если после превращения всего $K \cdot OH'$ в $K \cdot CO_3$ еще продолжать сатурацию, то сок окажется пересатурированным, так как пойдет реакция образования бикарбонатов кальция и калия:

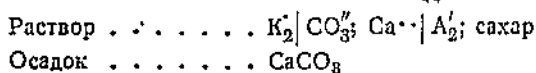


$Ca \cdot (HCO_3)_2'$ имеет уже весьма заметную растворимость в воде (около 0,1%, считая на $CaCO_3$). Но и превращение $K_2 \cdot CO_3$ в $K \cdot HCO_3'$ уже приведет к меньшей полноте осаждения $CaCO_3$, так как уменьшается количество осаждающего реактива $(K_2 \cdot CO_3)''$.

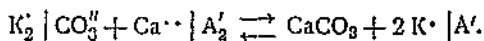
Таким образом, нормально отсатурированный сок II сатурации не должен содержать ни $K \cdot OH'$ ни $K \cdot HCO_3'$, а лишь $K_2 \cdot CO_3''$.

Щелочность и соли кальция после II сатурации. Итак, щелочность сока II сатурации при нормальной работе зависит главным образом от содержащегося в соке избытка K_2CO_3 (кроме этого в соке содержится небольшое количество аммиака, освободившегося из солей аммония и из амидов при их разложении). В осадке на II сатурации имеется почти чистый $CaCO_3$, загрязненный лишь небольшим количеством осажденных и адсорбированных нес сахаров. Содержание солей кальция в соке II сатурации значительно меньше, чем в соке I сатурации. Все это можно выразить следующей схемой:

II сатурация



Натуральная, или естественная, щелочность. На реакцию осаждения карбоната кальция из его солей затрачивается некоторое количество K_2CO_3 :



Обычно после осаждения солей кальция остается в растворе в сатурационном соке еще некоторое избыточное количество K_2CO_3 . Этот избыток K_2CO_3 и называется натуральной или естественной щелочностью. Различают теоретическую и практическую натуральную щелочность.

Теоретической натуральной щелочностью называется избыток K_2CO_3 (выраженный, как принято в сахарной промышленности, в эквивалентном количестве CaO), который остается после полного осаждения всех солей кальция. На самом деле на заводе такого полного осаждения кальция никогда не бывает.

Практической натуральной щелочностью называют тот избыток K_2CO_3 (также считая на CaO), который остается на самом деле в

соке II сатурации после практически достижимого неполного осаждения солей кальция. Таким образом практическая натуральная щелочность всегда выше теоретической.

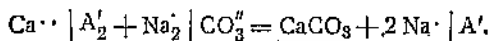
Натуральная щелочность — весьма важный показатель, так как она обнаруживает количество избыточного реактива (K_2CO_3), осаждающего $CaCO_3$. Следовательно, чем больше натуральная щелочность, тем полнее удаление солей кальция из сатурационного сока.

Величина натуральной щелочности зависит от состава диффузионного сока. Вспомним, что K_2CO_3 образовался из КОН, который в свою очередь появился в результате реакций осаждения (эквивалентной количеству осаждаемых кислот за вычетом свободной кислотности диффузионного сока). Некоторые соли кальция оказываются на дефекации в растворе в результате реакций разложения (амиды, инвертный сахар, пектиновые вещества). Таким образом, если разлагаемых известью веществ мало, то будет мало и солей кальция, реакции осаждения будут преобладать и K_2CO_3 окажется в значительном избытке, т. е. получится высокая натуральная щелочность. При увеличении в свеколке количества вредного азота, пектиновых веществ или инвертного сахара (также при увеличении кислотности сока) натуральная щелочность падает.

Следовательно, натуральная щелочность низка в засушливые годы и в восточных континентальных районах (много вредного азота и амидов), низка она также у долго хранившейся, порченной свеклы (больше вредного азота и инвертного сахара). Замедленная работа на диффузии при высокой температуре также понижает натуральную щелочность (переход пектиновых веществ в раствор).

Величины натуральной щелочности колеблются весьма значительно: например в СССР около — 0,01 % (теоретическая) и 0,02 % (практическая), в Германии (1927 г. Salzwedel) — даже до 0,0513 % (теоретическая) и 0,0523 % (практическая).

При слишком малой натуральной щелочности $CaCO_3$ плохо осаждается, и в сатурационном соке накапливается ненормально большое количество кальциевых солей (0,03 % и больше). Они могут вызывать трудное уваривание утфелей. Тогда необходимо снизить содержание кальциевых солей. Этого можно достигнуть, искусственно повышая натуральную щелочность путем добавления к сокам соды; количество ее должно быть эквивалентно количеству CaO , которое желают удалить из раствора согласно уравнению:



Соду раньше рекомендовали давать в сироп (в котел для сульфитации сиропа), но, имея в виду весь смысл ее действия и изложенные выше реакции дефекации и I и II сатурации, наиболее правильно давать ее в контрольный ящик I сатурации (можно даже на дефекацию).

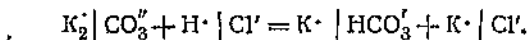
Оптимальная щелочность сока II сатурации — это щелочность, при которой в соке остается минимальное количество солей кальция, так как возможно полное удаление этих солей — главная задача II сатурации. Мы видели, что при недосатурировании и при пересатурировании на II сатурации CaCO_3 всегда осаждается менее полно и больше кальциевых солей остается в растворе. Надо уметь выбрать ту щелочность, при которой сок наиболее чист. Этого достигают путем непосредственного опыта: с несколькими литрами сока I сатурации проводят в лаборатории II сатурацию почти до нейтральной реакции, но отбирают ряд проб при различной щелочности; в этих пробах после фильтрации их определяют щелочность и соли кальция.

Положим, что получились следующие результаты:

Щелочность (в % СаО) . . .	0,056	0,040	0,036	0,031	0,021	0,012	0,007
Соли кальция (в % СаО) . . .	0,0026	0,0024	0,0020	0,0014	0,0013	0,0016	0,0021

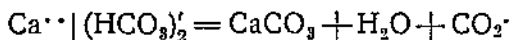
Оптимальной щелочностью будет в данном случае 0,021, так как она соответствует самому малому содержанию солей кальция в растворе, и лаборатория может дать раскисление: держать на II сатурации щелочность 0,021. Оптимальную щелочность нужно определять возможно чаще, так как величина ее зависит от качества перерабатываемой свеклы.

Основываясь на изложенной теории II сатурации, мы должны ожидать, что оптимальная щелочность будет равна половине практической натуральной щелочности. В самом деле, практической натуральной щелочностью называем выраженный в процентах СаО избыток K_2CO_3 , остающийся после осаждения солей кальция на II сатурации. Но при правильно (оптимально) проведенной II сатурации именно этот K_2CO_3 и является той оптимальной щелочностью, которую мы оттитровываем. Только следует иметь в виду, что при титровании K_2CO_3 с фенолфталеином он оттитровывается лишь наполовину (до получения бикарбоната уже нейтрального на фенолфталеин):



Поэтому именно оптимальная щелочность равна лишь половине практической натуральной щелочности.

Температура сока на II сатурации имеет весьма большое значение. При температуре кипения бикарбонаты калия и кальция разлагаются с выделением углекислоты:



Поэтому при температуре около 100° бикарбонаты не могут образовываться хотя бы пропускали и избыток углекислоты.

Таким образом высокая температура сока на II сатурации является наилучшим методом против образования бикарбонатов в

растворе и получения пересатурированных соков. Перед II сатурацией сок необходимо нагревать до температуры 100—102°.

Образовавшийся на II сатурации бикарбонат кальция (при низкой температуре, при чрезмерной сатурации) вызывает затруднения на выпарке: он там разлагается с выделением осадка CaCO_3 , который плотно садится на поверхность нагрева и снижает коэффициент теплопередачи и производительность выпарки.

Добавление извести на II сатурации. Иногда добавляют в котел II сатурации небольшое количество известкового молока (около 0,25% CaO по весу свеклы). Это делается для того, чтобы образовалось больше осадка CaCO_3 , который еще раз дополнительно очищает сок путем адсорбции.

2) АППАРАТУРА И ВЫПОЛНЕНИЕ II САТУРАЦИИ

Аппараты II сатурации. II сатурация выполняется почти исключительно в сатурационных котлах непрерывного действия. Применяют котлы тех же конструкций, как и для I сатурации, т. е. решетчатый сатуратор и сатуратор сист. Ногачевского. Размеры котлов меньше, чем для I сатурации, так как длительность II сатурации принимают лишь в 5, а не в 10 мин.; это понятно, так как на I сатурации требуется отсатурировать около 2% CaO , а на II сатурации — лишь 0,05—0,30% CaO по весу свеклы.

Сатуратор сист. Ногачевского для II сатурации имеет обычно упрощенную конструкцию: горизонтальных перегородок в нем не три, а лишь две; тарелка, на которую подается сок, не вращающаяся, а неподвижная, но у нее делаются зубчатые края, чтобы сок поступал в виде многочисленных тонких струй.

Известковое молоко подается в котел II сатурации обычно непрерывным способом (шланг с регулируемым зажимом).

Для расчета объема II сатуратора принимают [13]: рабочий объем вмещает 5-минутное количество сока и еще 15% добавки на эмульсию газа; на пенообразование прибавляют объем, равный рабочему объему; высоту слоя сока над барботерами берут почти такую же, как в котлах I сатурации, т. е. около 3 м.

Коэффициент использования сатурационного газа на II сатурации ниже, чем на I — лишь около 50% вместо 70%, что имеем на I сатурации. Это объясняется меньшей щелочностью сатурируемого сока.

Контроль II сатурации ведется подобно контролю I сатурации. Применяют периодическое титрование проб отфильтрованного сока, добиваясь, чтобы щелочность была близка к оптимальной и возможно меньше колебалась. Делают частые качественные пробы на фенолфталеиновую бумажку, приготовленную (с лимонной кислотой) так, чтобы она начинала давать окраску при щелочности сока выше 0,01—0,02% CaO . Удобно также пользоваться бумажками, пропитанными специальным индикатором — тимолблеу, который

начинает давать синюю окраску при $\text{pH} > 9-9,5$ (и при щелочности выше 0,01—0,02%).

Охлаждение сока на II сатурации. Вследствие испарения воды на II сатурации при пропускании газа (испаряется 1—1,5% воды) сок охлаждается до 90—95° С. Это охлаждение вредно не только потому, что теряется тепло, но и потому, что при пониженной температуре в соке легче образуются бикарбонаты.

Часто практикуемое добавление извести на II сатурацию (0,25%) требует пропускания через сок большего (в 3 раза) количества сатурационного газа и, следовательно, приводит к большему охлаждению сока.

После II сатурации перед фильтрацией сок нагревается в ре-шофере вновь до 100°, что облегчает фильтрацию и частично, может быть, разлагает образовавшиеся бикарбонаты.

6. БАЛАНС ВЕЩЕСТВ НА ДЕФЕКО-САТУРАЦИИ

1. ЭФФЕКТ ОЧИСТКИ НА ДЕФЕКО-САТУРАЦИИ

Удаление отдельных несахаров. Далеко не все несахара диффузионного сока удаляются на defeкации. Из органических кислот, например, удаляется щавелевая, но не удаляются малоновая и глутаровая кислоты; из азотистых органических соединений удаляются белки, но почти не удаляются аминокислоты.

Эффект очистки сока по отношению к отдельным группам несахаров определялся в заводских условиях целым рядом исследователей (Andriik, Stanek, Vondrak, Душский). Этот эффект колеблется в довольно широких пределах. Ниже приводится обычный средний эффект очистки по отношению к различным группам несахаров [2].

Эффект очистки на defeко-сатурации

Наименование несахаров диффузионного сока		Эффект очистки (в %)
Зола		15
Азот {	общий	35
	белковый	92
	аммиачный	} 85
	амидный	
	бетаинный	4
	вредный	10
Органические вещества		50
Несахара вообще (общий эффект)		40

Относительно амидов и аммиака в приведенных данных показан суммарный эффект очистки на defeко-сатурации и на выпарке, т. е. принято во внимание и разложение амидов и удаление аммиака, происходящие на выпарке.

Итак, полное всего удаляются из сока белки (92%), слабее — органические вещества вообще (50%) и совсем слабо проходит удаление минеральных составных частей — золы (15%). Это понятно, так как зола состоит главным образом из солей калия, остающихся в растворе в очищенном соке.

Общий эффект очистки сока на defeко-сатурации вычисляется, зная доброкачественность диффузионного и сатурационного соков, так же, как выше был вычислен эффект очистки на диффузии (стр. 185).

Положим, что доброкачественность диффузионного сока — 88,0, а доброкачественность сока II сатурации — 92,3. Тогда загрязненность сахара в диффузионном соке равняется:

$$\frac{100 - 88,0}{88,0} = 0,1364;$$

загрязненность сахара в соке II сатурации:

$$\frac{100 - 92,3}{92,3} = 0,0834;$$

снижение степени загрязненности:

$$0,1364 - 0,0834 = 0,0530,$$

или эффект очистки:

$$\frac{0,0530 \cdot 100}{0,1364} = 38,9\%.$$

В отчетах заводских лабораторий обычно все эффекты очистки вычисляют в процентах по отношению к несахарам нормального, а не диффузионного сока. Пусть, например, доброкачественность нормального сока была 86,0, диффузионного — 88,0, сока I сатурации — 91,0 и сока II сатурации — 92,3. Загрязненность сахара найдем: для нормального сока 0,1628, для диффузионного — 0,1364; для сока I сатурации 0,0989; для сока II сатурации 0,0834.

Эффект очистки по несахарам нормального сока:

$$\text{на диффузии} \quad \frac{(0,1628 - 0,1364) \cdot 100}{0,1628} = 16,2\%;$$

$$\text{на I сатурации} \quad \frac{(0,1364 - 0,0989) \cdot 100}{0,1628} = 23,0\%;$$

$$\text{на II сатурации} \quad \frac{(0,0989 - 0,0834) \cdot 100}{0,1628} = 9,5\%.$$

Суммарный эффект очистки: $16,2 + 23,0 + 9,5 = 48,7\%$

$$\left(\text{или можно найти непосредственно: } \frac{(0,1628 - 0,0834) \cdot 100}{0,1628} = 48,7\% \right).$$

Следует заметить, что эффект очистки на I сатурации — величина мало характерная: доброкачественность сока I сатурации ниже, чем доброкачественность сока II сатурации лишь потому, что в соке I сатурации имеется некоторое количество избыточной неудаленной извести. Если работа ведется неправильно, окажется сок I сатурации пересатурирован, то доброкачественность его будет не ниже, а выше, чем при нормальной работе, так как из него удалено чрезмерно много извести; значит, эффект очистки на I сатурации при пересатурировании окажется больше. Зато в нем будет больше несахаров свеклы, чем в нормально отсатурированном соке, и доброкачественность сока II сатурации будет пониженной.

2. СОСТАВ ПРОДУКТОВ И КОЛИЧЕСТВО ИХ НА ДЕФЕКО-САТУРАЦИИ

Состав сока II сатурации. Типичный состав сока II сатурации и рядом с ним для сравнения состав диффузионного сока приведены в табл. 24. От этих данных в практике наблюдаются значительные отклонения.

Таблица

Сок II сатурации (состав в %) в сравнении с диффузионным соком

Составные части	Диффузионный сок	Сок II сатурации
Сахароза	15,0	13,7
Азотистые вещества	0,7	0,5
В том числе:		
белки	0,2	0,0
прочие	0,5	0,5
Безазотистые органические вещества	0,9	0,5
Зола (чистая)	0,4	0,3
Итого сухих веществ	17,0	15,0
Доброкачественность	88,3	91,3

Доброкачественность сока II сатурации может, например, колебаться от 86 до 95. Столь большие колебания зависят главным образом от качества перерабатываемого сырья. Поэтому при исследовании свеклы следует определять доброкачественность очищенного нормального сока. На доброкачественность очищенного сока в меньшей степени влияют четкость в работе дефеко-сатурации и нормальный режим работы на диффузии (быстрая работа при не слишком высокой температуре): упущения на этих станциях могут все-таки привести к снижению доброкачественности очищенного сока приблизительно на 0,5, что даст увеличение потерь сахара в патоке на 0,1 % по весу свеклы — величина весьма ощутительная.

Содержание солей кальция в соке II сатурации при нормальной работе и хорошей свекле бывает около 0,01 % CaO . Если свекла порченная, подмороженная, содержащая много инвертного сахара, — количество солей кальция может оказаться увеличенным в 2—3 и более раз.

Окраска, или цветность, сока — также важный показатель его качества: чем менее окрашен сок, тем легче получить из него хороший белый сахар. Черные окрашенные вещества диффузионного сока полностью удаляются на дефеко-сатурации. Очищенный сок имеет обычно лишь светложелтую окраску, зависящую от продуктов разложения инвертного сахара под действием извести.

Цветность сока измеряют в колориметре Штаммера, сравнивая ее с окраской «нормального» стекла. За единицу окраски принимается окраска такого сока, который при длине столбика его в 100 мм равен по цвету нормальному стеклу: считают, что такой

сок имеет окраску в «1° Штаммера». Если какой-нибудь сок уравнивает окраску стекла не при 100 мм столба, а лишь при 50 мм, то, очевидно, он более окрашен, и окраска его будет не 1°, а $\frac{100}{50} = 20^\circ$ Штаммера. Вообще, если для уравнивания окраски стекла потребовался столбик сока длиной m мм, то окраска будет $H = \frac{100}{m}$ Штаммера (Шт.).

Очевидно, окраска зависит от степени разбавления сока водой: если тот же сок разбавить водой вдвое, то окраска станет в два раза слабее, но качество сока, конечно, не улучшится. Поэтому принято окраску соков пересчитывать «на 100 сухого вещества», т. е. определив окраску, перечислять ее на окраску такого воображаемого (и невозможного в действительности) сока, который содержит 100 г сухого вещества в 100 см³ (подобно тому как удельной вращательной способностью вещества называют также вращательную способность раствора, содержащего 100 г в 100 см³).

Цветность сока II сатурации обычно бывает около 20° Шт. на 100 сухих веществ. Но эта окраска может колебаться в весьма широких пределах, например от 7 до 50° Шт. в зависимости от количества инвертного сахара в диффузионном соке и от качества работы по очистке сока (количество извести, предварительная дефекация, равномерная не слишком низкая щелочность сока I-сатурации).

Содержание коллоидов в соке II сатурации гораздо меньше, чем в диффузионном соке. Там было около 0,35% коллоидов, главным образом белков, пектиновых веществ и сапонинов. Но белки и сапонины удалены на дефеко-сатурации почти полностью, пектиновые вещества — более чем наполовину. Поэтому коллоидов остается в сатурационном соке лишь около 0,08%, или $\frac{1}{4}$ того количества, какое было в диффузионном соке. Кроме того эти коллоиды по своему составу уже иные. В диффузионном соке преобладали белки, а в соке II сатурации содержится приблизительно поровну пектиновых веществ (арабан), белков (вернее, пептонов) и коллоидных продуктов, получающихся под действием щелочи на инвертный сахар.

Состав фильтпрессной грязи, которая отфильтровывается от сока I сатурации, приведен ниже (на 100 частей сухих веществ).

Состав фильтпрессной грязи (на сухое вещество в %)

Составные части

CaCO ₃ и CaO (в виде других солей)	77
Азотистые вещества	6
Безазотистые органические вещества	11
Минеральные вещества (кроме CaO)	4
Сахар	2
Итого	100

Как видно из приведенных данных, фильтпрессная грязь состоит главным образом (почти на 80%) из CaCO₃, так как на де-

фекации применяется большой избыток извести, превращающейся на I сатурации в CaCO_3 . Азотистые вещества грязи представляют собою в основном скоагулированный белок. Среди безазотистых органических веществ грязь содержит в виде кальциевых солей щавелевую, лимонную кислоты, сапонин. Минеральная часть грязи содержит фосфорную кислоту в виде кальциевой соли.

Грязь получается с фильтпрессов в виде влажной массы с содержанием 50% воды. Во влажной грязи содержится около 1% сахара по ее весу.

Грязь может применяться как удобрение, главным образом как известковое удобрение (на кислых торфянистых почвах). Кроме того ее можно рассматривать также, как фосфорное (1,7% P_2O_5 в сухом веществе) и в меньшей степени — как азотистое удобрение (около 0,9% азота в сухом веществе).

Количество продуктов и потери сахара на дефеко-сатурации. Количество фильтпрессной грязи на 100 кг свеклы зависит прежде всего от количества извести, израсходованной для очистки сока. Предположим, что расход извести равняется 2,5 кг на 100 кг свеклы. Из этой извести (CaO) образуется на сатурации CaCO_3 в количестве $\frac{2,5 \cdot 100}{56} = 2,5 \cdot 1,8$. Но так как в грязи содержится

50% воды, то количество грязи, образовавшейся из извести, составит $2,5 \cdot 1,8 \cdot 2 = 2,5 \cdot 3,6$. Так как в грязи кроме CaCO_3 будут находиться и осажжденные несахара, то количество грязи будет несколько больше, т. е. приблизительно $2,5 \cdot 4 = 10,0$ кг. Обычно и считают, что вес влажной грязи равен четверному количеству израсходованной на очистку извести.

Потеря сахара в грязи на 100 кг свеклы вычисляется следующим образом. Если например грязь содержит 1,0% сахара, а количество грязи на 100 кг свеклы (при 2,5% извести) — 10 кг (как только что вычислено), то сахара в грязи будет потеряно.

$$\frac{10 \cdot 1,0}{100} = 0,1 \text{ кг.}$$

Количество сока II сатурации вычисляют так же, как и количество откачиваемого сока на диффузии. Положим, что свекла содержит 17,5% сахара; потери сахара на диффузии 0,3 кг и в фильтпрессной грязи — 0,1 кг на 100 кг свеклы; пусть в соке II сатурации оказалось 13,7% сахара.

На 100 кг свеклы содержалось сахара 17,5 кг; но в сок II сатурации за вычетом потерь перешло лишь $17,5 - 0,3 - 0,1 = 17,1$ кг. Положим, что количество сока II сатурации равняется x кг; тогда количество сахара в нем будет $\frac{x \cdot 13,7}{100}$. Получим уравнение:

$$17,1 = \frac{x \cdot 13,7}{100},$$

откуда

$$x = 100 \cdot \frac{17,1}{13,7} = 125,5 \text{ кг.}$$

7. ФИЛЬТРАЦИЯ СОКОВ

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ФИЛЬТРАЦИИ

Фильтрацией называется процесс отделения осадка от жидкости путем пропускания жидкости через пористую перегородку, задерживающую осадок. Соки сахарного завода приходится фильтровать несколько раз: фильтруют сок I и II сатурации для отделения значительных количеств осадков; кроме того сок II сатурации фильтруют еще раз для удаления тонкой мути, остающейся от первой грубой фильтрации; фильтруют диффузионный сок от мелкой пульпы, проходящей через пульполовушку; наконец фильтруют сироп после выпарки для удаления тонких осадков, появляющихся в соке во время выпаривания.

Фильтры, применяющиеся на сахарных заводах, бывают двух типов: 1) фильтры для удаления значительных количеств осадка (для соков I и II сатурации) — фильтрпрессы, или вакуумфильтры; 2) фильтры для удаления из соков тонкой мути или малого количества осадков (вторичная фильтрация сока II сатурации, фильтрация диффузионного сока и сиропа) — так называемые «механические фильтры». Фильтрующим материалом для отделения осадков служит грубый фильтрпресный холст (джутовый или пеньковый); для механических фильтров пользуются более тонкой хлопчатобумажной тканью (но для фильтрации диффузионного сока применяют мешочную ткань).

Осадок, удаляемый из сока при помощи фильтра, имеет главное значение при фильтрации. Поры фильтрующего материала (холста, хлопчатобумажной материи) обычно бывают больше частиц осадка. Поэтому вначале получается мутноватый фильтрат, но скоро на фильтрующей ткани образуется слой отфильтровываемого осадка. В дальнейшем фильтрация жидкости идет уже через этот слой осадка, в котором имеются пустоты между осевшими частицами, образующие тонкие извилистые ходы, пропускающие жидкость.

Качество осадка имеет огромное значение при фильтрации. Если осадок крупный и кристаллический, то фильтрация идет быстро; через мелкий осадок жидкость проходит медленнее, так как фильтрующие каналы получаются меньших размеров и оказывают большее сопротивление. Еще хуже идет фильтрация, если осадок слишком неоднороден, т. е. содержит и крупные и мелкие частицы: мелочь заполняет промежутки между крупными частицами, что весьма замедляет фильтрацию.

Наиболее трудно отфильтровывать коллоидные желатинозные осадки (жели). Такие осадки образуются и при очистке диффузионного сока (белки, кальциевая соль пектиновой и тетрагалактуроновой кислот, гуминовых кислот и т. п.). Предварительная дефекация имеет целью получение этих осадков в виде плотных хлопьев, что облегчает фильтрацию. Кроме того эти жели распределены между гораздо большим количеством частиц кристаллического осадка CaCO_3 , что также облегчает фильтрацию: жели прилипают к частицам CaCO_3 , задерживаются ими и поэтому не заклеивают поверхности фильтрующей ткани.

Давление, или (вернее) разность давлений по одну и по другую сторону слоя осадка, является движущей силой фильтрации, заставляющей жидкость проходить через капиллярные поры осадка. Если осадок несжимаем, то скорость фильтрации пропорциональна разности давлений. Если же осадок содержит жели, что имеется и в осадках сахарного завода, то с повышением давления осадок сжимается и капиллярные ходы между его частицами делаются уже, что замедляет фильтрацию. Таким образом для сжимаемых осадков скорость фильтрации растет не пропорционально разности давлений, а слабее. Наконец, с дальнейшим повышением давления оказывается, что скорость фильтрации перестает уже увеличиваться, а даже падает, так как повышенное давление становится уже вредным вследствие повышенного сжатия осадка. Давление, при котором получается для данного типа осадка максимальная скорость фильтрации, называется критическим (для фильтров I и II сатурации критическое давление равняется 3—4 атм). Обычно на фильтрпрессах сахарных заводов максимальное давление доводят лишь до 2—3 атм.

Температура. При повышении температуры понижается вязкость фильтруемой жидкости, что ускоряет фильтрацию. Поэтому перед фильтрацией обычно пропускают сок через репшофер и нагревают его до температуры 100°.

Длительность фильтрации. Чем дольше длится фильтрация, тем толще становится слой отфильтрованного осадка и пропорционально толщине слоя растет сопротивление прохождению жидкости, т. е. замедляется процесс фильтрации. Поэтому необходимо периодически очищать фильтрующую поверхность, не допуская образования слишком толстого слоя осадка. Чем чаще разгружается фильтр от осадка, тем быстрее идет фильтрация; однако слишком частая чистка фильтров также нерентабельна: затрачивается излишняя работа и слишком много времени занимают частые простои на чистку фильтров. Поэтому фильтрпрессы I сатурации, которые очищаются вручную, чистят приблизительно лишь через каждые 2 часа. Вращающиеся вакуумфильтры непрерывного действия очищаются автоматически при каждом обороте; поэтому очистка их происходит через каждые 6 мин. т. е. в 20 раз чаще, чем очистка фильтрпрессов.

2. ФИЛЬТРПРЕССЫ И ИХ РАБОТА

Конструкция фильтрпресса. Для отфильтровывания осадка от сока I и II сатурации чаще всего применяются фильтрпрессы сист. Абрагама (рис. 102 и 103). Основными элементами фильтрпресса являются рамы и плиты (см. рис. 103), отлитые из чугуна. Размеры рам — от 800×800 мм до 1000×1000 мм; плиты — такого же размера и имеют рифленую поверхность.

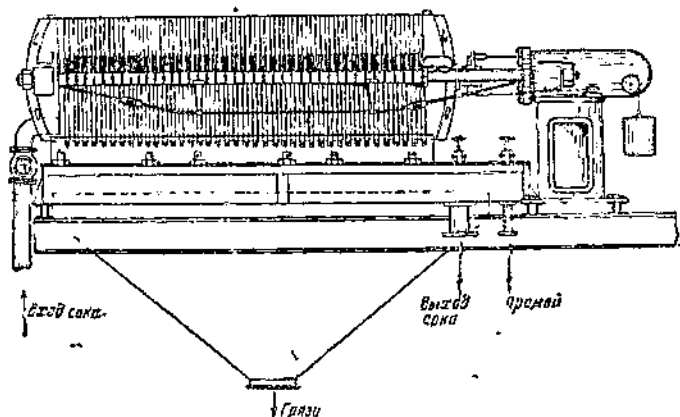


Рис. 102. Фильтрпресс Абрагама

Рамы и плиты снабжены сбоку ручками, опираясь на которые они висят на двух направляющих стержнях станины фильтрпресса (см. рис. 102). Таким образом фильтрпресс состоит из ряда рам и плит, набранных попеременно (например 40 рам и 39 плит). На каждую плиту надевают фильтрующую ткань (перекидывают полотнище ткани через верхнюю кромку плиты так, что ткань висит с обеих сторон каждой плиты). Затем плиты и рамы плотно прижимают друг к другу и последнюю плиту, так называемую подвижную головку фильтрпресса, с силой прижимают или большим упорным винтом с маховичком и рычагами или же при помощи гидравлического зажима (см. рис. 102). Таким образом все рамы и плиты оказываются плотно сжатыми, причем фильтрпрессная ткань является также уплотняющим материалом.

Рамы и плиты имеют внизу приливы квадратной формы с круглыми отверстиями посредине (см. рис. 103). Когда фильтрпресс собран, эти отверстия образуют канал, в который под давлением поступает фильтруемый сок. Для уплотнения на приливы надевают манжеты из фильтрпрессной ткани с вырезанными посредине отверстиями такого же размера, как и отверстия в приливах.

Из отверстия в приливе каждой рамы устроен ход, по которому накачиваемый сатурационный сок вместе с осадком поступает внутрь рамы. После сборки фильтрпресса рама представляет собой

камеру, закрытую с боков фильтровальной тканью, через которую под давлением профильтровывается сок (см. рис. 103). Фильтрат попадает в бороздки рифленой плиты (эти бороздки не позволяют фильтрующей ткани плотно прижаться к плите); по бороздкам профильтрованный сок доходит до выходного отверстия, устроен-

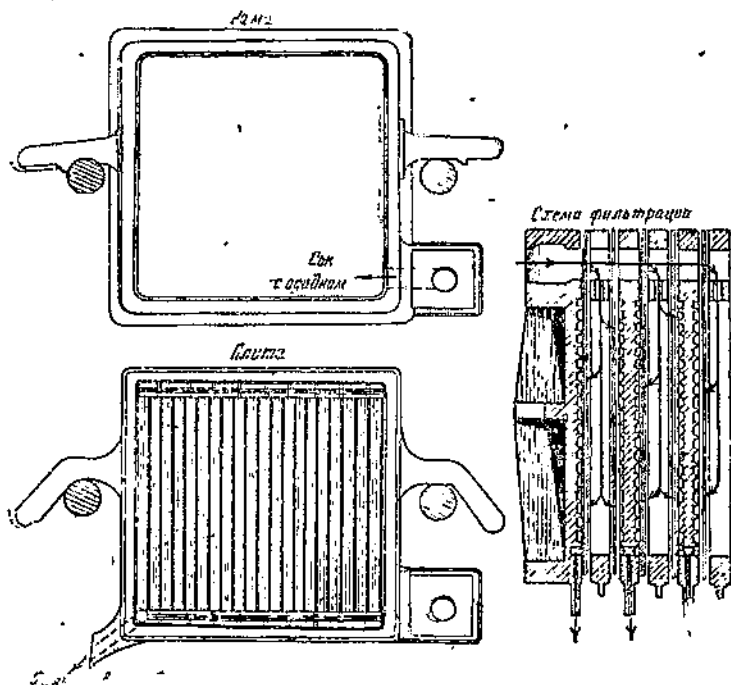


Рис. 103. Рама, плита, схема фильтрации

ного в нижнем углу каждой плиты, и вытекает в жолоб, расположенный рядом с фильтрессом. Из жолоба сок отводится по трубе, которую, если нужно, можно закрыть сверху вентилем. Кроме того имеется труба, по которой отводится промой в период промывания фильтресса.

Чтобы фильтрующая ткань, прилегая плотно под давлением сока к бороздкам плиты, не могла закрыть проход для сока, иногда закрепляют на плите сита. В большинстве же случаев ограничиваются установкой лишь у выходных отверстий плит сетчатых угольников.

Фильтруемый сок с осадком подается от насоса через соковой вентиль в штуцер на неподвижной головке фильтресса, откуда попадает дальше в канал, образуемый отверстиями приливов рам и плит.

Отфильтрованная в рамках фильтрессоная грязь содержит 7—8% сахара. Поэтому ее необходимо промывать, чтобы не терять этого сахара. Для промывания в фильтресс подают воду через

особый вентиль в тот же штуцер, в который подавался грязный сок. Промытая грязь должна быть удалена. Для этого спускают воду из гидравлического затвора фильтрпресса (или отвинчивают винтовой затвор), отодвигают подвижную головку фильтрпресса, что облегчается особыми грузами-противовесами (в фильтрпрессах с винтовым затвором их нет). Затем передвигают одну за другой все рамы и плиты, причем грязь из рам вываливается вниз, а остатки ее с фильтрпрессного холста соскабливают лопатками. Грязь при разгрузке падает через прорез в полу в бункер, находящийся под фильтрпрессом, а оттуда попадает в желоб с мешалкой, расположенный под всей группой фильтрпрессов. Здесь грязь перемешивается с водой и выкачивается с завода как отход производства.

Работа на фильтрпрессах. Для улучшения работы на фильтрпрессах много дали стахановцы сахарной промышленности, например, стахановка Е. Т. Гриценко [55], методы которой и учитываются в дальнейшем изложении.

Фильтрация сока лучше всего вести через двойные салфетки: нижнюю подкладочную и верхнюю рабочую (из более плотной ткани).

По методу т. Гриценко сок на фильтрпресс сначала пускают медленно, чтобы облегчить образование первоначального слоя осадка и избежать получения вначале мутного фильтрата. После того как на салфетках отложится слой осадка, задерживающий муть, открывают соковой вентиль полностью.

Грязь при фильтрации откладывается постепенно все более и более толстым слоем на фильтрующей ткани в рамах фильтрпрессов (рис. 104). В середине рамы между лепешками грязи остается узкий проход, в который и проникают дальнейшие порции фильтруемого сока. При промывании грязи в этот же проход устремляется вода и, промывая грязь, легко вытесняет из нее сок. При опоздании с переключением фильтрпресса на промывку узкий центральный проход в камере забивается грязью нацело и промывка ее становится невозможной.

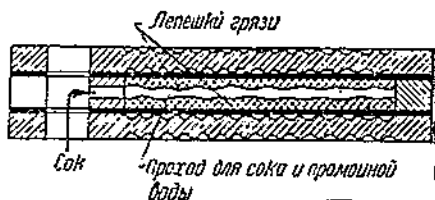


Рис. 104. Отложение грязи в раме фильтрпресса

Чтобы предупредить переполнение рам фильтрпресса грязью, устраиваются две «контрольные» рамы несколько меньшей толщины (например толщиной в 40 мм при толщине прочих рам 46 мм). Контрольные рамы помещают около одной из той же плиты с обеих ее сторон. Контрольные рамы как более тонкие раньше других переполняются грязью, что легко заметить, так как при этом замедлится вытекание сока из плиты, соответствующей контрольным рамам. Это служит сигналом, что фильтрпресс пора уже промывать.

Для промывки грязи применяют горячую аммиачную воду. Расход воды на промывку — 150—200 % по весу грязи. Вытекающий из фильтрпресса во время промывания все более и более разбавленный сок называется промоям. Первая треть промоя, еще очень мало разбавленная, направляется в сок. Затем отверстие для спуска сока в жолобе фильтрпресса закрывают и открывают отверстие для промоя, который направляется на приготовление известкового молока.

Количество отобранного промоя измеряется (приблизительно) сточными желобами: начиная промывку, закрывают и соковое и промойное сточные отверстия; когда жолоб наполнится промоям, его спускают в сок; затем таким же порядком набирают еще два жолоба и спускают в промой. Точнее и правильнее вести промывку грязи, измеряя ареометром Брикса (или упрощенным походным рефрактомером) концентрацию вытекающего промоя, и кончать промывку тогда, когда концентрация промоя снизится до 3 % сухого вещества.

Выгружаемая грязь должна содержать не более 0,8 % сахара.

Для более совершенного промывания грязи стахановка Гриценко применяет методическую промывку. При этом получается 300 % промоя по весу грязи. Из них первые 100 % направляются в сок; вторые 100 % так называемого «густого промоя» идут в особый сборник, и последние 100 % жидкого промоя используются для приготовления известкового молока. В качестве промывающей жидкости вначале используют «густой промой» из сборника (100 %), благодаря чему менее разбавляется первая порция промоя, идущая в сок. Затем для промывки применяют воду (200 %). Для осуществления работы по методу т. Гриценко необходимо иметь два мерника: для густого промоя и для воды, идущей на промывание фильтрпрессов.

Продолжительность промывки, очистки и сборки фильтрпресса должна составлять не более 22 мин. Средняя скорость фильтрации должна быть 4 л в минуту с 1 м² фильтрующей поверхности. Исходя из этих норм, легко высчитать необходимую фильтрующую поверхность для данной производительности.

Как бы тщательно ни очищались и как бы аккуратно ни собирались фильтрпрессы, все же во время их работы возможно подтекание с боков и потеря сока и сахара, который, если не принять никаких мер, попадет через люк под фильтрпрессом в жолоб для размещения грязи. Поэтому во избежание потерь сахара нужно при работе фильтрпресса подставлять под него поддонник, т. е. лист железа с бортиками с трех сторон. Этот лист должен быть немного наклонен к четвертой стороне (без бортиков), куда и будет стекать прорвавшийся сок. Его направляют в жолоб, расположенный вдоль фильтрпресса с противоположной стороны по отношению к расположению сокового жолоба. Прорвавшийся сок мутен, поэтому его направляют обратно в котел 1 сатурации. Во время разгрузки фильтрпресса поддонник сдвигают в сторону.

Нужно следить, чтобы поддонники не протекали, и контролировать путем анализов количество сахара в грязевом жолобе.

Ненормальности в работе фильтрпрессов и их устранение [20]. Главным затруднением, встречающимся в практике работы фильтрпрессов, является медленная фильтрация и повышенное давление при фильтрации, что приводит к снижению производительности завода и к повышению потерь сахара в грязь, промывка которой затрудняется.

Причины этих явлений могут быть следующие:

1) Плохое контроль и регулирование процесса I сатурации, вследствие чего временами на фильтрпрессы попадает сок повышенной щелочности, содержащий «углекальциевый сахарат»; в результате получается мажущаяся грязь, заклеивающая салфетки. Получение порции сатурированного сока с повышенной щелочностью может зависеть и от неравномерной подачи извести на дефекацию, причем резко колеблющаяся щелочность дефекованного сока вызывает колебания и в щелочности сока I сатурации, несмотря на все старания сатуратчика.

2) Пропуски диффузионного сока без дефекации или недостаточная длительность дефекации также ухудшают качество фильтрпрессной грязи и снижают скорость фильтрации.

3) Перегревы на диффузии или слишком длительная диффузия приводят к повышенному содержанию пектиновых веществ в диффузионном соке и к затруднениям в фильтрации. Особенно легко переходят в сок пектиновые вещества из морченой, подмороженной свеклы, которую поэтому следует перерабатывать на диффузии при пониженной температуре. Плохое отфильтровывание пульпы из диффузионного сока также приводит к повышению содержания пектиновых веществ и затрудняет работу на фильтрпрессах; при содержании в диффузионном соке 0,2—0,3% пектиновых веществ уже наблюдаются весьма тяжелые затруднения на фильтрпрессах.

4) Низкая температура I сатурации дает трудно отфильтровываемую грязь, недостаточный подогрев сока перед фильтрпрессами также замедляет фильтрацию.

5) Чрезмерное количество жира, добавляемого при борьбе с пенением на I сатурации, ухудшает фильтруемость грязи.

6) Плохое качество известкового камня, идущего на приготовление извести (особенно, высокое содержание кремнекислоты).

7) Недостаточное давление, развиваемое насосом, подающим сок на фильтр (насос должен быть в состоянии развивать давление перед фильтрпрессами до 2,5—3 атм; давление промывной воды должно быть также до 3 атм).

8) Загрязненность салфеток фильтров: их необходимо периодически промывать аммиачной водой в специальной салфетомойке (дырчатый барабан, в который закладываются салфетки и который вращается в баке с водой).

Часто замечаются ненормальности в работе отдельных плит. Если какая-нибудь плита подает мутный сок, ее отверстие заглушают деревянной пробкой, а при разгрузке фильтрпресса сменяют салфетку этой плиты. Иногда наблюдается замедленное вытекание сока из некоторых плит; тогда при разгрузке фильтрпресса нужно осмотреть и прочистить канал, выводящий сок из плиты, входные отверстия соседних рам, рифлы плиты; иногда угол плиты, в котором устроено выходное отверстие, закупоривается плотно прижатой салфеткой (этот угол во избежание закупоривания должен быть покрыт сетчатым угольником).

3. ВАКУУМФИЛЬТРЫ

Недостатки фильтрпрессов: 1) периодичность работы; 2) тяжелая и грязная работа по открыванию, чистке и сборке фильтрпресса. Эти недостатки отсутствуют во вращающихся барабанных вакуумфильтрах непрерывного действия сист. Оливера, Вольфа, завода «Большевик». Основы действия всех этих фильтров одни и те же.

Устройство барабанного вакуумфилтра. На рис. 105 изображен внешний вид, а на рис. 106 — схематические разрезы барабанного фильтра. Он состоит из вращающегося барабана, погруженного частично (на 35 %) в корытообразный сосуд (см. рис. 105 и поперечный разрез — рис. 106). Поверхность барабана ситчатая и обтянута фильтрующей тканью. Под внешней ситчатой поверхностью на малом расстоянии имеется другая сплошная цилиндрическая стенка. Из промежутка между стенками выкачивается воздух. В корытообразный сосуд поступает сатурационный сок с осадком. Жидкость под влиянием разрежения профильтровывается через ткань, покрывающую барабан, и собирается в промежутке между ситчатым и сплошным барабанами, откуда выкачивается

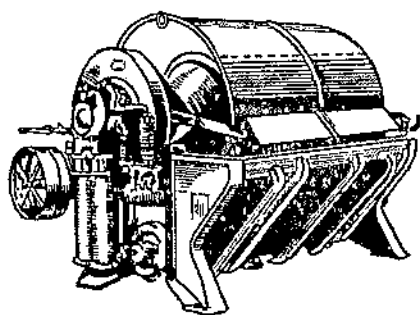


Рис. 105. Вакуумфилтр Вольфа (внешний вид)

по особым ходам. Грязь присасывается к барабану; при вращении его грязь выводится из жидкости в виде слоя на поверхности барабана, затем попадает под струйки воды, промывается и автоматически соскребается «ножом» (скребком) с поверхности барабана.

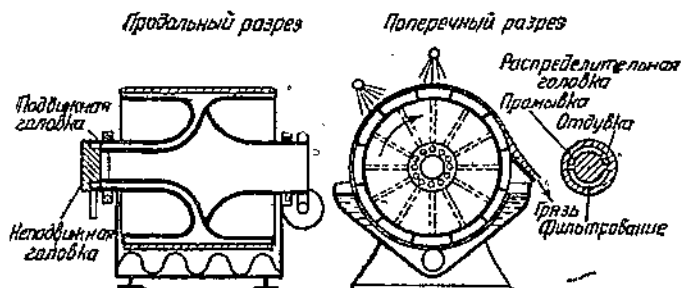


Рис. 106. Барабанный вакуумфилтр

Кольцевое пространство между ситчатым и сплошным барабанами разделено перегородками на ряд секций (см. рис. 106 — поперечный разрез). В каждой секции имеется свой особый выводящий канал, который кончается в подвижной головке вакуумфилтра (см. рис. 106 — продольный разрез, слева). К ней плотно прилегает прижатая пружиной и приточенная неподвижная распределительная головка — подобно тому, как в паровой машине плоский золотник прилегает к золотниковому зеркалу. В распределительной головке имеется три полости (выреза), изображенные на рис. 106 (отдельный чертеж справа).

Когда какая-нибудь из фильтрующих секций барабана при движении погружается в жидкость корыта, то конец соответству-

ющего этой секции выводящего канала в подвижной головке движется против нижнего выреза распределительной головки, а из этого выреза отсасывается фильтрованный сок. Когда фильтрующая секция поверхности барабана попадает под промывающие оросители, то выводной канал секции в подвижной головке оказывается против верхнего выреза распределительной головки, из которого отдельно отсасывается промой. Наконец, когда секция подойдет к ножу, то выводной канал ее придется против правого небольшого выреза сверху в распределительной головке, куда подается сжатый воздух, который отбрасывает (отдувает) лепешку грязи с поверхности барабана, что облегчает соскребание грязи ножом. При дальнейшем вращении барабана описанный цикл работы повторяется. Барабан делает обычно 1 оборот в 6 мин. Толщина снимаемого с вакуумфилтра слоя осадка должна быть 8—10 мм.

Вращающийся барабан вакуумфилтра закрыт сверху неподвижным кожухом, который препятствует охлаждению филтра и выделению из него паров в помещение завода.

В качестве фильтрующей ткани для вакуумфилтров применяют особый сорт хлопчатобумажного полотна — «фильтродиагональ» сорт 150 (стандарт 18-1-22). Скорость фильтрации и прозрачность филтраты зависят от качества фильтрующей ткани, так как при меньшей толщине слоя осадка, чем в рамах филтпресса, свойства ткани имеют большое значение. Для закрепления ткани на барабане вакуумфилтра он обматывается мягкой железной проволокой (диаметром 2 мм с расстоянием между проволоками 30—60 мм); проволока предотвращает выпучивание ткани в зоне отдувки.

В корытообразном приемнике грязного сока устраивается мешалка, чтобы грязь из сока не оседала на дно корыта.

Сок из вакуумфилтра поступает в сборник (ресивер), откуда выкачивается насосом (рис. 107); воздух и пар из верхней части ресивера поступают в барометрический конденсатор, где пар конденсируется при соприкосновении с холодной водой¹, а воздух направляется к воздушному насосу, создающему необходимое для работы вакуумфилтра разрежение. В конденсаторе образуется разрежение в 600 мм ртутного столба, т. е. с некоторым запасом, так как в ресивере для фильтрованного сока требуется

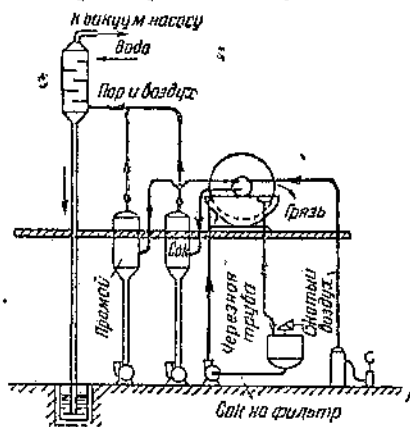


Рис. 107. Схема установки вакуум-филтра

¹ Устройство барометрического конденсатора описано в главе о выпарке.

разрежение лишь 450—500 мм, которое и поддерживается там автоматически при помощи редукционного клапана на трубе, ведущей от ресивера к конденсатору.

Промой из вакуумфилтра отсасывается точно так же, как и фильтрованный сок, но через особый ресивер, в котором поддерживается несколько большее разрежение — 500—550 мм.

Сок с грязью для фильтрации из мешалки подается насосом в корытообразный сосуд вакуумфилтра. Уровень грязного сока поддерживается постоянным при помощи переливной и «черезной» трубы, ведущей обратно в мешалку.

Грязесгустители (thickeners) — сикенеры. Для успешной работы вакуумфилтров слой образующегося на них осадка должен быть не меньше 8—10 мм (иначе снижается использование фильтрующей поверхности, увеличивается количество промоя и усиливается вредный просос воздуха через осадок). Для получения такого слоя грязи необходимо иметь в фильтруемой жидкости высокое содержание осадка — не менее 15—20%, тогда как сок после I сатурации содержит обычно лишь 4—5% осадка. Поэтому сок перед подачей его на вакуумфилтры пропускают через «грязесгустители», которые отделяют от него около 80% всей жидкости в виде прозрачного сока; после этого твердый осадок вместе с оставшейся жидкостью (20%) направляют на вакуумфилтр. Сок после грязесгустителя содержит уже около 20% твердого осадка и успешно фильтруется на вакуумфилтре.

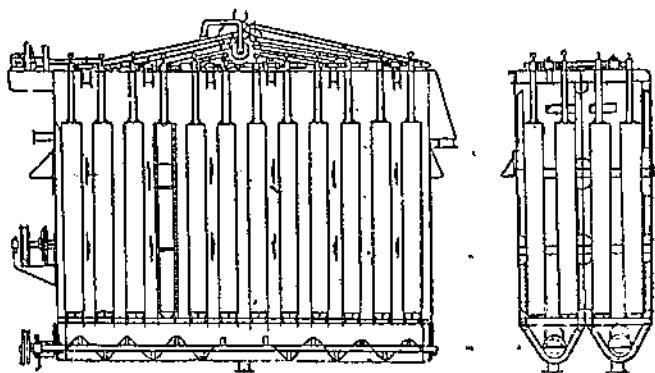


Рис. 108. Грязесгуститель Оливера—Бордена

Грязесгуститель сист. Оливера — Бордена (рис. 108) состоит из ящика, в который поступает сок I сатурации. В ящике установлены в два ряда цилиндрические патроны (на рис. 108 изображен двойной сгуститель из двух ящиков). Патроны имеют ситчатую боковую поверхность и одеты фильтрующей тканью (такой же, как и вакуумфилтры). В патронах создается разрежение (350 мм), под влиянием которого сок профильтровывается внутрь патронов,

а грязь отлагается слоем на их поверхности. Сок отводится в соответствующий ресивер и к насосу на II сатурацию. Периодически вместо разрежения в патроны на один момент резким толчком подается сжатый воздух. Под влиянием толчка воздуха возникающий на короткое время обратный ток жидкости (из патрона наружу) отбрасывает грязь с его поверхности и она падает на дно корпуса. Такие толчки воздуха производятся через каждые 6 мин. при помощи вращающейся распределительной головки, к которой проведены трубки от всех патронов грязесгустителя.

Сгущенная грязь собирается в корытообразном днище грязесгустителя и перемещается при помощи шнека к выходному штуцеру, откуда идет к насосу, подающему ее на вакуумфильтр.

Фильтрующая ткань патронов закреплена на них при помощи проволоочной обмотки. После 4—10 дней работы патроны грязесгустителя извлекаются и промываются горячей водой при кипячении. Сменяют салфетки грязесгустителя через 30—40 дней. Длина патрона — 2 м и диаметр 200 мм.

Рассчитывают величину, необходимой фильтрующей поверхности для грязесгустителей, принимая скорость фильтрации $5,5 \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \times \text{мин.}}$.

Для вакуумфильтров скорость фильтрации равняется $3 \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \times \text{мин.}}$. Необходимо иметь один запасный вакуумфильтр и запасный грязесгуститель.

Отстойник сист. Дорра несколько более громоздок, но удобен в работе, причем не требует никакой фильтрующей ткани. Он представляет собой большой цилиндрический резервуар (рис. 109) со слегка коническим дном. Внутри имеются три конические тарелки с широким отверстием в центре каждой. Весь резервуар заполнен соком I сатурации, который поступает в напорный бак в верхней части отстойника. В напорном баке поддерживается постоянный уровень благодаря наличию черновой грубы, через которую кроме того удаляется пена.

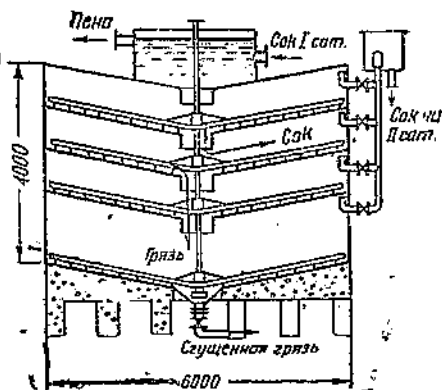


Рис. 109. Грязесгуститель Дорра

Тарелками отстойник делится на четыре низких и широких камеры для отстаивания. Грязь постепенно оседает на тарелки, а отстаившийся прозрачный сок отводится из высшей точки каждой камеры в контрольный ящик, откуда направляется на II сатурацию.

В центре отстойника имеется медленно вращающийся вал (1 оборот в 6 мин.). Вал приводит в движение скребки, поставленные наклонно так, чтобы они сгребали осевшую грязь к централь-

ным отверстиям тарелок. Через эти отверстия грязь падает все ниже и собирается в сгущенном виде в центре нижнего отделения на дне отстойника, откуда и отводится к насосу, выкачивающему ее на вакуумфильтры.

Вся поверхность грязесгустителя сист. Дорра должна быть тщательно изолирована, чтобы уменьшить охлаждение сока.

Для подсчетов размера отстойника сист. Дорра можно принять скорость осаждения частиц грязи $15 \cdot 10^{-5}$ м/сек. В настоящее время при хорошей предварительной дефекации отстойники сист. Дорра должны успешно работать. В США даже и без предварительной дефекации, но при наличии, хорошего контроля работы на I сатурации вновь строящиеся свеклосахарные заводы оборудуются не грязесгустителями сист. Оливера — Бордена, а исключительно отстойниками.

Ненормальности в работе грязесгустителей и вакуумфильтров. 1. Замедленная фильтрация кроме причин, указанных при рассмотрении работы фильтр-прессов, может зависеть еще от следующих обстоятельств: а) малого разрежения; б) неплотностей в соединениях трубопроводов, отводящих сок к ресиверам; в) плохого (нестандартного) качества фильтрующей ткани или ее загрязненности.

2. Получение мутного фильтрата: а) повреждения фильтрующей ткани; б) неудовлетворительная нарядка фильтрующей ткани (например неплотности в местах закрепления ее на патронах грязесгустителя).

3. Велики потери сахара в грязи: а) слабое разрежение в зоне промывки; б) неравномерное орошение осадка на барабане или недостаточность подаваемой воды; в) трещины в слое осадка (следует снизить температуру сока, идущего на фильтры, снизить немного разрежение при промывании; желательна установка на фильтре затирочного приспособления для заглаживания трещин).

4. Мала толщина осадка на вакуумфильтре: а) плохая работа грязесгустителя; б) велико число оборотов барабана.

5. Плохое отделение осадка от ткани: а) мало давление воздуха в зоне отдувки; б) мала толщина осадка; в) мажущийся осадок вследствие неправильной работы на I сатурации или на диффузии (см. «Работа фильтр-прессов»).

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Механические фильтры служат лишь для отделения муты, т. е. малого количества осадков, и для получения совершенно прозрачного сока. Они являются контрольными фильтрами после предыдущей грубой фильтрации. Механические фильтры применяют после фильтр-прессов II сатурации, на которых при фильтрации под большим давлением может получаться мутноватый сок. Через механические фильтры фильтруют также диффузионный сок после грубого отделения главной массы пульпы на пульполовушках. Через них же фильтруют сироп перед выпаркой.

Механические фильтры профильтровывают сок под малым давлением: жидкость поступает на них самотеком из сборника, расположенного лишь на 4—5 м выше фильтра. Поэтому они и могут давать прозрачный фильтрат и удалять тонкую муту.

Термин «механические» фильтры имеет совершенно случайное историческое происхождение. Когда-то (лет 60 назад) на свеклосахарных заводах была весьма распространена фильтрация сатурационного сока через фильтры, наполнен-

ные костяным углем, которому приписывали химическое очищающее действие. Когда селекционеры постепенно улучшили качество свеклы, а технологи—методы очистки сока, то вместо обременительных угольных фильтров начали применять появившиеся фильтры для тонкой фильтрации, которые в противоположность выброшенным «химическим» фильтрам стали называть «механическими».

Работая под малым давлением, механические фильтры имеют более простую и дешевую конструкцию, чем фильтрпрессы. Наибольшее распространение на сахарных заводах получили механические фильтры сист. Прокша.

Фильтр сист. Прокша. Фильтрующим элементом в фильтре сист. Прокша служит рамка (рис. 110), размером 700×700 мм; она сделана из дреннрующей грубой проволочной сетки или из рифленого волнистого железа (иногда применяется просто ряд дреннрующих цепочек). Дреннрующая рамка прикреплена сверху к горизонтальной трубке, имеющей снизу прорезь (щель). Один конец трубки заглушен, а другой открыт. Рамка помещается в мешок из фильтрующей материи так, что выставляются лишь концы трубки (верхние кромки мешка располагаются на трубке «внахлестку» и прижимаются особой привинчиваемой пластинкой, на которой устроены две ручки).

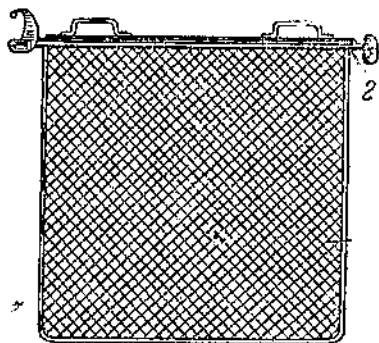


Рис. 110. Рамка фильтра Прокша

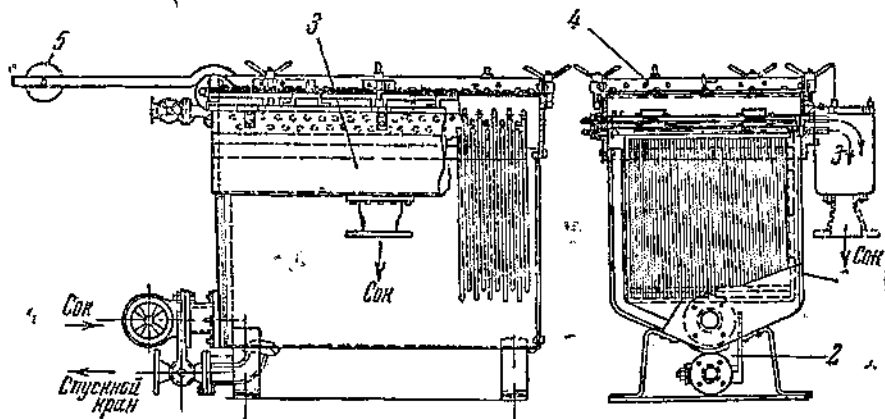


Рис. 111. Механический фильтр Прокша

Целый ряд таких одетых тканью рамок помещается в ящик фильтра (рис. 111), причем открытые концы трубок всех рамок упираются в резиновые уплотняющие кольца выходных отверстий, устроенных в боковой стенке ящика фильтра. Сверху ящик филь-

ра закрывается герметически крышкой, имеющей резиновые уплотнения и прижимающие откидные винтовые барашки.

Мутный сок поступает в нижнюю часть фильтра, заполняет его, фильтруется под давлением столба жидкости через мешки внутри дренарующих рамок, проходит через щель в трубки рамок, вытекает через открытые концы их в отверстия стенок ящика и по вделанным в эти отверстия наружным трубкам течет в жолоб, пристроенный сбоку ящика.

Каждый фильтр имеет до 41 рамки с двухсторонней фильтрующей поверхностью, т. е. общая фильтрующая поверхность — до 41 м². Скорость фильтрации считают для диффузионного сока 7 л/м² × мин; для сока II сатурации — 10 л/м² × мин. и для сиропа — 2,5 л/м² × мин.

Грязь оседает на поверхности мешков механических фильтров. Необходимо периодически сменять рамы и мыть мешки (для диффузионного сока и сиропа — один раз в 8 час., для сока II сатурации — один раз в 24 час). При разгрузке механических фильтров находящиеся в них сок и грязь направляют через спускной край к насосу сока II сатурации. Таким образом грязь попадает на фильтрпрессы II сатурации.

Содержимое фильтров диффузионного сока профильтровывается через мелкое сито: отфильтрованный сок идет вместе с диффузионным соком на предварительную дефекацию, а оставшуюся на сите мезгу промывают водой и удаляют с завода вместе с жомом.

8. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗВЕСТИ И САТУРАЦИОННОГО ГАЗА

1. ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗВЕСТИ И УГЛЕКИСЛОТЫ

Реакция, которая используется в технике сахарного производства для получения извести и углекислоты, — это реакция разложения CaCO_3 при нагревании:



Итак, для разложения грамм-молекулы CaCO_3 , т. е. 100 г, требуется 42,5 Кал, или на 1 кг CaCO_3 нужно 425 Кал.

Диссоциация CaCO_3 происходит лишь при повышенной температуре. Чем выше температура, тем больше давление выделяющегося углекислого газа (подобно тому, как с повышением температуры увеличивается давление водяных паров): при температуре 898° давление CO_2 при разложении CaCO_3 достигает 1 атм, при 1000° это давление равняется уже 3,57 атм.

Таким образом CaCO_3 при температуре ниже 900° почти не разлагается. Чтобы разложение шло достаточно быстро, его ведут при температуре 1000—1200°, но не выше 1200°, так как при слишком высоких температурах (например при 1300°) образуются с имеющимися примесями силикаты и алюминаты кальция и натрия ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ и т. п.), которые, сплавляясь, обволакивают частицы CaO и препятствуют в дальнейшем гашению извести, т. е. получается так называемая «намертво» обожженная известь, или «перепал».

Материалом для получения извести служит природный камень — известняк. Хороший известняк характеризуется таким составом:

углекислого кальция (CaCO_3)	не менее 95%
гипса (CaSO_4)	не более 0,2 "
щелочей (Na_2O , K_2O)	" " 0,2 "
углекислого магния (MgCO_3)	" " 1,5 "
кремнезема (SiO_2)	" " 2,0 "
воды (H_2O)	" " 0,5 "

Известняк с содержанием CaCO_3 ниже 92% считается уже низкого качества. Примеси не только снижают содержание CaCO_3 , но некоторые из них оказывают специфическое вредное влияние в производстве.

Кремнезем, давая плавкие силикаты, увеличивает количество перепала, вызывает внутри печи спавивание кусков известняка, образуя так называемые

«козлы» и давая опасное «зависание» печи. Переходя частично в раствор в коллоидном состоянии, силикаты затем выделяют осадок SiO_2 на поверхности нагрева выпарки и ускоряют ее загорание. Иногда также вследствие выделения коллоидной кремневой кислоты замедляется фильтрация.

Гипс, слабо растворимый в воде (около 0,2%), также приводит к загоранию выпарки.

Щелочи сплавляются с футеровкой печи, давая силикаты, и вызывают быстрый износ футеровки.

2. УСТРОЙСТВО ИЗВЕСТКООБЖИГАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Шахтная печь, сист. Керна. Для обжига известняка применяют шахтные пересыльные печи. Такая печь конструкции Керна (рис. 112) имеет шахту кругового сечения, несколько суживающуюся кверху и книзу. Высота шахты 11—17 м. Стенки шахты выложены из огнеупорного кирпича и заключены для прочности и плотности в железный кожух. Печь опирается на железные колонны (висит).

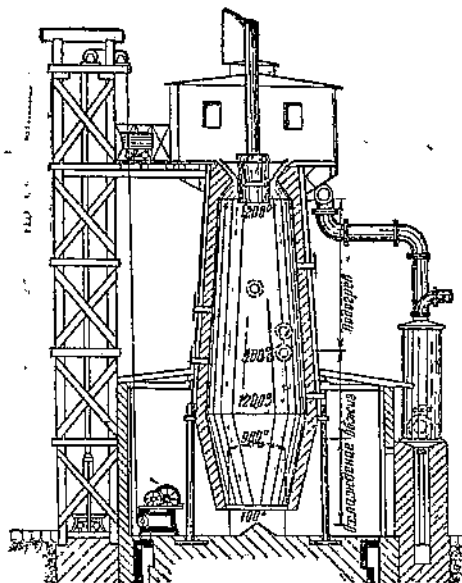


Рис. 112. Известкообжигательная печь Керна

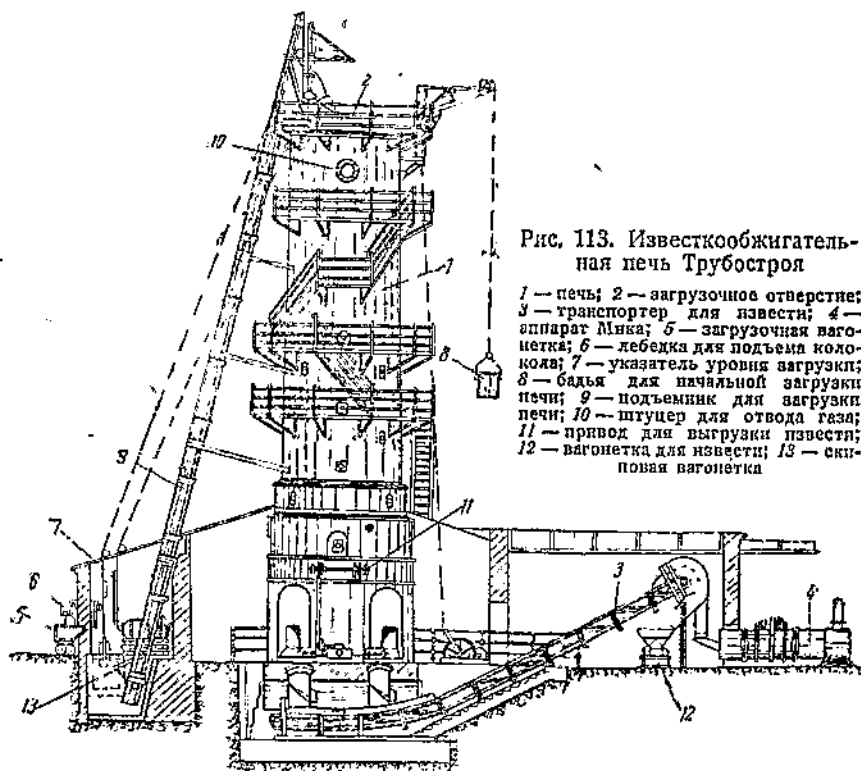
Печь, заполненная кусками обжигаемого известняка, смешанного с антрацитом (или коксом), действует непрерывно: через каждые 2 часа из-под открытого нижнего отверстия шахты выгребают определенное количество готовой извести, причем все содержимое печи несколько опускается; в освободившееся пространство в верхней части печи загружают новую порцию смеси известняка с антрацитом через загрузную воронку, закрываемую подъемным колоколом. Воздух для горения поступает в открытую нижнюю

часть печи, а газообразные продукты горения в смеси с выделившейся из известняка углекислотой отсасываются через трубу из верхней части печи при помощи газового насоса. В период растопки печи или при остановках насоса можно вести горение и на естественной тяге, открывая вертикальную трубу, выводящую газы через крышу верхней надстройки печи.

Длительность пребывания известкового камня в печи — 24 часа.

При установившемся ходе печи антрацит горит в средней ее части, где и развивается максимальная температура (900—1200°). Это — зона обжига, выше которой температура постепенно па-

дает — там нет горения, потому что в газах остается уже мало кислорода; газы здесь охлаждаются, подогревая известняк и кокс (по принципу противотока). Следовательно, это — зона подогрева. Ниже зоны обжига температура также падает, так как горения тоже нет, потому что весь антрацит уже сгорел; раскаленная известь здесь постепенно охлаждается, отдавая свою теплоту посту-



тающему снизу холодному воздуху. Эту зону называют зоной охлаждения.

По высоте печи на зону подогрева приходится приблизительно 40%, на зону обжига 30% и на зону охлаждения 30%.

Известкообжигательная шахтная печь весьма хорошо использует теплоту топлива, так как верхняя часть ее является экономайзером, снижающим температуру отходящих газов приблизительно до 200°, а нижняя часть представляет собой воздушный экономайзер, использующий теплоту извести, которая выгребается при температуре около 100°. Расход антрацита на обжиг известняка составляет около 7,5—10% от его веса. Очевидно, в качестве топлива можно применять лишь те сорта его, которые мало содержат летучих веществ, т. е. антрацит и кокс, так как летучие веществ-

ва выделяются в зоне подогрева, не сгорают, следовательно, теряются без пользы и лишь загрязняют получаемый из печи газ.

Известняк и антрацит подаются на верх печи лифтовым подъемником, работающим от электромотора.

Иногда встречаются бельгийские известкообжигательные печи, отличающиеся от печей сист. Керна лишь тем, что кирпичная кладка их доведена до основания

печи, т. е. они не висят на колоннах. Для выгребания извести в стенках нижней части печи с трех или четырех сторон устроены ниши и выгребные дверцы.

Механизированные печи. Недостаток печи сист. Керна — ручная загрузка ее и выгрузка. Поэтому в настоящее время строят обычно печи с механизированной загрузкой и выгрузкой, которые однако в остальном ничем не отличаются от печей сист. Керна.

Для загрузки применяют скиповые подъемники, которые работают автоматически и управляются снизу (рис. 113). Ковш, загруженный известняком или топливом, в этом типе подъемника поднимается тросом (приводимым в движение

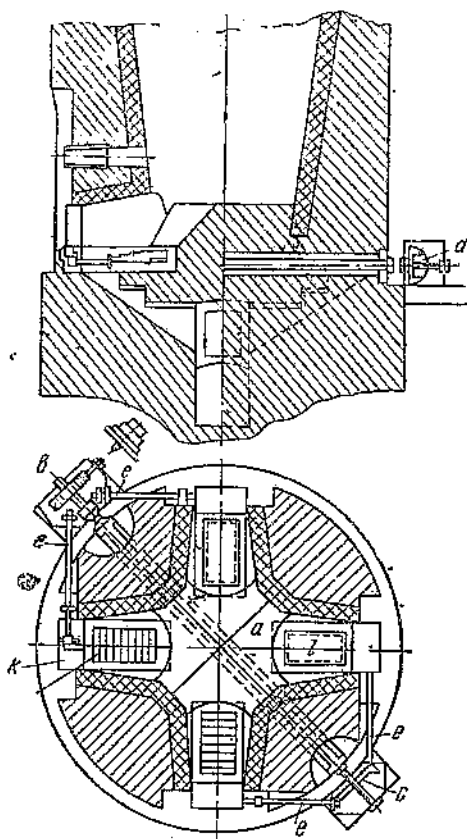


Рис. 114. Выгрузочное приспособление Антонова

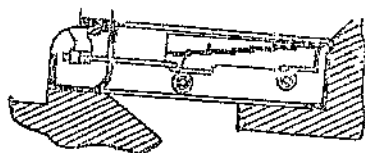


Рис. 115. Выгрузочная каретка Антонова

от мотора) по наклонной эстакаде к загрузочному отверстию печи, над которым ковш опрокидывается и затем вновь возвращается к низу подъемника для загрузки.

Для механизированной разгрузки применяют выгрузочные приспособления сист. Трубостройка и Иссерлиса.

Выгрузочное приспособление сист. Трубостройка (рис. 114 и 115) состоит из четырех ступенчатых кареток, которые, двигаясь вперед и назад, сталкивают известь со ступеньки на ступеньку, затем

сваливают ее на лотки, откуда она попадает на транспортер, подающий ее к барабану сист. Мика для приготовления известкового молока. Такими выгрузочными приспособлениями снабжены современные механизированные печи Трубостроя (рис. 113).

Успешно работает также выгрузочный механизм сист. Иссерлиса (рис. 116). Главной частью его является медленно вращающийся

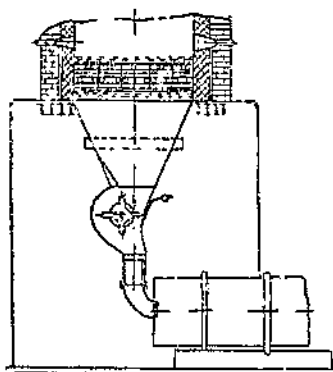


Рис. 116. Выгрузочный механизм Иссерлиса

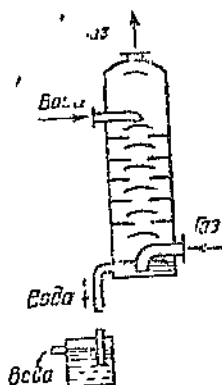


Рис. 117. Лавер

четырёхручачный турникет, который выталкивает известь небольшими порциями. Чтобы тяжелое содержимое печи не давило всей своей массой на турникет, над выгрузной воронкой пропущен чугунный двухскатный гребень, воспринимающий давление и разгружающий от него ниже расположенный турникет.

Лавер. Сатурационный газ, полученный в известкообжигательной печи, отсасывается газовым насосом, который создает тягу, необходимую для работы печи и для поступления в нее воздуха для горения топлива.

Газ нельзя направлять непосредственно в насос, так как он загрязнен (пыль, смолы — продукты сухой перегонки топлива); кроме того газ, выходящий из печи, имеет высокую температуру (150—350°). Поэтому газ на пути к насосу пропускают через лавер (промыватель), где он промывается и охлаждается водой до 20—30°.

Лавер (рис. 117) представляет собой железный вертикальный цилиндр, в нижнюю часть которого поступает газ и идет вверх навстречу воде, льющейся каскадами по устроенным внутри цилиндра перегородкам. Эти перегородки имеют попеременно или круглые вырезы в середине или же закрывают среднюю часть аппарата, но зато не доходят до стенок его, оставляя кольцевой проход для газа. Входная труба для газа загнута вниз, чтобы поступающий газ проходил в виде пузырей через слой воды на дне лавера. Трубка, отводящая использованную воду из лавера, опущен-

на бак с водой, чтобы образовался гидравлический затвор, так как в лавере имеется некоторое разрежение — до 10 см ртутного столба или до 1,30 м водяного столба. Поэтому длина идущей вниз трубы для отвода воды делается не меньше 2 м, чтобы не было засасывания воды внутрь лавера.

Газ после лавера проходит через ловушку для удаления увлекаемой газом воды и поступает на газовый насос. После насоса устанавливается герметически закрытый объемистый сборник для газа, или газовая виндфляна. Он нужен для обеспечения равномерной подачи газа в сатураторы (выравнивание неравномерности подачи от поршневого насоса). На виндфляне имеется предохранительный клапан и манометр.

3. РАБОТА НА ИЗВЕСТКООБЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ.

Основные факторы работы. Количество топлива (антрацита с теплотворной способностью около 7 тыс. Кал) составляет около 8—10% по весу обжигаемого известняка. Если снизить количество антрацита, то понизится температура в печи и увеличится количество «недопала» в извести, т. е. недостаточно обожженного известняка. При повышении количества антрацита температура в печи слишком поднимется (например до 1300°), и известь будет содержать «перепал» («мертвая» известь); кроме того будет разрушаться футеровка печи вследствие образования с известью плавких силикатов и по этой же причине могут образоваться «козлы» и «зависание» печи (т. е. куски извести начнут спаваться плавкими силикатами друг с другом и с футеровкой печи, содержимое печи «зависает» — перестает двигаться, оседать при выгрузке). Температуру печи определяют обычно на глаз по цвету раскаленного камня, который можно наблюдать, открывая гляделки, расположенные в разных местах по высоте печи (см. рис. 112 и 113); должно быть лишь светложелтое, но не белое каление. Получаемая известь может содержать недопал в количестве не более 5%, но в ней совершенно не должно быть перепала.

Выгрузка извести и загрузка камня и антрацита в немеханизированных печах производится через 1—2 часа (не реже 2 час.). В механизированных печах выгрузка идет непрерывно, а загрузка производится через каждые 15—20 мин.

Количество загружаемой смеси камня и угля должно регулироваться так, чтобы зона обжига оставалась на определенном нормальном месте по высоте печи (положение зоны обжига определяют, наблюдая в гляделки содержимое печи). Если снизить размер выгрузок и загрузок печи, то воздух, просасываемый через печь насосом в прежнем количестве, окажется в избытке и начнет сжигать антрацит все в более и более высоких зонах, т. е. зона горения начнет ненормально повышаться. Наоборот, при повышении количества выгружаемых и загружаемых материалов зона горения ненормально понизится.

Итак, при определенной производительности газового насоса получается соответствующая определенная производительность печи. Если требуется уменьшить ее производительность, то необходимо прежде всего уменьшить количество отсасываемого газа и, наоборот, для увеличения производительности печи нужно ускорить ход газового насоса.

Однако при чрезмерном увеличении производительности печи повышается температура уходящего из печи газа, который не успевает достаточно охладиться в зоне подогрева материалов, поэтому падает коэффициент полезного действия печи и увеличивается расход топлива. Известняк при ускоренном ходе печи не успевает разлагаться, и количество недопала увеличивается. Нормальная длительность обжига известняка — 24 часа и нормальная производительность печи — 0,5—0,7 т известня на 1 м³ емкости печи.

Величина кусков известняка и антрацита — весьма важный фактор работы известкообжигательной печи. Слишком крупные куски медленно прогреваются и требуют больше времени для обжига. Следовательно, уменьшая размер обжигаемых кусков известняка, можно увеличить производительность печи. Слишком мелкие куски известняка также вызывают затруднения: они оказывают большое сопротивление движению газа, следовательно, увеличивается разрежение в верхней части печи и в сети перед газовым насосом, увеличивается также количество засасываемого воздуха через неплотности и при загрузке камня.

Нормальные размеры кусков известняка: 100—120 мм в поперечнике при весе около 1,5 кг. Куски должны быть приблизительно одинаковыми: примесь крупных кусков вызывает недопал, так как они требуют большего времени для обжига.

Куски антрацита должны иметь в поперечнике около 50 мм и вес — 100—150 г. Слишком мелкие куски чрезмерно быстро сгорают, вследствие чего уменьшается зона обжига в печи; очень крупные куски, наоборот, не успевают сгорать до конца, и остатки их выгораются вместе с известью.

Повышение производительности печи. Стахановцам сахарной промышленности (например тт. Коновалову и Решетнику) удавалось повышать производительность известкообжигательных печей на 50—80 %, путем уменьшения размера кусков известняка до 1—0,6 кг. При такой работе требовался, конечно, достаточно мощный газовый насос и хорошие условия его работы. Поэтому стахановцы тщательно следили за работой лавера, чтобы к насосу подавался лишь хорошо промытый и охлажденный газ.

Необходимо было также следить за точной дозировкой (по весу) известняка и топлива для загрузки печи. При работе немеханизированной печи загружать ее необходимо весьма быстро (2 мин.) во избежание излишних засосов воздуха.

Для повышения производительности печи весьма целесообразно применение воздушно-вентиляторного дутья, разработанного

тт. Востоковым и Лепешкиным [56]. При этом газы в печи движутся не вследствие разрежения, даваемого газовым насосом, а благодаря напору вдуваемого в нижнюю часть печи воздуха. Поэтому газ выходит из печи почти без всякого разрежения, вредные присосы воздуха отсутствуют, и содержание углекислоты в газе поднимается до 35%. Искусственное дутье позволяет уменьшать вес кусков обжигаемого известняка (например до 0,9 кг) и увеличивать производительность печи до 0,9 т с 1 м³ емкости ее в сутки.

Обжиг мела. Мел часто содержит углекальциевую соль в сухом веществе даже в большем количестве, чем известняк; но мел чрезвычайно порист и поэтому он легко впитывает влагу, количество которой иногда достигает 25%.

Сухой мел (с 5—6% влаги) обжигается без затруднений. Обжиг же мела высокой влажности имеет некоторые особенности. Расход топлива по весу влажного мела такой же, как и при обжиге известняка (9%). Но теплота топлива здесь тратится не только на разложение CaCO_3 , но и на испарение воды; поэтому расход топлива по весу сухого вещества выше на 20—30%. Влага выпаривается из мела в зоне подогрева, топливо же сгорает ниже — в зоне обжига. Увеличенное количество топлива, сгорающее здесь, вызывает чрезмерное повышение температуры газов (например до 1400°). За счет повышенного теплосодержания газов выпаривается затем вода в зоне подогрева. Но высокая температура газов в зоне обжига приводит к получению перепала и к быстрому износу футеровки печи, что и является главным затруднением при обжиге мела.

Инж. Востоков [57] предложил весьма простой и остроумный способ для обжига влажного мела, оправдавший себя на практике. Для обжига дается антрацит не в виде однородных кусков, а в виде смеси быстро горящей мелочи (вес кусочка 3—5 г) и кусков обычного размера (по 100 г.). Мелкое топливо, имея большую поверхность, загорается и сгорает значительно раньше крупного еще в зоне подогрева. Теплота горения мелочи идет на выпаривание влаги из мела; поэтому и примеси мелочи берется тем больше, чем больше содержится влаги в меле. В зоне обжига сгорает в этом случае меньше топлива (лишь крупные куски), и чрезмерного повышения температуры не наблюдается. Обжиг проходит вполне нормально, но требует не 24, а 30 часов.

Ненормальности в работе печи. 1. Перемещение зоны горения вверх. В этом случае, как уже было сказано, нужно усилить выгрузку извести и загрузку камня или уменьшить количество отсасываемых газов, снижая число оборотов газового насоса или приоткрывая шибер на перепускной коммуникации у насоса. Если зона горения понизилась, то замедляют выгрузку и нагрузку печи и усиливают отсасывание газа.

Если зона горения подвинулась и вверх и вниз, т. е. расширилась, то это указывает на чрезмерное количество топлива.

2. Одностороннее горение в печи. В этом случае усиливают выгрузку извести с той стороны, где наблюдается усиленное горение, и проверяют правильность распределения известняка и антрацита.

3. Зависание печи (образование «козла») происходит при чрезмерном повышении температуры (яркобелое каление). Нужно производить непрерывную выгрузку, чтобы содержимое печи было в постоянном движении и не могло сплавиться с футеровкой; количество топлива, конечно, следует снизить. Образовавшийся уже «козел» разбивается ломом через гляделки.

4. Образуется много недопала; это происходит или при наличии слишком крупных кусков известняка и топлива, или вследствие недостаточного количества топлива и недостаточного подвода воздуха, или от чрезмерно форсированного хода печи.

5. Увеличенный расход топлива происходит от чрезмерного форсирования печи (снижается коэффициент полезного действия, повышена температура газа) или при слишком крупных кусках топлива (увеличивается количество негоревшего топлива в извести).

Состав сатурационного газа. Сатурационный газ при правильной работе печи содержит 30—35% CO_2 , 2—4% кислорода и 68—65% азота. Имеется примесь SO_2 (из серы, содержащейся в антраците), а иногда в небольшом количестве окись углерода (при пониженной подаче воздуха).

Наличие кислорода в газе показывает, что горение в печи идет с избытком воздуха. Коэффициент избытка воздуха колеблется от 10 до 30%.

Пониженное иногда содержание CO_2 в газе (например 25%) объясняется вредным присосом воздуха в верхней части печи, особенно в загрузочной воронке и в газовой коммуникации, находящейся под разрежением (до насоса).

Расход топлива, количество углекислоты. Так как для разложения 1 кг CaCO_3 требуется 425 Кал, то на 100 кг CaCO_3 теоретически нужно было бы затрачивать антрацита с теплотворной способностью 7000 Кал («условное» топливо): $\frac{100 \cdot 425}{7000} = 6,1$ кг. На самом же деле расходуется 8—10 кг.

При расходе в 9 кг коэффициент полезного действия печи будет: $\frac{6,1 \cdot 100}{9} = 67,8\%$. Остальные 32,2% тепла теряются (главным образом с горячим сатурационным газом и на лучеиспускание и теплопроводность).

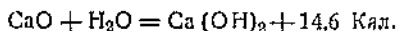
Из 100 кг CaCO_3 выделится 44 кг CO_2 (сообразно с молекулярными весами). Кроме того CO_2 образуется и при горении антрацита. Положим, что израсходовано 9 кг антрацита с содержанием 82% углерода, т. е. $\frac{9 \cdot 82}{100} = 7,38$ кг углерода. Этот углерод дает $\frac{7,38 \cdot 44}{12} = 27$ кг CO_2 (здесь 44 — молекулярный вес CO_2 и 12 — атомный вес углерода).

Итак, всего имеем: $\text{CO}_2 = 44 + 27 = 71$ кг, тогда как для сатурации, т. е. для обратного превращения CaO в CaCO_3 , требуется лишь 44 кг CO_2 . Следовательно, в сатурационном газе имеется избыток углекислоты и ее вполне хватит для сатурации, если средний коэффициент использования сатурационного газа в котлах I и II сатурации будет не ниже $\frac{44 \cdot 100}{71} = 62\%$.

Расчет необходимого объема печи производят, принимая, что с 1 м³ можно получить в сутки 0,5—0,7 т извести (в печах с дутьем — до 0,9 т). Можно рассчитывать объем печи также, принимая длительность пребывания в ней известняка в течение 24 час. (а для мела 30 час.) и считая вес 1 м³ известняка в 1600 кг.

4. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА

Известь для получения известкового молока гасится промоями из фильтров в аппарате сист. Мика. При этом окись кальция превращается в гидрат окиси:



Реакция гашения извести экзотермическая: на 56 г ее (грамм-молекула CaO) выделяется 14,6 Кал тепла или на 1 кг — 261 Кал. При гашении куски извести разрушаются, и гидрат окиси кальция получается в виде тонкой суспензии — «известкового молока».

Известегасильный аппарат сист. Мика (рис. 118) представляет собой горизонтальный цилиндрический барабан, который вращается

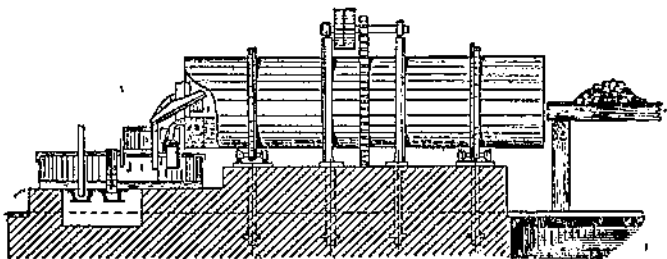


Рис. 118. Аппарат Мика для гашения извести

на роликах, являющихся его опорами. Внутри барабана укреплены по винтовой линии лопатки, перемешивающие куски извести с водой идвигающие к концу барабана неразгасившиеся куски недопала. Здесь они выбрасываются из барабана по наклонной плоскости. Известковое молоко вытекает из этого же конца барабана. В другой конец его, куда подается известь для гашения, поступает также и промой для получения известкового молока.

При недостаточной подаче промоек температура при гашении поднимается так высоко, что сахар, содержащийся в промоях, может разлагаться с образованием темноокрашенных карамелей. Поэтому нужно поддерживать бесперебойную равномерную подачу промоек в аппарат Мика. Обычно температура известкового молока бывает около 65°.

Барабан аппарата Мика делает 5—6 оборотов в минуту. Объем его — 0,5 м³ на каждую тысячу центнеров суточной переработки свеклы при коэффициенте заполнения 0,25.

Из аппарата сист. Мика известковое молоко через сито поступает в горизонтальную корытообразную пескеловушку сист. Русселя, снабженную валом с кулаками. Песок со дна ловушки удаляется при помощи небольшого шнека, а освобожденное от песка известковое молоко поступает в вертикальную мешалку, где доводится до определенной плотности 23° Вё (удельного веса 1,19; содержит в литре 255 г СаО, см., табл. 25) путем добавления промоя. Если же известковое молоко оказывается пониженной концентрации, то уменьшают подачу промоя.

Таблица 25

Таблица известкового молока С. Ленера

Градусы Воме	Количество СаО в 1 л (в г)	Весовой процент СаО	Градусы Воме	Количество СаО в 1 л (в г)	Весовой процент СаО
1,5	10	0,99	15,55	160	14,34
2,7	20	1,96	16,4	170	15,10
3,7	30	2,93	17,2	180	15,89
4,7	40	3,88	18,0	190	16,67
5,7	50	4,81	18,8	200	17,43
6,7	60	5,74	19,6	210	18,19
7,6	70	6,65	20,55	220	18,94
8,5	80	7,54	21,1	230	19,68
9,5	90	8,43	21,85	240	20,41
10,35	100	9,30	22,65	250	21,12
11,2	110	10,16	23,3	260	21,84
12,1	120	11,01	24,1	270	22,55
13,0	130	11,86	24,8	280	23,24
13,9	140	12,68	25,5	290	23,92
14,7	150	13,50	26,2	300	24,60

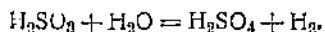
9. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СОКА

Кроме главной очистки сока на дефекации и сатурации иногда применяются еще дополнительные методы очистки с целью получить более прозрачный сок или снизить его цветность. При этом количество удаляемых несахаров весьма мало, т. е. доброкачественность сока остается почти без изменения.

К таким дополнительным методам очистки относится имеющая всеобщее распространение сульфитация сока, т. е. обесцвечивание его путем пропускания сернистого газа. Гораздо реже встречается на заводах обесцвечивание соков при помощи активного угля и фильтрация с добавлением кизельгура для удаления из сока тонкой мути.

1. СУЛЬФИТАЦИЯ

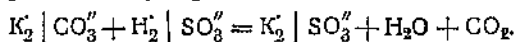
Цель и химизм сульфитации. При пропускании сернистого газа в сок в растворе получается сернистая кислота $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$, являющаяся сильным восстановителем: с водой она даст восстанавливающий водород, превращаясь сама в серную кислоту:



Этот водород в момент выделения восстанавливает органические окрашенные вещества сока, которые превращаются в бесцветные лейкосоединения. Понижение цветности соков (приблизительно на 30 %) и является главной целью сульфитации.

Сок в процессе сульфитации не очищается: окрашенные вещества обесцвечиваются, но не удаляются из раствора. Лейкосоединения, окисляясь кислородом воздуха, могут вновь дать окрашенные вещества (на практике, правда, этого обычно не замечается).

Кроме обесцвечивания сернистая кислота понижает щелочность сока, так как дающий щелочную реакцию карбонат калия замещается на нейтральный сульфит:



Эта реакция весьма полезна для сахарного производства, так как при этом значительно понижается вязкость сиропов, что облегчает кристаллизацию сахара и отделение кристаллов от маточного сиропа. Снижение вязкости соков является второй важной задачей сульфитации.

После сульфитации сок имеет лишь слабую щелочную реакцию на фенолфталеин (т. е. $\text{pH} \approx 8,5$) или даже совсем не дает с ним

никакой окраски, но дает все же красную окраску с индикатором крезол-рот (т. е. имеет $\text{pH} = 7,5-8$).

Кислая реакция после сульфитации ($\text{pH} < 7$; отсутствие окраски с крезол-рот) недопустима, так как это вызвало бы инверсию сахарозы.

Место сульфитации в технологической схеме. На большинстве заводов сульфитируют сироп, получаемый после выпарки. После сульфитации сироп нагревают в решофере до температуры 85° и фильтруют через механический фильтр.

Иногда сульфитируют не только сироп, но и фильтрованный сок II сатурации перед выпаркой. Это полезно: при сульфитации перед выпаркой сок не только обесцвечивается, но и предохраняется от потемнения во время выпаривания, так как образовавшийся в соке K_2SO_3 продолжает действовать как обесцвечивающий фактор.

Сульфитацию сатурационного сока ведут обычно до слабой реакции на фенолфталеин, а сироп в этом случае сульфитируют до нейтральной реакции на фенолфталеин (но щелочной на крезол-рот).

После сульфитации сатурационный сок еще раз фильтруют через механические фильтры.

Получение сернистого газа. Сернистый газ получается на сахарных заводах обычно путем сжигания серы в сернистых печах (рис. 119). Это — чугунная герметически закрытая камера, в кото-

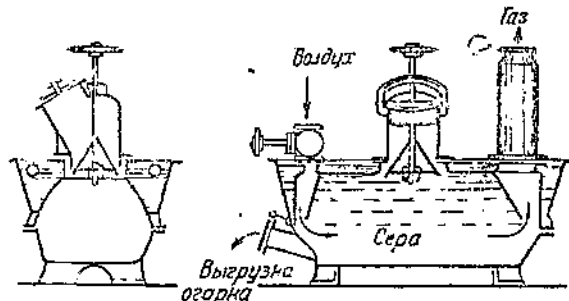


Рис. 119. Сернистая печь

рую периодически загружается сера. Загрузочное отверстие имеет двойной затвор (прижимаемый винтом люк и внизу — конический клапан); поэтому загрузка идет без выделения SO_2 в рабочее помещение: сначала открывают лишь верхний люк и засыпают серу; затем люк заворачивают и открывают конический клапан, причем сера ссыпается внутрь печи. Снаружи печь охлаждается водой, наливаемой в открытый сверху кожух, окружающий печь.

Воздух для горения серы подводится от компрессора, снабженного предохранительным клапаном, регулирующим давление. Для осушки воздух предварительно пропускается через свежеобожжен-

ную известь. Для наблюдения горения печь снабжается слюдяным окном.

Загружают печь через каждые 2 часа. Обычный расход серы 0,008 % по свекле (в США до 0,040 %).

Полученный из печи газ иногда пропускают через слой кокса или гравия для освобождения от примеси серной кислоты и по свинцовому трубопроводу направляют в сульфитатор. При нормальной работе газ содержит 12—15 % SO_2 .

Иногда для сульфитации (за границей) применяют жидкую SO_2 , доставляемую в баллонах, где она развивается при температуре 20° давление около 3,5 атм. Работа с жидкой SO_2 удобнее и учет расхода ее и регулирование точнее.

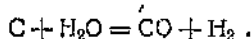
На сахарных заводах „Жучка“ и „Крещатик“, вместо компрессора воздуха поставлен паровой инжектор между сернистой печью и сульфитацией, который и засасывает воздух в печь. Таким образом в печи имеется разрежение, и сернистый газ не попадает в помещение, хотя двери печи держат открытой.

Сульфитационный котел работает обычно непрерывным методом; по устройству он аналогичен сатурационному котлу. Сок подается в него сверху и отводится снизу через контрольный ящик. Внутри котла обычно перегородки отсутствуют. Барботер для распределения газа делается свинцовый или чугунный. Высота слоя сока — около 2 м, такая же высота и надсокового пространства (на пену). Длительность сульфитации — 5 мин.

2. АКТИВНЫЕ УГЛИ

Активным углем называется древесный уголь (березовый, буковый, еловый), обладающий способностью хорошо адсорбировать поверхностно активные вещества, поэтому способный также обесцвечивать соки и сиропы сахарного завода.

Обычный древесный уголь, получаемый при сухой перегонке дерева — весьма слабый адсорбент, так как в порах его частично остаются получающиеся во время сухой перегонки смолы. Чтобы превратить этот обычный уголь в активный, его активируют, прокаливая при температуре 800° и пропуская через него водяной пар. При этом с водяным паром отгоняются смолы; оставшиеся же следы их, а также и часть самого угля окисляются кислородом водяного пара:



Таким образом смоляная пленка с частиц угля удаляется совершенно, а частицы приобретают пористую высокоразвитую поверхность и поэтому обладают высокой адсорбционной способностью. Поверхность 1 г обыкновенного угля составляет около 5 м², тогда как у активированного угля она доходит до 500—1000 м².

Для обесцвечивания соков и сиропов сахарного завода применяется активный уголь в виде тонкого порошка. По химическому составу сухого вещества он представляет собой в основном углерод (90%) с примесью золы и небольших количеств водорода и азота.

Действие активного угля. Активный уголь адсорбирует, т. е. удаляет из соков и сиропов часть окрашенных веществ. Обесцвечивание достигает приблизительно 30%. Так как окрашенные вещества удаляются, то повышается до некоторой степени и доброкачественность сока (правда, почти незаметно, потому что весовое количество окрашенных веществ ничтожно мало).

Место в технологической схеме и способ применения активных углей. Обычно активный уголь применяется для обесцвечивания сиропа после сульфитации и фильтрации.

Обработка активным углем производится периодически, для чего устраиваются две мешалки (в одной перемешивается уголь с сиропом, а из другой обработанный уже сироп выкачивается на фильтрпрессы для отфильтровывания угля). Количество прибавляемого активного угля — около 0,5% сухого вещества угля по весу сахара сиропа.

Уголь прибавляется в виде влажной пасты или в виде сухого порошка; в последнем случае он предварительно размешивается в воде (плотность суспензии должна быть в пределах 1,07—1,12, т. е. 15—25% угля в смеси).

Длительность перемешивания активного угля с сиропом — 5 мин. Затем уголь отфильтровывают на фильтрпрессах и промывают горячей водой (прямой можно применять также для приготовления известкового молока). Для удаления небольшого количества активного угля, прошедшего через ткань фильтрпресса, сироп профильтровывают еще раз через механические фильтры.

Промытый и выгруженный из фильтрпрессов активный уголь, утративший адсорбционную способность, можно регенерировать и вновь пускать в производство.

Регенерация активного угля состоит из химической и следующей за нею термической обработки.

Операции химической регенерации заключаются в следующем: 1) отмывание водой от остатков сахара; 2) перемешивание при температуре 90—95° в течение 2 час. с раствором едкого натра (2%); 3) отфильтровывание раствора едкого натра на фильтрпрессе после предварительного разбавления холодной водой в 2—3 раза (чтобы меньше разрушались от едкого натра фильтрпрессные салфетки) и промывание водой; 4) обработка при температуре 90—95° раствором соляной кислоты (1,5%) также в течение 2 час.; 5) отфильтровывание от раствора соляной кислоты также после разбавления водой в 2—3 раза и окончательное промывание водой. Едкий натр действует растворяюще например на белки, а соляная кислота — на минеральные примеси. Таким образом понижается зольность угля. Время от времени (после 5 оборотов) производится обработка не одним едким натром, а в смесь с содой, что

способствует переходу в растворимое состояние, например, гипса: $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$. Затем полученный CaCO_3 легко растворяется в соляной кислоте.

После химической регенерации следуют: просушивание угля (до 25 % влаги) и термическая регенерация, т. е. прокаливание в особой печи, где уголь движется по закрытым чугунным шнекам (ретортам) и накаливается до температуры 600°. Таким образом разлагаются остатки адсорбированных органических веществ.

Химическая регенерация возвращает лишь 60 % активности, термическая обработка дает до 90 % активности. Описанная выше комбинированная регенерация восстанавливает активность на 95 %.

3. КИЗЕЛЬГУР

Цель применения. Тонкая мусть обычно проходит в небольшом количестве через ткань фильтра. Для получения более прозрачного («блестящего», а не матового) фильтрата весьма полезно прибавлять к фильтруемой жидкости какой-нибудь тонкий пористый неразстворимый порошок, который при фильтрации образует слой на ткани фильтра пористый слой, задерживающий даже самую тонкую мусть. Весьма часто в качестве такого вспомогательного вещества для фильтрации используются кизельгуром. Однако не всякий кизельгур пригоден для этой цели.



Сорта кизельгура. Кизельгуром (кремневая земля) называется тонкий порошок, состоящий главным образом из аморфной кремневой кислоты SiO_2 . Имеются кизельгуры двух типов: трепелы и диатомиты.

Диатомиты состоят в основном из панцирей микроскопических водорослей — диатомей (рис. 120), т. е. имеют органическое происхождение. Диатомит представляет собой чрезвычайно пористый волокнистый порошок малого объемного веса; он прекрасно задерживает все суспендированные частицы из фильтруемой жидкости и в то же время не слишком затрудняет фильтрацию.

Трепел — порошок чисто минерального происхождения (обычно вулканического); состоит он из плотных зерен аморфного кремнезема. Объемный вес его выше, чем у диатомита; жидкости профильтровывается через него лишь с большим трудом, вследствие чего для фильтрации в сахарной промышленности он не применяется. Для фильтрации годятся лишь диатомиты.

Качество диатомита сильно понижается, если к нему примешана глина, так как тонкие частицы глины уменьшают проницаемость диатомита, и скорость фильтрации резко снижается. Диатомит должен быть хорошо измельчен и просеян. Весьма желательно также прокаливание диатомита при температуре 600—800°, так как это значительно улучшает его фильтрующую способность: вероятно, тонкие частицы глинистых примесей приплавляются к частицам диатомита, фиксируются таким образом и не препятствуют фильтрации. Поэтому еще энергичнее (раз в десять) улучшается пропускная способность диатомита при прокаливании с примесью 3,5% хлористого натрия (плавень) при температуре 700—800°. В США весьма распространены всевозможные препараты таких улучшенных диатомитов (суперсель, гифлосуперсель и т. п.). В СССР лучшие залежи диатомита находятся на Кавказе, в Армении (Нурнусский кизельгур), худшие сорта — в Подолии и в Брянском районе. Лучший кизельгур отличается малым объемным весом (200—300 г/л); он должен быть почти совершенно свободен от примеси глины или мела; на 90% состоять из аморфного кремнезема (растворимого в едком натре); содержать не более 2% песку и не более 3% Al_2O_3 ; не окрашивать сахарных растворов.

Применение кизельгура. Для получения совершенно прозрачного блестящего сиропа рекомендуется перед последней его фильтрацией через механические фильтры добавлять к нему диатомит в количестве 0,1—0,2% по весу сухих веществ сиропа. Для более удобной дозировки и размешивания лучше всего прибавлять кизельгур в виде кизельгурового молока, которое готовится путем размешивания кизельгура с соком II сатурации. Получаемый благодаря применению кизельгура вполне прозрачный сироп более четко уваривается в вакуум-аппаратах на кристаллы и в полученном сахаре не будет содержаться включений нерастворимых частиц мути.

Иногда применяют кизельгур и для последней фильтрации сока II сатурации.

Действие кизельгура чисто механическое. Никаких растворенных веществ из соков и сиропов он не адсорбирует и не удаляет.

* 10. ФИЗИКО-ХИМИЯ И ВАРИАНТЫ РАБОТЫ ПО ОЧИСТКЕ СОКА

* 1. КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ ВОДОРОДА В СОКАХ САХАРНОГО ЗАВОДА

Щелочность соков сахарного завода контролируется обычно методом титрования. Однако этот метод не дает никакого представления о концентрации в растворе активной щелочи, т. е. концентрации свободных ионов гидроксила. Например, если имеем 0,1 *n* раствор аммиака, то в нем концентрация ионов гидроксила лишь 0,00131 *n*, т. е. в 70 раз меньше титруемой щелочности, так как NH_4OH — слабое основание (константа электролитической диссоциации лишь $1,80 \cdot 10^{-5}$ при температуре 25°) и большая часть его будет находиться в растворе в виде недиссоциированных нейтральных молекул.

Для водных сильно разбавленных растворов NaOH и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ титруемая и активная щелочность почти совпадают, так как они достаточно хорошо диссоциированы. Однако в присутствии например 14%-ного раствора сахарозы на дефекации при температуре 80°, как мы уже отмечали, лишь 28,8% титруемой извести, или всего лишь $\frac{1}{4}$, оказывается в активном виде, остальная же дает сахарат, т. е. ионы гидроксила нейтрализуются ионами водорода сахарозы, действующей как кислота, хотя и весьма слабая.

Положим, что на I сатурации имеем титруемую щелочность 0,07% CaO , но активная щелочность, концентрация ионов гидроксила, выраженная в эквивалентном проценте CaO , будет лишь около 0,0028%, т. е. в 25 раз меньше титруемой. На II сатурации при титруемой щелочности например 0,01% CaO активная щелочность может оказаться около 0,000028, или в 360 раз менее титруемой. Это объясняется отчасти также тем, что образуются сахараты, отчасти же тем, что оттитровываются соли слабых кислот, дающие лишь малое количество гидроксидов вследствие гидролиза (например K_2CO_3 на II сатурации и соли некоторых органических кислот, например аспарагиновой); кроме того часть титруемой щелочности является аммиачной щелочностью и щелочностью органических оснований. Между тем на ход реакций влияет не титруемая, а активная щелочность. Реакции разложения идут под влиянием гидроксил-иона как катализатора. Коагуляция коллоидов протекает также всегда при определенной активной щелочности или кислотности; например коагуляция белков хорошо идет при

активной кислотности, равной $10^{-4.5}n$, коагуляция известью диффузионного сока — при активной щелочности $10^{-3}n$ и т. п.

Следовательно, контроль процессов очистки сока по активной щелочности и кислотности теоретически более целесообразен, чем по титруемой.

Во всяком водном растворе имеются и ионы водорода и гидроксидов, так как вода диссоциирует (хотя и слабо) электролитически: $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$. По закону действия масс концентрации $\left(\frac{г}{л} \times \frac{ион}{литр} \right)$, ионов водорода и гидроксидов в воде связаны соотношением $C_{H^+} \times C_{OH^-} = K_0$. При температуре 20° $K_0 = 0,86 \cdot 10^{-14}$, или почти 10^{-14} . Итак, $C_{H^+} \times C_{OH^-} = 10^{-14}$. Так как в совершенно нейтральной воде $C_{H^+} = C_{OH^-}$, то находим:

$$C_{H^+} = C_{OH^-} = 10^{-7}.$$

Чтобы не иметь дела с очень малыми величинами (10^{-7}), в практике принято вместо C_{H^+} давать ее логарифм с обратным знаком (так как для малых величин иначе все логарифмы были бы отрицательны). Этот десятичный логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, обозначают рН (Potenz — степень; показатель). Итак:

$$pH = -\lg C_{H^+}$$

Логарифмируя уравнение $C_{H^+} \times C_{OH^-} = 10^{-14}$, найдем:

$$\lg C_{H^+} + \lg C_{OH^-} = -14 \text{ или: } pH + pOH = 14.$$

Имея в виду простую математическую зависимость между рН и рОН, чтобы не усложнять дело измерением двух величин концентрации ионов водорода и гидроксидов, перешли только на рН, так как, зная рН, мы сейчас же найдем (вычитая из 14) и рОН и C_{OH^-} ;

рН определяют электрометрически или — проще — колориметрически по изменению окраски различных индикаторов; например для предварительной дефекации и I сатурации — тимолфталеин, для II сатурации — тимолблау, для сульфитации — крезол-рот.

Значения рН приведены в следующей таблице:

Значения рН		
Реакция	рН	Где встречается
Кислая	1,0	1/10 % HCl
	2,0	1/100 % HCl
	4,5	Оптимум коагуляции белков
	5,5—6,5	Диффузионный сок
Нейтральная	7,0	Абсолютно нейтральная дистиллированная вода при 20°
Щелочная	7,5—8,0	Сироп после сульфитации
	8,4	Нейтральная реакция на фенолфталеин
	9—9,5	II сатурация
	10,8—11,2	I сатурация и предварительная дефекация
	12,0	Дефекация

В целом ряде случаев контроля процессов свеклосахарного производства обычное определение щелочности путем титрования не дает надежных показаний, вследствие чего необходимо определять рН (хотя бы посредством индикаторных бумажек). Например optimum предварительной defeкации и I сатурации лежит при $\text{pH} = 11,0$, тогда как титруемая щелочность в этой оптимальной точке может колебаться в довольно широких пределах в зависимости от качества сырья. Щелочность сульфитированного сока или сиропа путем титрования часто вообще нельзя определить, так как на фенолфталеин они не дают щелочной реакции. Необходимо иными способами (например на крезол-рот) убедиться, не имеют ли эти продукты кислой реакции, т. е. не ниже ли 7,0 рН и нет ли опасности инверсии сахарозы.

Прежде для полной гарантии против инверсии обычно требовали, чтобы вообще все продукты сахарного завода были щелочными на фенолфталеин. Инверсии действительно при этих условиях не было, но кристаллизация сахара и уваривание затруднялись, загорание выпарки усиливалось.

Следует однако иметь в виду, что рН мы определяем обычно лишь при комнатной температуре, и оно не идентично тому рН, какое имел сок при повышенной температуре, так как при повышении температуры в большей степени проходят процессы гидролиза, меняющие рН.

Измерением рН при повышенной температуре за последнее время много занимался Шпенглер. Найдено например, что сок II сатурации, имеющий при температуре 20° $\text{pH} = 9,5$, при нагреве до 100° снижает рН до 8,0. Однако при реакции, близкой к нейтральной ($\text{pH} = 7,0 - 7,5$), это понижение рН при нагревании оказывается значительно меньшим (не на 1,5, а например лишь на 0,5).

Таким образом опасение, будто бы в соке, имеющем при комнатной температуре $\text{pH} = 7$, все-таки при повышенной температуре может идти значительная инверсия сахарозы, не обосновано.

На практике сахарного производства контроль процессов по количественным определениям рН все же не применяется по двум причинам: 1) вследствие сложности таких определений, 2) ввиду того, что, как сказано, рН, определенный при комнатной температуре, не совпадает с тем рН, какое имеется в горячем соке. Однако входят в употребление и могут быть рекомендованы цветные индикаторы для контроля основных станций сахарного завода: тимолфталеиновая бумажка для I сатурации и для предварительной defeкации ($\text{pH} = 11$), бумажка, пропитанная тимолблау, — для II сатурации ($\text{pH} = 9 - 9,5$) и раствор крезол-рот — для сульфитации ($\text{pH} = 7,5 - 8$).

* 2. ЭФФЕКТ И ВАРИАНТЫ ГЛАВНОЙ ДЕФЕКАЦИИ

Эффект defeкации может быть изучен независимо от эффекта сатурации, если defeкованный сок отфильтровывать и лишь фильтрат подвергать обработка углекислотой до оптимальной щелочности (как на II сатурации).

Анализируя полученный таким образом сок, устанавливаем эффект дефекации.

Результаты наших опытов даны в следующей таблице [53].

Эффект дефекации

Количество СаО (в %)		0,3	0,5	1,0	2,0
Анализ сока (дефекация 15 мин. при 85°)	Доброкачественность	93,6	94,2	94,1	94,2
	Цветность (в° Шт.) на 100 сахара	29,0	22,5	18,3	16,7
	Соли СаО (в %)	0,043	0,031	0,016	0,013
Время дефекации (в мин.)		5	20	40	
Анализ сока (дефекация 1% СаО при 85°)	Доброкачественность	96,1	95,2	95,4	
	Цветность (в° Шт.) на 100 сахара	16,9	16,9	17,6	
	Соли СаО (в %)	0,008	0,013	0,011	
Температура дефекации (в °С)		70	80	90	70°, но после фильтрации еще 15 мин. при 90°
Анализ сока (дефекация 1% СаО 15 мин.)	Доброкачественность	95,4	94,9	95,1	94,9
	Цветность (в° Шт.) на 100 сахара	14,6	15,3	16,0	16,6
	Соли СаО (в %)	0,010	0,011	0,015	0,015

Как видим, уже 0,3% извести дают весьма значительный эффект очистки. Дальнейшее увеличение доброкачественности и уменьшение количества солей кальция при увеличении расходуемой на дефекацию извести следует отнести за счет адсорбции известью. Во всяком случае, повышение количества извести до 1,0% дает весьма заметный эффект. Дальнейшее же повышение количества извести от 1,0 до 2,0% дает уже незначительный эффект.

Короткая (5 мин.) дефекация при 85° дает лучший по качеству сатурационный сок, чем продолжительная дефекация (20 или 40 мин.); особенно отражается продолжительность дефекации на накоплении большого количества солей кальция в растворе.

Точно так же при понижении температуры дефекации мы получаем несколько (на 0,5) лучшую доброкачественность сатурационного сока и меньшее количество солей кальция в нем.

Обычно лучший эффект очистки при кратковременной дефекации при пониженной температуре объясняется тем, что выпавший осадок, особенно скоагулированные белки, меньше подвергаются разлагающему действию извести, мало переходят в пептоны, не растворяются вновь и не загрязняют сок. Такое объяснение недостаточно, так как выпавшие осадки, и белки в частности, лишь очень медленно и в малой степени разлагаются под действием извести.

Лучший эффект слабой дефекации правильнее объяснить тем, что при этих условиях не так далеко проходят реакции разложения в растворе. Разлагается меньшее количество например глутамина, аспарагина и инвертного сахара, вследствие чего в растворе оказывается меньше солей кальция и получаются лучшая доброкачественность и цветность. Это легко доказать и доказано нами (см. таблицу) таким образом: более доброкачественный сок (доброкачественность 95,4) полученный при низкой температуре дефекации, был отфильтрован от осадка и щелочной несатурированный фильтрат нагрет до температуры 90° (15 мин.). Такая обработка должна была ускорить реакции разложения в растворе (но коагулированные белки здесь не играли уже роли, так как были отфильтрованы). После сатурации получили сок с уменьшенной доброкачественностью (94,9) и с увеличенным количеством солей кальция (0,013)—как раз такой же, как и после непосредственной дефекации с осадком при температуре 90°.

Итак, можно опасаться, что сатурированный сок лучшего качества, получающийся при короткой дефекации или при низких температурах, имея больше неразложенных амидов, будет на выпарке и в вакуумаппарате ухудшать свое качество и давать ненормальное падение щелочности. Однако при современных высоких темпах работы на выпарке и в вакуумаппарате и при низких щелочностях сатурированного сока (сульфитация перед выпаркой) он, возможно, не успеет понизить свое качество. В конце концов мы, укорачивая процесс дефекации, можем получить при ускоренной работе утфель лучшего качества и уменьшенные потери в патоке, на что и указывают также данные практики, в особенности работа заводов США, где обычно совсем отсутствует процесс дефекации, а дают известковое молоко непосредственно в котел периодической сатурации.

Таким образом следует признать правильным современное стремление к укорочению процесса дефекации.

Следует иметь в виду, что понижение температуры вызывает тот же эффект, как и уменьшение продолжительности дефекации. Между тем, у нас принято температуру на дефекации держать высокую (нагрев в решоферах диффузионного сока до 90°). Возникает вопрос, не лучше ли было бы дефековать при температуре 80°. Эффект дефекации должен получиться тот же самый. Преимуществом является меньшая потеря тепла на 1 сатурации при газовании не столь горячего сока. Недостатком будет несколько меньшая скорость фильтрации. Таким образом приходим к выводу, что на дефекации выгодно понижать температуру, регулируя ее однако таким образом, чтобы фильтрация все-таки не задерживала работу завода.

Можно применять для дефекации известь в различных формах («мокрая» дефекация — известковым молоком и «сухая» — негашеной известью); можно вести дефекацию при различных температурах; можно изменять длительность дефекации; можно дефековать различными количествами извести.

Мокрая и сухая дефекация. Обычно процесс дефекации ведут при помощи известкового молока (мокрая дефекация), но можно дефековать также, спуская куски негашеной извести непосредственно в диффузионный сок дефекационного котла (сухая дефекация). При сухой дефекации в раствор переходит раза в 1½ больше извести (пересыщенный раствор, получаемый при растворении весьма тонких частичек, о чем выше уже говорилось в главе об образовании сахаратов кальция): вместо обычных 0,25 растворяется 0,35%.

В связи с этим реакции разложения проходят несколько быстрее, но все это не так существенно. Очистка сока получается такая же, как и при мокрой дефекации. Можно было бы опасаться

разложения сахара при гашении: извести в дефекационном соке вследствие местных перегревов, но опытами такое явление не обнаружено.

Преимущество сухой дефекации заключается в получении более концентрированного сатурационного сока, так как не вводится в сок вода, идущая для приготовления известкового молока. Правда, туда дается промой с фильтрпрессов, но, ведя промывание фильтрпрессов строго методически, с максимальной экономией воды, можно избежать получения такого количества жидких промывов. Можно например каждый фильтрпресс промывать последовательно густым промывом, затем жидким и лишь под конец водой.

Недостатком сухой дефекации является неудобство манипулирования с кусками негашеной извести, неточность в ее дозировании. Несмотря на это, в Германии сухая дефекация распространена больше, чем мокрая. В прочих сахаропроизводящих странах (и в СССР) применяется почти исключительно мокрая дефекация.

Температура. Обычный метод работы: горячая дефекация и сатурация с предварительным нагревом перед дефекацией до температуры 90°, после сатурации перед фильтрацией еще раз нагрев до 100°.

В противовес этому предложена была холодная дефекация в двух вариантах [58]:

1) холодная дефекация (30°), нагрев до 70° и сатурация (Aulard);

2) холодная дефекация (50°) и сатурация при той же температуре, нагрев лишь перед фильтрацией до 90° (Овсянников).

Изобретатели ждали повышенного эффекта дефекации на холоду, имея в виду повышенную растворимость извести при низкой температуре. Однако обычные реакции осаждения (фосфорной, щавелевой и тому подобных кислот) идут одинаково хорошо и быстро как при нагревании, так и на холоду. Что касается реакций разложения, то они при 50° (на примере аспарагина) идут в восемь раз медленнее, чем при 85°. Вследствие этого дефекацию по Aulard'у и по Овсянникову ведут около 2 час.

Холодная дефекация по Aulard'у и по Овсянникову на практике не прижилась вследствие ее чрезмерной продолжительности (кроме того при работе по Овсянникову получались большое пенение и плохая фильтрация).

За последнее время Киевским филналом ЦИНС вновь предложен метод холодной дефекации, но не удлиненный, а обычной продолжительности [59], после чего сок должен нагреваться на решетофере до температуры 90° и направляться на I сатурацию. Перед холодной главной дефекацией кроме того вводится предварительная дефекация. Автор предложения (Карташов) указывает, что главная дефекация при высокой температуре может лишь ухудшить, сделать желатинозным плотный осадок, выпавший на предварительной дефекации; поэтому по его мнению и желательна холодная дефекация. Действительно, при применении холодной

дефекации по КФЦИНС фильтрация идет значительно легче, особенно при переработке порченной свеклы. Иногда сильно испорченную свеклу удастся перерабатывать, только применяя холодную дефекацию.

Реакции разложения при холодной дефекации по КФЦИНС проходят лишь в незначительной степени. Это также является преимуществом метода холодной дефекации. При переработке порченной свеклы диффузионный сок содержит очень много пектиновых веществ. Если вести горячую дефекацию, то пектиновая кислота в значительной степени разлагается, давая тетрагалактуроновую кислоту, кальциевая соль которой является особенно трудно отфильтровываемым иском. При холодной же дефекации в осадке имеем легче отфильтровываемую кальциевую соль пектиновой кислоты.

Можно было бы опасаться, что при незавершенных реакциях разложения на дефекации будет наблюдаться падение щелочности и нарастание цветности на выпарке, в результате чего получится сироп худшего качества. Однако такое опасение не оправдалось на практике. Кроме того в случае надобности можно проводить реакции разложения и на II сатурации, давая туда дополнительно 0,2% извести. Обеспечение реакций разложения будет еще более надежным, если перед II сатурацией провести II дефекацию (например на 5 мин.), добавив при этом 0,2% извести, вместо того чтобы давать ее непосредственно в котел II сатурации, что и предлагалось также ВНИИС [60]. Однако едва ли требуется такое усложнение технологической схемы.

Продолжительность дефекации зависит, как было указано выше, от температуры ее. При чрезмерном укорочении процесса дефекации или при полном его устранении получаются соки большей доброкачественности и меньшей цветности, но они могут обнаруживать ненормальные явления при дальнейшей переработке (сильное падение щелочности и нарастание цветности на выпарке), если не снижать в достаточной степени рН перед выпаркой путем сульфитации (до $\text{pH} = 8$).

Итак, в настоящая время принята длительность дефекации в 8 мин., что обеспечивает значительное продвижение реакций разложения и устраняет чрезмерное падение щелочности и потемнение сока на выпарке. Однако есть много данных, говорящих за дальнейшее укорочение дефекации, причем получаются лучшие соки (меньшая цветность, меньше солей кальция), но для того чтобы они не изменились на выпарке, необходима углубленная сульфитация перед выпаркой (до $\text{pH} = 7,5-8$) и высокие темпы ведения процессов выпаривания и уваривания.

В США многие заводы обходятся даже совсем без отдельной станции дефекации: они дают известковое молоко непосредственно в котел I сатурации, выполняемой периодическим методом, и немедленно начинают сатурировать, причем перемешивание сока с известковым молоком выполняется пузырями сатурационного газа.

Это — так называемая «дефеко-сатурация», которая применялась раньше и на сахарных заводах Европы.

Можно и при непрерывной I сатурации обходиться без дефекационного котла, устраивая непрерывную подачу известкового молока непосредственно в сатуратор вместе с диффузионным соком, что было предложено Аггеевым [61] и Логиновым [54]; это — так называемая «моментальная» дефекация.

Работа без дефекации имеет особенно большое значение при переработке испорченной свеклы. В этом случае, рекомендуют (Оплатка) при периодической сатурации давать в сатурационный котел известковое молоко лишь медленно и постепенно, производя одновременно и сатурацию. Подача извести должна регулироваться так, чтобы в сатурационном котле в продолжение всего процесса сатурации поддерживалась оптимальная щелочность ($pH = 10,9$), что контролируется при помощи тимолфталейновой бумажки. Беттгер рекомендует сверх того после подачи 60% всего количества извести приостанавливать дальнейшую подачу известкового молока, производить пересатурирование сока до 0,02—0,01% CaO ($pH = 9,1$), затем продолжать вновь подачу извести и сатурацию до конца, поддерживая $pH = 10,9$. Указывают, что при этих условиях удается и с испорченной свеклой получать удовлетворительную фильтрацию при небольшом сравнительно расходе извести.

Итак, при испорченной свекле всякое, хотя бы временное, повышение щелочности на дефеко-сатурации выше $pH = 10,9$ вредно и резко ухудшает фильтрацию. Даже более длительное выдерживание сока при $pH = 10,9$ уже приносит вред (поэтому в этих условиях оказалась вредна предварительная дефекация, что, правда, сомнительно).

Такие явления при переработке испорченной свеклы можно объяснить наличием в соках большого количества пектиновой кислоты, которая с известью дает удовлетворительно отфильтровываемый осадок; но при действии щелочи пектиновая кислота разлагается, давая продукты (тетрагалактуроновая кислота), образующие с известью жели, весьма затрудняющие фильтрацию, что было показано на опыте в одной из наших работ в 1939 г. [66].

Количество извести. Теоретически для дефекации совсем не требуется 2% извести по весу свеклы, которые обычно применяются на сахарных заводах, а достаточно (как выше указано) уже 0,3%, т. е. в семь раз меньше. Работа с меньшими количествами извести имеет ряд преимуществ: 1) меньший расход на известковый камень; 2) меньшая загрузка транспорта (при 2% извести приходится подвезти около $\frac{2 \cdot 100}{56} = 3,6\%$ известняка, или для

среднего завода в 10 тыс. ц свеклы в день — больше двух вагонов известняка ежедневно); 3) меньший расход тепла на I сатурацию; 4) получение фильтрпрессной грязи, более ценной как удобрение и в меньшем количестве, следовательно, освобождение от обремене-

тельного отброса. Ввиду перечисленных преимуществ становится понятным стремление сахаротехники к уменьшению расхода извести на дефекацию.

Однако при уменьшении расхода извести мы сталкиваемся с целым рядом затруднений в производстве, которые сводятся к следующему: 1) ухудшается фильтрация сока, так как грязь делается слизистой, заклеивающей поры фильтра; 2) сатурационный сок оказывается повышенной цветности, с большим количеством солей кальция и с пониженной доброкачественностью, так как с уменьшением количества извести уменьшается и эффект адсорбции на сатурация.

Предложен ряд способов для уменьшения расхода извести с одновременным устранением вредных последствий этого.

Для улучшения фильтрации предлагалось заменять часть извести мелом или кизельгуром, давая вместо 2 лишь 1% извести и кроме того 1% мела или кизельгура. При этом фильтрация действительно улучшается, но адсорбция остается все-таки плохой, так как ни мел, ни кизельгур не обладают адсорбционными свойствами свежесаживаемого CaCO_3 ; следовательно, по цветности и солям кальция при таком методе работы получаются ухудшенные показатели. Кроме того преимуществом при этом способе является лишь уменьшение количества обжигаемого известняка, но ничего не выгадывается ни на транспорте, ни на удобрительных качествах и количестве грязи. Поэтому способ замены извести мелом или кизельгуром на практике не привился.

Другой путь добиться отделения осадка — это декантировать его вместо отфильтровывания (седиментация), причем для быстрого осаждения можно применять бесситовые осадочные центрофуги со сплошной боковой стенкой. Чтобы осаждение шло успешно, нужно употреблять оптимальное количество извести (0,2—0,3%) для получения наиболее плотного осадка и наиболее прозрачного раствора (об этом оптимуме уже говорилось выше). Этот метод тщательно изучен Skola [62], который нашел, что даже при таких малых количествах извести сок очищается уже значительно, грязь получается весьма богатой фосфорной кислотой (около 7%), однако очистка оказывается далеко неполной (большая цветность, больше солей кальция).

Еще легче отделяется осадок при малом количестве извести (0,20—0,35% CaO) по методу Фридриха: дефекация при повышенном давлении (1—2 атм) в автоклаве (температура 120°). Получается грязь, хорошо отфильтровывающаяся и легко отделяемая на центрофуге. Грязь содержит в сухом веществе около 5% P_2O_5 , 8% белков, следовательно, может применяться как кормовое средство (в смеси с жомом).

Однако этому методу присущи те же недостатки, что и методу седиментации при более низких температурах (больше солей кальция и интенсивнее цветность сатурационного сока).

В последнее время Шпенглер и Беттгер также дали новую схему очистки сока с малым количеством извести [63]; предлагается давать лишь «оптимальное» количество извести до $pH=11$ (0,2—0,3%) и после нагрева до температуры 85° фильтровать без сатурации; затем подвергать фильтрованный сок I сатурации с добавлением 0,1% СаО и II сатурации — также с добавлением 0,1% СаО; осадки СаСО₃ с I и II сатураций добавляются на дефекацию, чтобы облегчить отфильтровывание осадка. Следовательно, всего затрачивается около 0,5% СаО, но схема сложна и первая фильтрация будет затрудненной.

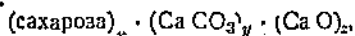
* 3. ТЕОРИЯ И ВАРИАНТЫ I САТУРАЦИИ

Коллоидный СаСО₃ на сатурации [64]. В тот период сатурации, когда раствор еще имеет весьма значительную щелочность (например 0,15% СаО), наблюдается, что жидкость при сатурировании сильно пенится, выпадающий осадок СаСО₃ имеет желатинозный характер, не оседает в пробе на ложке и весьма плохо фильтруется, причем оказывается, что этот осадок содержит и СаО и сахар. Лишь после снижения щелочности сатурируемого сока ниже 0,10% получается легко оседающий и фильтрующийся осадок СаСО₃ и уменьшается образование пены. Эти явления столь явны, что сатуратчик по быстроте оседания осадка на ложке может приблизительно угадывать степень щелочности отсатурированного сока.

Здесь мы имеем процесс коллоидный — пептизирующее действие щелочного раствора сахарозы на осадок СаСО₃.

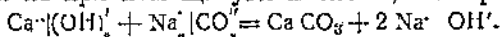
В первые моменты пропускания углекислоты в отфильтрованный от избытка извести сахарат кальция какой бы то ни был осадок отсутствует совершенно; повидимому, здесь получаются комплексные растворимые соединения СаСО₃ с сахарозой и избытком СаО. При дальнейшем пропускании углекислоты образуются коллоидные растворы — золи СаСО₃, где каждая частица его (не молекула, а группа молекул) связана с группой молекул СаО, сахарозы и воды. При уменьшении щелочности (дальнейшее сатурирование) золи становятся нестойкими, желатинируются и выпадает жель СаСО₃, также связанный уже с меньшим количеством адсорбированного сахарата кальция. При дальнейшем понижении щелочности (меньше 0,1% СаО) жель постепенно переходит в кристаллический хорошо фильтрующийся осадок СаСО₃.

Все эти промежуточные комплексные и коллоидные образования называются «углекальциевыми» сахаратами и могут быть изображены схемой



где x и z постепенно уменьшаются по мере того, как процесс сатурирования идет дальше и щелочность падает.

Образование комплексных соединений, зелей и желей СаСО₃ в присутствии сахара и щелочи наблюдается еще резче, если получение СаСО₃ вести не при помощи углекислоты, а посредством соды:



При этих условиях раствор оказывается более щелочным ($\text{Na}^+ \cdot \text{OH}^-$), вследствие чего явление образования зелей выступает резко: к раствору сахара кальция можно прилить постепенно почти полное количество ($\text{Na}_2 \cdot \text{CO}_3$), достаточное теоретически для осаждения всей извести, и осадка все-таки еще не получится. При дальнейшем приливании раствора соды иногда полностью желатинируется вся жидкость. При стоянии из такого желя постепенно выпадают крупные кристаллы, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Условием образования комплексных соединений, зелей и желей CaCO_3 является наличие сахара и щелочи (безразлично NaOH или извести): щелочный сахарный раствор пептизирует CaCO_3 .

Если взять раствор $\text{Ca}^{++} (\text{HO})_2$ (известковая вода), то он с содой сразу дает кристаллический осадок CaCO_3 , так как здесь имеется щелочь, но нет сахара, и золь не образуется. При действии соды на раствор $\text{Ca}^{++} \text{Cl}_2$, хотя бы и в сахарном растворе, также сразу выпадает кристаллический CaCO_3 , так как здесь имеется сахар, но нет щелочи. Из щелочно-сахарных зелей CaCO_3 он немедленно выпадает в кристаллическом виде, если нейтрализовать щелочь например соляной кислотой или если прибавить NH_4Cl , так как при этих условиях понижается активная щелочность (образуется слабо диссоциированный NH_4OH).

Если на кристаллический порошок CaCO_3 действовать щелочным сахарным раствором, то он частично пептизируется, делается желатинозным и трудно отфильтровываемым; образуются сильно гидратированные частицы, содержащие сахарозу и щелочь.

Такие же явления наступают при действии щелочного раствора сахара и на другие нерастворимые или плохо растворимые соли кальция (CaC_2O_4 , CaSO_4 и пр.) и на такие соединения, как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Здесь мы имеем общий метод получения отрицательных зелей. Между прочим, это свойство не одной лишь сахарозы, но вообще органических поли-оксисоединений, как это видно из опытов Думанского с сотрудниками (маннит, винная кислота, глицерин и т. п.).

Нами уже отмечалось выше, что все нерастворимые соли кальция немного растворяются в присутствии сахара и щелочи.

Образование зелей и желей CaCO_3 и появление огромного количества пены особенно резко наблюдаются при пониженной температуре сатурации (например ниже 70°). Чрезмерное пенообразование мешает проводить процесс I сатурации на холоду (например при температуре $40-50^\circ$): пена легко выбрасывается из сатурационного котла на крышу здания.

Адсорбция на I сатурации. Адсорбция — способность весьма многих растворенных веществ накапливаться в большой концентрации на поверхности частиц осадков — вообще во всяких поверхностных слоях раствора: на обычной поверхности жидкости, на поверхности пузырьков пены и т. п. Адсорбируются так называемые

поверхностно активные вещества, т. е. обладающие способностью понижать поверхностное натяжение растворителя.

Эти вещества, способные адсорбироваться, весьма вредны для сахарного производства, так как они могут адсорбироваться и поверхностно кристаллов сахара, загрязняя их и препятствуя кристаллизации. Поэтому необходимо их удалять. Способностью адсорбироваться и пользуются для удаления поверхностно активных веществ: образующийся в процессе сатурации осадок CaCO_3 состоит из весьма мелких частиц с огромной общей поверхностью, на которой и адсорбируется ряд несахаров, удаляясь таким образом из раствора. Это дает дополнительный эффект очистки — главный эффект, получающийся в процессе I сатурации.

Среди удаляемых путем адсорбции несахаров, имеются соли кальция различных неорганических и органических соединений (особенно аминокислот), а также и красящие вещества сатурационного сока (продукты изменения инвертного сахара под действием извести). Следовательно, при I сатурации значительно снижаются содержание солей кальция и цветность очищенного сока.

Главной задачей I сатурации является именно очистка сока методом адсорбции. Если бы адсорбция несахаров не считалась важной для производства задачей, то можно было бы обходиться совсем без I сатурации, так как дефекованный сок удовлетворительно фильтруется, а фильтрат, имеющий щелочность около 0,25% CaO , мог бы сразу сатурироваться до конечной низкой щелочности (метод Sieger'sa). Однако такой метод дает худшие и по доброкачественности и по цветности соки, так как при нем не используется процесс адсорбции для дополнительной очистки.

Из суммарного эффекта очистки сока на долю действия I сатурации приходится около $\frac{1}{5}$.

В количественном отношении явление адсорбции приблизительно может быть выражено уравнением Лэнгмюра (несколько измененным):

$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot c}{b + c},$$

где: x — количество (в г) адсорбированного вещества; m — количество (в г) адсорбирующего вещества; c — концентрация адсорбируемого вещества, оставшегося еще в растворе после установившегося адсорбционного равновесия; a и b — постоянные величины для данных адсорбирующего и адсорбируемого вещества.

Отношение $\frac{x}{m}$ выражает удельную адсорбцию, т. е. приходящуюся на 1 г адсорбирующего вещества (у нас — CaCO_3 или можно также относить и к 1 г первоначальной извести, считая что m — количество граммов извести, израсходованной на 100 г сока). Следовательно, $\frac{x}{m}$ выражает интенсивность использования адсорбирующего вещества.

При увеличении остаточной концентрации c , т. е. в растворах более загрязненных поверхностно активными веществами, $\frac{x}{m}$ увеличивается, т. е. адсорбирующее вещество на единицу его веса адсорбирует больше (см. уравнение Лэнгмюра).

Однако удельная адсорбция растет не пропорционально; например с увеличением остаточной концентрации в два раза удельная адсорбция возрастает менее чем в два раза.

При бесконечном увеличении остаточной концентрации удельная адсорбция стремится к некоторому постоянному максимальному пределу: $\frac{x}{m} = a$ (так как $\frac{ac}{b+c} = \frac{a}{b/c+1}$, что при $c = \infty$ превращается в $\frac{a}{0+1} = a$).

Итак, постоянная a имеет физический смысл — это максимальная удельная адсорбция, которая получается при полном насыщении поверхности адсорбирующего вещества адсорбируемыми молекулами (насыщенный мономолекулярный слой по Лэнгмюру); это, так сказать, максимальная емкость адсорбирующего вещества.

При уменьшении остаточной концентрации, т. е. при очень малых значениях c , уравнение Лэнгмюра превратится в $\frac{x}{m} = \frac{a}{b} c$, т. е. при очень малых значениях концентрации c удельная адсорбция пропорциональна ей, и коэффициентом пропорциональности является величина $\frac{a}{b}$. Отношение $\frac{a}{b}$ характеризует интенсивность, с которой адсорбирующее вещество извлекает из раствора последние остатки поверхностно-активного вещества.

Максимальная удельная адсорбция a зависит и от адсорбируемого вещества, т. е. от количества его (Γ — по Лэнгмюру), какое может разместиться на единице поверхности адсорбента, но главным образом от размеров поверхности адсорбирующего вещества. При большем размельчении его (при большей степени дисперсности) поверхность единицы веса делается больше и пропорционально растет максимальная удельная адсорбция. Следовательно, мелкий осадок CaCO_3 будет адсорбировать лучше, чем крупный.

Интенсивность адсорбции $\frac{a}{b}$ зависит и от свойств адсорбента и особенно от свойств адсорбируемого вещества. Легкой адсорбируемостью, поверхностной активностью обладают органические кислоты и соли, спирты; молекулы их гетерополярны; эти вещества понижают поверхностное натяжение воды. Наоборот, углеводы (и сахара в том числе) не обладают поверхностной активностью и поэтому почти не адсорбируются.

В качестве адсорбента CaCO_3 особенно ценен для сахарной промышленности, потому что его мелкие кристаллики имеют положительный заряд и вследствие этого хорошо адсорбируют кол-

лонды сока, заряженные отрицательно (коллоидные окрашенные продукты разложения инвертного сахара, пептоны).

Поставленные нами ориентировочные опыты адсорбции солей кальция и красящих веществ на I-сатурации показали, что константы a и b уравнения Лэнгмюра значительно колеблются, так как колеблется состав адсорбируемых несахаров, причем меньше колеблется константа a и больше — b . В среднем приблизительно для адсорбции красящих веществ $a = 1$ и $b = 1$ (красящие вещества — в °Шт. на сок II сатурации, но не на 100 сухих веществ; m — количество извести г/100 см³). Для адсорбции солей кальция в среднем $a = 0,04$ и $b = 0,01$ (соли кальция — в % СаО в соке II сатурации).

Для лучшего исследования явления адсорбции необходимо сопоставить начальное содержание адсорбируемого вещества (C_0 %) с конечным остаточным содержанием его после адсорбции (C %). Очевидно, количество адсорбированного вещества (из 100 см³) $x = C_0 - C$. Подставляя это значение x в уравнение адсорбции (Лэнгмюра), найдем:

$$\frac{C_0 - C}{m} = \frac{aC}{b + C}.$$

В этом уравнении имеются три переменные величины: m , C_0 и C . Пользуясь нашим уравнением, можно решить ряд задач для характеристики процесса адсорбции. Рассмотрим адсорбцию солей кальция, считая:

$$a = 0,04 \text{ и } b = 0,01.$$

1. Влияние количества примененной извести на снижение количества солей СаО после адсорбции на I-сатурации видно из диаграммы рис. 121 (рассчитано по уравнению Лэнгмюра для начальной концентрации солей $C_0 = 0,040\%$ и при константах $a = 0,04$ и $b = 0,01$).

Как видно из диаграммы, первые малые порции адсорбента вызывают особенно большой эффект. Повышение же количества адсорбента производит все меньший дополнительный эффект и делается все менее и менее рентабельным. На практике обычно применяют 2—2,5 % СаО по весу свеклы.

2. Диаграмма рис. 122 дает эффект удаления солей кальция (в %) путем адсорбции на сатурации при применении одного и того же количества извести (1 %), но при различной начальной концентрации солей кальция.

Вывод из этой диаграммы следующий: применение процесса адсорбции — хороший метод для удаления из раствора малых количеств поверхностно-активных веществ; для очистки же от более значительных загрязнений этот метод гораздо менее пригоден, так как эффект (в %) очистки становится в этом случае значительно меньше.

3. Ступенчатая адсорбция эффективнее однократной. Если например для очистки сока намерены израсходовать на сатурации 2% СаО, то выгоднее применять известь не в один прием, а сначала провести сатурацию и фильтрацию например в 1,5% СаО; к фильтрату добавить остальные 0,5% СаО и снова сатурировать

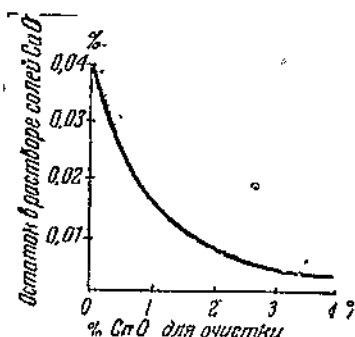


Рис. 121. Адсорбция солей СаО на I сатурации в зависимости от количества примененной извести

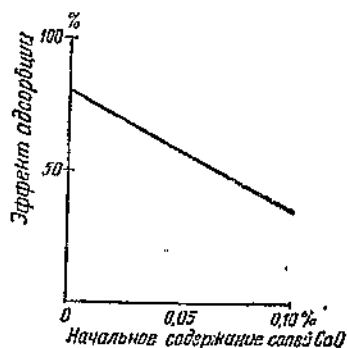


Рис. 122. Эффект адсорбции солей СаО на I сатурации при 1% извести и при переменном начальном количестве СаО

вать и фильтровать. Это понятно, так как после обработки 1,5% извести остаточная концентрация адсорбируемого вещества будет больше, чем при обработке 2% извести. Поэтому и адсорбция на 1 г адсорбента из этого более загрязненного раствора окажется больше, т. е. эти 1,5% извести будут интенсивнее использованы.

Большую выгодность ступенчатой адсорбции можно показать и примерным расчетом (при помощи уравнения Лэнгмюра). Например при начальной концентрации солей кальция в 0,04% (при $a = 0,04$ и $b = 0,01$) адсорбция на сатурации с 2% извести дает эффект 82,5%. Если же устроить двойную сатурацию сначала с 1,5% и затем с 0,5% извести, то получится эффект 89,6%.

На этом основании вполне целесообразно не всю известь расходовать на дефекацию и I сатурацию, а некоторую часть ее давать на II сатурацию.

Уравнение Лэнгмюра применимо как закон адсорбции каждого из поверхностно-активных несахаров сока, и для каждого из несахаров характерны свои константы a и b уравнения. Для сложной смеси несахаров, когда не определяется каждый из них в отдельности, применение уравнения Лэнгмюра может дать лишь неточные ориентировочные результаты, так как наряду с хорошо адсорбируемыми несахарами могут находиться и совершенно неадсорбируемые. Поэтому интересны попытки отыскать и иные формулы для выражения адсорбции. К таким попыткам относится например предложенная проф. Н. Е. Логиновым [54] формула, похожая по внешности на уравнение Лэнгмюра; однако она не может быть выведена из этого уравнения и является совершенно самостоятельной эмпирической формулой. Она такова:

$$\frac{x}{c} = \frac{am}{b + m}$$

Как видно, формула является уравнением Лэнгмюра, в котором переменны местами c и m . Прибавляя к обеим частям уравнения по единице и приняв во внимание, что $x + c = c_0$, легко вывести:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{b + m}{(a + 1)m + b}.$$

При бесконечном увеличении количества адсорбента ($m = \infty$) найдем:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{a + 1}.$$

т. е. выводом из уравнения Логниова является наличие каких-то остаточных неадсорбируемых веществ, что и соответствует действительности, когда мы имеем дело со сложной смесью поверхностно-активных веществ. Поэтому эмпирическое уравнение Логниова удовлетворительно согласуется с экспериментальным материалом.

Эффект сатурации зависит от целого ряда факторов, которые понятны из предыдущих соображений.

1. Количество извести, которое для дефекации мало имеет значения (для химических реакций достаточно 0,3% извести), значительно повышает эффект сатурации, так как таким образом увеличивается количество и адсорбирующая поверхность углекалциевой соли.

2. Быстрота работы на I сатурации сказывается на эффекте адсорбции, так как при быстром осаждении получается более дисперсный (мелкий) осадок с большой поверхностью, что улучшает процесс адсорбции.

Следовательно, при быстрой сатурации получают менее окрашенные соки с меньшим количеством солей кальция.

Кроме того при быстрой сатурации ускоряется фильтрация сока I сатурации. Это кажется не вполне понятным: следовало бы ожидать, что мелкий осадок CaCO_3 будет отфильтровываться труднее. В действительности же кристаллический осадок CaCO_3 , крупный или мелкий, не представляет большого затруднения для фильтрации. Главное сопротивление при фильтрации оказывают коллоидные жели (белки, пектиновые вещества), содержащиеся в осадке. Эти отрицательно заряженные жели должны удерживаться на поверхности частиц положительного осадка CaCO_3 . В том случае, когда осадок состоит из крупных частиц, поверхность их недостаточна для задерживания всех имеющихся желей, и такие нефиксированные жели закупоривают каналы между частицами осадка и фильтрующую ткань, ухудшая процесс фильтрации. При мелком осадке жели адсорбируются полнее на большой поверхности осадка и меньше препятствуют фильтрации. Кроме того при быстрой сатурации осадок получается более равномерным, чем при медленной [54], что тоже облегчает процесс фильтрации. При неравномерном же осадке, полученном при медленной сатурации, мелкие частицы закупоривают промежутки между более крупными частицами и затрудняют фильтрацию.

В настоящее время нормальной продолжительностью процесса I сатурации считается 10 мин., так как при большей скорости этого процесса трудно удерживать равномерную щелочность. При автоматических регуляторах щелочности процесс сатурации можно значительно ускорить. Имеются конструкции сатураторов (например трубчатые), которые позволяют проводить этот процесс в несколько секунд.

При медленной сатурации, особенно, если сатурационный газ содержит много кислорода (т. е. при пониженном содержании CO_2 в газе), качество получаемого очищенного сока может несколько ухудшаться вследствие окисления сахарозы в щелочной среде. На окисляемость сахарозы кислородом воздуха уже указано при изложении свойств сахарозы. Однако вряд ли можно считать установленным, в каком масштабе такое окисление имеет место в сатурационном котле.

3. Температура I сатурации влияет также на степень дисперсности осадка CaCO_3 : при низшей температуре всегда образуется большее количество мелких кристаллов. Следовательно, при понижении температуры получаются лучшие соки и по цветности и по содержанию солей кальция, но сок на сатурации сильнее пенится. Фильтрация несколько замедляется. Пониженная температура на сатурации даст также экономию топлива (до 2% пара по весу свеклы). Таким образом и из теплотехнических и из технологических соображений следует стремиться к понижению температуры как дефекации, так и сатурации, но это связано с увеличением мощности фильтрационной станции.

4. Щелочность сока I сатурации играет весьма значительную роль. Если щелочность выше 0,1% CaO , то сок следует считать недосатурированным. В нем будут еще содержаться жели углекальциевых сахаратов. Сок будет весьма плохо фильтроваться, в осадке будет содержаться сахар, но по цветности и доброкачественности сок получится лучше нормально отсатурированного, так как осадок в этот момент имеет весьма высокую степень дисперсности, и процесс адсорбции протекает хорошо.

Нормально отсатурированным можно считать сок, имеющий $\text{pH} = 11$ и щелочность, равную 0,07—0,06% CaO . С дальнейшим снижением щелочности постепенно увеличиваются цветность и количество солей кальция¹ и в некоторой степени понижается доброкачественность сока, а скорость фильтрации его увеличивается.

При значительном понижении щелочности сока I сатурации — ниже 0,05% CaO — получается пересатурированный сок, который характеризуется значительно большей цветностью, чем нормально отгазованный, содержит больше солей кальция и имеет пониженную доброкачественность.

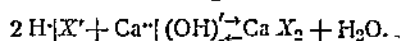
¹ Соли кальция, цветность и доброкачественность имеются в виду в соке II сатурации, полученном из данного сока I сатурации.

В таблице приведены полученные нами на заводе. (Олымском) данные, указывающие на зависимости эффекта очистки сока от щелочности сока I сатурации (проводилась периодическая сатурация одного и того же сока в заводском котле с отбором проб при различной щелочности; все пробы отфильтровывались, подвергались II сатурации до оптимальной щелочности, фильтровались еще раз и анализировались).

Щелочность сока I сатурации		0,588 (дефектованный сок)	0,086	0,042	0,034	0,026
Соответствующий сок II сатурации	Доброкачественность . .	93,3	94,0	93,5	93,5	93,2
	Цветность на 100 сахара (в ° Шт.)	11,7	7,4	8,0	11,1	12,7
	Соли Са (в % Са О) . .	0,013	0,004	0,005	0,009	0,011

Как видно из таблицы, сильно пересатурированный сок (щелочность 0,026) и по цветности и по доброкачественности оказывается хуже даже совсем несатурированного (дефектованного). Хорошая способность пересатурированного сока фильтроваться указывает на то, что в нем вследствие низкой щелочности исчезли последние следы углекальциевых сахаратов.

Пересатурированный сок более окрашен, так как возможно так называемое «разлагающее» действие углекислоты на осадок при пониженной щелочности, которое будет понятно со следующей точки зрения. Реакция осаждения какой-нибудь органической кислоты ($H'X'$) может быть изображена так:



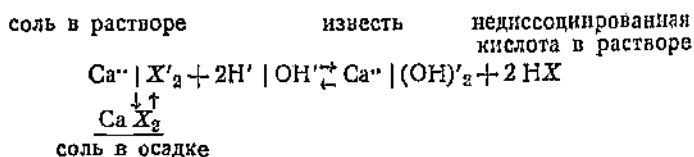
Если осадок CaX_2 имеет значительную растворимость, то для того, чтобы получить более полное осаждение, необходимо иметь избыток осаждающего реактива, т. е. $Ca(OH)_2$. Среди осаждаемых нес сахаров имеются такие, которые ощутительно растворимы, например лимоннокальциевая соль (0,06% при температуре 90°), адипиновокальциевая соль и др., т. е. для них произведение растворимости довольно велико:

$$[Ca^{++}] \cdot [X']^2 = K.$$

Чтобы понизить содержание в растворе аниона X' , т. е. чтобы добиться наиболее полного осаждения, необходимо повысить концентрацию ионов Ca^{++} т. е. оставить на I сатурации большее количество извести.

Понижение pH само по себе также вызывает ухудшенное осаждение нес сахаров. Например, можно прибавить к соку большой избыток ионов Ca^{++} в виде $Ca^{++}Cl_2$ и все-таки при понижении pH осаждение будет менее полным. Это показано на опыте Дедекком [65]. Таким образом для полноты осаждения нужен не только

избыток ионов Ca^{++} , но и некоторый избыток ионов OH' . Это, по нашему мнению [66], делается понятным, если принять во внимание, что большая часть осаждаемых на дефекации кислот является кислотами весьма слабыми. Вследствие этого их соли могут разлагаться гидролитически и таким образом растворяться по схеме:



Сахароза должна повышать такое гидролитическое растворение, образуя сахарат кальция с освобождающейся известью. Для уменьшения гидролиза и гидролитического растворения осаждаемых солей — необходимо повышать щелочность (или, что все равно, повышать pH).

Некоторые из осаждаемых солей кальция со слабыми кислотами окрашены (соли сахарумовой и гуминовых кислот). Поэтому уменьшение pH ниже 11, приводя к гидролитическому растворению этих солей, дает более окрашенные соки. При чрезмерно высокой щелочности на I сатурации при $\text{pH} > 11$, как уже выше было отмечено, также не будет полного осаждения вследствие пептизирующего действия щелочных сахарных растворов; кроме того при $\text{pH} > 11$ утлекальциевая соль выпадает в виде желя (утлекальциевый сахарат), что весьма затрудняет фильтрацию.

Таким образом оптимальные условия осаждения и адсорбции на I сатурации наступают при определенной щелочности (при определенной концентрации ионов водорода $\text{pH} = 11$).

Варпаны работы на I сатурации. 1. Холодная сатурация и нагрев лишь перед фильтрацией, как уже упоминалось, были предложены Овсянниковым. На холоду выпадает более мелкий осадок CaCO_3 ; поэтому поверхность адсорбента больше и адсорбция лучше, цветность сока получается меньше [58]. Однако на практике сатурация по Овсянникову не привилась, так как при сатурации на холоду слишком сильно пенится сок и ухудшается фильтрация.

2. При ускоренной сатурации, как уже было сказано, образуется более дисперсный осадок CaCO_3 из частиц, более равномерных по величине; в результате получают улучшенные адсорбция и фильтрация. Поэтому предложены аппараты для почти моментальной сатурации — в течение нескольких секунд. Таковы трубчатые сатураторы сист. Бланка, Логинова [54]. Однако для удовлетворительной работы таких сатураторов требуется столь же моментально действующий автоматический регулятор щелочности.

3. Способ Дорра (искусственное наращивание частиц осадка) — прямая противоположность только что изложенным методам.

Для успешного применения в свеклосахарной промышленности непрерывных отстойников сист. Дорра весьма важно получать более крупные частицы осадка. По способу Дорра укрупнение частиц осадка достигается путем возврата — обратно на дефекацию — весьма значительного количества нефильтрованного сатурированного сока (I сатурации). На одну часть свежего диффузионного сока возвращается около пяти частей сатурированного сока. Сок, раньше чем попасть на фильтрпрессы, многократно циркулирует с сатурации на дефекацию и обратно (в среднем шесть раз). Выпадение осадка из свежего диффузионного сока происходит в среде, где уже имеется пятикратное количество готового осадка. Эти готовые частицы осадка являются центрами коагуляции для вновь отлагаемого осадка. Таким образом частицы осадка получаются значительно крупнее.

По опытам Шенглера оказалось, что наилучшая осаждаемость осадка получается при возврате не 500%, а лишь 50% сатурированного сока по весу диффузионного, что уже гораздо легче выполнить.

Укрупненные частицы грязи легче отфильтровываются, поэтому возврат сатурированного сока имеет значение независимо от применения отстойников сист. Дорра. Опыты в СССР подтвердили полезное влияние возврата сатурированного сока на скорость фильтрации, но показали, что цветность соков и содержание солей кальция оказываются при этих условиях увеличенными; это вполне понятно, так как степень дисперсности адсорбента стала меньше.

4. Работа без I с а т у р а ц и и, практиковавшаяся уже давно (способ Зигерта), за последнее время вновь предлагалась (Шумилов). Применяя для дефекации обычное количество извести (2—2,5%), можно отфильтровывать избыток извести не сатурируя. Такая фильтрация протекает без особых затруднений. Фильтрат содержит лишь 0,25% извести и может быть сразу доведен путем сатурации до конечной оптимальной щелочности (0,01—0,02% CaO). Таким образом вместо двух сатураций оказывается лишь одна, что является значительным упрощением. Однако, как показали опыты, сок по Зигерту получается худшим и по доброкачественности, и по цветности, и по содержанию солей кальция, так как он не очищен методом адсорбции на I сатурации. Кроме того перед первой фильтрацией осаждение также не может быть полным, так как $pH > 11$, следовательно, сахар и щелочь пептизируют осадок. Наблюдается также быстрое изнашивание фильтрпрессной ткани от сильно щелочного сока.

В этом отношении способ Кутэ — Андерс лучше; авторы предложили сначала дефековать малым количеством (0,2—0,5%) извести и отфильтровывать осадок без сатурации; затем очищенный таким образом сок подвергать еще раз действию извести уже в более значительном количестве (0,8—1,0%), сатурировать и фильтровать еще раз; осадок $CaCO_3$ из этих вторых фильтрпрессов направлять в первый дефекационный котел, где он используется

еще раз как адсорбент и как примесь, облегчающая фильтрацию (иначе фильтрация после первой дефекации была бы невыполнима).

Кутэ и Андерс считали преимуществом своего способа разделение двух фаз очистки сока: сначала идет лишь химическая очистка, а затем после фильтрации уже очищенный химически сок подвергается адсорбционной очистке. Однако работы Шпенглера за последнее время показали, что такое разделение фаз очистки не увеличивает ее эффекта. Между тем работа по способу Кутэ и Андерс труднее, так как на фильтрпрессах приходится дважды отфильтровывать один и тот же осадок.

5. Имеются способы, рекомендующие получение отдельно CaCO_3 путем сатурирования извести и затем прибавление готового уже осадка к диффузионному соку, при добавлении в то же время небольшого количества извести (предварительная дефекация).

Коагуляционный метод проф. Головина заключается в следующем: на холоду прибавляют к диффузионному соку 0,5% CaO и 4% влажного приготовленного отдельно CaCO_3 , что в переводе на CaO составляет лишь 1%. Смесь нагревают в решоферах до температуры 80—85°, фильтруют и затем сок направляют на II сатурацию. Преимущество метода проф. Головина состоит в том, что осадок нес сахаров совершенно не подвергается растворяющему действию избытка извести, так как дается не известь, а готовый CaCO_3 . Недостаток метода — необходимость наличия особых фильтрпрессов для приготовления CaCO_3 . Кроме того такой отдельно приготовленный CaCO_3 имеет лишь весьма слабые адсорбционные свойства.

В последнее время проф. Куцев предложил очистку сока коллоидным CaCO_3 , приготовленным отдельно [67]. Коллоидный карбонат кальция — это частично отсатурированное известковое молоко; сатурацию ведут на холоду в присутствии сахарозы. Например берут равные объемы обычного известкового молока и сатурационного сока и смесь сатурируют так, чтобы известь в количестве от 70 до 80% превратилась в CaCO_3 и 20—30% осталось неотсатурированным. Итак, коллоидный карбонат кальция представляет собой жель «углекальциевого сахарата». Степень дисперсности его и адсорбционные свойства весьма высоки. Жель не отфильтровывают, а применяют в виде карбонатного молока.

Для очистки диффузионного сока прибавляют к нему на холоду столько коллоидного и сильно щелочного карбонатного молока, чтобы получилась щелочность смеси, оптимальная для предварительной дефекации (и для I сатурации) данного сока, т. е. 0,25—0,30% CaO по весу овеклы, что соответствует 0,75—1,0% общей затраты извести. После перемешивания сок нагревают до температуры 100° и фильтруют. Эти операции соответствуют преддефекации, главной дефекации и I сатурации при обычной работе.

К фильтрату вновь добавляют коллоидный карбонат кальция в количестве, соответствующем 0,25—0,50 % общей извести, нагревают до температуры 100—102°, сатирируют до оптимальной щелочности II сатурации и фильтруют. Таким образом общий расход извести составляет 1—1,5 % по весу свеклы.

Хотя после добавления коллоидного карбоната кальция к диффузионному соку создается обычная щелочность I сатурации, т. е. изменяются условия для превращения железа в кристаллический осадок CaCO_3 , но, очевидно, это происходит не столь быстро или же получается кристаллический осадок тоже высокой степени дисперсности, так как адсорбционные свойства осадка оказываются высокими.

Параллельные опыты очистки одного и того же сока обычным способом (по стандартной схеме) и карбонатным методом дали следующие результаты: 1) доброкачественность при карбонатном способе оказалась выше в среднем на 0,25; 2) цветность ниже почти в три раза; 3) количество солей кальция меньше в четыре раза; 4) скорость фильтрации меньше в 2,2 раза. Следует заметить, что из четырех приведенных опытов в одном при карбонатном методе было применено значительно уменьшенное количество извести (1,25 %); в трех прочих применяли 2—2,3 % CaO , а во всех контрольных опытах стандартной очистки — 2,5 % CaO .

Итак, метод Куцева весьма интересен, так как дает высокий эффект адсорбции; доброкачественность при этом получается почти такая же, как при обычной очистке. Фильтрация оказывается значительно медленнее. Окончательные выводы возможны лишь после заводского испытания метода.

4. ВАРИАНТЫ II САТУРАЦИИ

Осаждение солей CaO . Как уже было указано выше, II сатурация применяется с целью по возможности полного удаления солей кальция, которые вызывают загорание выпарки и иногда вызывают затруднения при уваривании утфелей. Процесс сатурации ведут до оптимальной щелочности, после которой в растворе получается K_2CO_3 и, несмотря на это, в растворе же остается еще некоторое количество солей кальция, например 0,01 % CaO , тогда как CaCO_3 имеет столь малую растворимость, что должно было бы остаться не более 0,001 % CaO [Дедек, 68]. Очевидно, сахар и какие-то вероятно коллоидные сахара мешают выпадению CaCO_3 . Особенно увеличивается количество кальциевых солей в соке II сатурации, когда низка натуральная щелочность, т. е. мал избыток K_2CO_3 в растворе.

Для удаления солей CaO в этом случае часто рекомендуют добавление соды. Однако Дедек указывает, что в таком случае иногда происходит парадоксальное явление: при применении соды выпарка начинает еще сильнее загорать. Дело в том, что при малом количестве добавляемой соды получается лишь более пере-

сыщенный раствор CaCO_3 , из которого он в большем количестве выпадает на выпарке. Поэтому соду приходится давать в сок в избытке, что сопряжено с увеличением расходов, а при больших количествах кальциевых солей просто невозможно добиться их снижения в значительной степени.

Гораздо эффективнее идет осаждение кальция при помощи тринатрийфосфата (Na_3PO_4). Осадок $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ выпадает немедленно уже при самых малых количествах реактива. Фосфат натрия можно и полезно давать даже непосредственно на выпарку, так как осадок фосфата кальция не пристает к поверхности нагрева и не образует накипи.

Борьба с пересатурированием. Шпенглер в последнее время рекомендовал для разложения образовавшегося бикарбоната кальция помещать в котел II сатурации мешалку для энергичного перемешивания и продувать воздух над поверхностью сока. Однако и теоретически такой метод непонятен и на практике он не оправдался.

Поэтому остается единственный эффективный метод для предупреждения образования бикарбоната кальция — это высокая температура II сатурации.

Добавление извести на II сатурацию (обычно 0,2%) желательно с точки зрения хорошего использования адсорбента; как уже было указано, однократное использование адсорбента дает меньший эффект, чем ступенчатое (разделение того же количества адсорбента на две порции и последовательное применение их).

Следует однако заметить, что при добавлении извести на II сатурацию необходимо пропускать на сатурации в несколько раз большее количество сатурационного газа, что приводит к большему охлаждению сока и к возможному образованию бикарбонатов.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДЕФЕКАЦИЯ

История развития метода предварительной defeкации. На сахарных заводах давно распространен способ комбинированной defeкации: внесение небольшого количества извести (например 0,2%) уже на холоду в мерник. Таким образом здесь скombинирована холодная предварительная defeкация со следующим за ней нагревом и горячей главной defeкацией. Преимуществом такой работы считалось меньшее загорание репоферов диффузионного сока, стерилизация мерника и как будто лучшая очистка сока.

Ковальский и Козаковский сделали неверную с химической точки зрения попытку определять особым титрованием (дубильной кислотой) количество извести, требующейся для предварительной defeкации. Это было вскрыто проф. Зуевым, и весь метод предварительной defeкации поставлен под сомнение. Поэтому в заводской практике не было единообразия: одни заводы давали известь в мерники, другие — не вводили ее; количество задаваемой извести варьировало в широких пределах (0,2 — 0,5%). Вопрос о пред-

варительной дефекации в последнее время (1930 г.) был выдвинут вновь с коллоидной точки зрения проф. Театини.

Проф. Театини предложил прибавлять к нагретому предварительно соку 0,05—0,4 % извести, из которой 0,05—0,10 % должно идти на нейтрализацию кислот сока, остальная часть — главным образом на химические реакции дефекации; pH сока подымается до 12—12,1, затем прибавляют в количестве около 0,01 % жидкий SO_2 , которому проф. Театини придает особое значение, считая его весьма энергичным коагулятором коллоидов диффузионного сока. При прибавлении SO_2 pH почти не меняется (11,95—12,05). Затем еще раз добавляют известь (0,45—0,8 %) и дефекованный сок направляют на обычную сатурацию. Таким образом на очистку сока расходуется лишь 0,8—1,2 % извести.

Способ Театини был проверен Шпенглером в лаборатории и на заводе, причем оказалось, что SO_2 не дает никакого эффекта, но ступенчатая в два приема дача извести оказывается полезной, так как при этом повышается немного доброкачественность.

Оптимальная предварительная дефекация. В дальнейших работах Шпенглер [69] изучил оптимальные условия проведения предварительной дефекации (т. е. выполнил то, что неудачно пытались сделать Ковальский и Козаковский).

Уже раньше [Skola, 62] было установлено, что при некотором определенном небольшом (0,2—0,3 %) количестве извести наблюдаются оптимальное осаждение и коагуляция белков диффузионного сока. При меньшем или при большем количестве извести осадок получается менее плотный, труднее отфильтровывающийся. Шпенглер установил, что этот оптимум коагуляции и осаждения наблюдается при таком количестве извести, которое повышает pH до 10,8—11,1 (в среднем 11,0).

Итак, для предварительной дефекации следует применять такое количество извести, чтобы получить $\text{pH} = 11,0$. Это оптимальное количество извести в зависимости от качества свеклы может колебаться от 0,15 до 0,35 %; для свеклы одной какой-либо партии на реакции нейтрализации кислот и на реакции разложения затрачивается извести больше, для свеклы другой партии — меньше. Следовательно, нельзя прибавлять для предварительной дефекации всегда одно и то же количество извести, а необходимо определять оптимальное количество ее, контролируя предварительную дефекацию по pH. Подходящим индикатором служит тимолфталениновая бумажка, которая при $\text{pH} = 11$ дает бледноголубую окраску (при $\text{pH} < 11$ — бесцветна и при $\text{pH} > 11$ — яркосиняя). Если применяется предварительная дефекация на холоду, то пробу тимолфталениновой бумажкой можно производить все-таки лишь после нагрева в горячем соке, иначе бумажка меняет окраску уже при $\text{pH} < 11$ (на 0,2—0,3); играют роль и реакции разложения, идущие при нагреве, и сама повышенная температура.

Можно работать как с предварительной холодной, так и с предварительной горячей дефекацией. При холодной предвари-

тельной дефекации сначала без подогрева (т. е. при температуре 35—40°) прибавляют к соку оптимальное количество извести, перемешивают и затем направляют сок на подогрев до температуры 85—90° и на главную дефекацию, в процессе которой добавляют остальное количество извести (1—2%). При горячей предварительной дефекации сначала сок нагревают, затем смешивают с оптимальным количеством извести, наконец прибавляют остальное количество извести и проводят главную дефекацию.

Холодная предварительная дефекация дает лучший результат при переработке зрелой здоровой свеклы. Горячая предварительная дефекация оказалась (по Шпенглеру) лучше для переработки незрелой или порченной свеклы.

Продолжительность холодной предварительной дефекации безразлична (хотя бы несколько часов). Обычно этот процесс проводят минут в 5, что требуется для основательного перемешивания. Горячая предварительная дефекация не должна длиться более 3 мин., так как иначе цветность очищенного сока уже повышается.

По Шпенглеру, оптимальная предварительная дефекация производит поразительно благоприятный эффект: скорость фильтрации сатурированного сока увеличивается почти вдвое, цветность сиропа уменьшается почти вдвое, уменьшается количество солей кальция; доброкачественность сиропа также немного повышается (на 0.5) за счет лучшего удаления органических несахаров.

Между прочим, Шпенглер нашел, что после холодной предварительной дефекации известь для главной дефекации лучше вносить на холоду и лишь затем пропускать сок через решофер; такой метод еще несколько повышает эффект очистки.

Метод оптимальной предварительной дефекации был изучен на заводах СССР Душским и Корольковым [69]. Найдено, что предварительная дефекация действительно дает положительный эффект, хотя и не столь яркий, как в опытах Шпенглера. Во всех случаях, — и при здоровой и при лежалой свекле — лучший эффект был получен при применении холодной предварительной дефекации, которая и рекомендуется для установки на заводах. Для точности дозировки извести следует предпочесть не непрерывную, а периодическую предварительную дефекацию.

Прогрессивная предварительная дефекация. Этот метод предложен проф. Дедеком и Вашатко и состоит в следующем. Для предварительной дефекации применяют количество извести, несколько (на 20—30%) большее, чем оптимальное; эту порцию извести прибавляют к соку не сразу, а постепенно и равномерно в течение 15 мин. Таким образом рН сока постепенно повышается, причем создаются постепенно, по очереди, оптимальные условия для коагуляции различных коллоидов сока, которые могут иметь и не одинаковый оптимум коагуляции. Кроме того при этих условиях коагуляция проходит медленно и постепенно, что позволяет получать более крупные хлопья коагулята, легче

сфильтровывающиеся и более устойчивые по отношению к дальнейшему воздействию избытка извести на главной дефекации.

Преимуществом прогрессивной дефекации является также более легкий контроль ее, так как при этом процессе совсем не требуется строго определенное $pH=11$, как для оптимальной предварительной дефекации. Недостаток заключается в большой емкости котлов для прогрессивной предварительной дефекации (на 15 мин.), зато работа протекает значительно спокойнее.

Метод ведения процесса прогрессивной предварительной дефекации похож на метод медленной дефекации, предложенной проф. Смоленским, который рекомендует иметь лишь котлы термодической главной дефекации с хорошими мешалками и вносить всю предназначенную для главной дефекации известь, но давать ее медленно в течение 5 мин., затем еще 5 мин. перемешивать сок в дефекаторе и направлять на сатурацию. О методе медленной дефекации имеются положительные отзывы польских сахарных заводов.

Метод прогрессивной дефекации широко испытан с весьма положительными результатами (например в Бельгии Baerts'ом).

Теория предварительной дефекации. Все изложенные практические выводы и закономерности, касающиеся предварительной дефекации, найдены чисто эмпирически. Нет почти никаких попыток теоретического объяснения полученных результатов. Обычно считается, что эффект предварительной дефекации зависит от того, что при $pH=11$ какие-то коллоиды имеют оптимум коагуляции.

Более углубленно в этом отношении были исследованы белки: в обстоятельной работе Вашишко [70].

Следует заметить, что и на I сатурации найдена та же самая оптимальная точка ($pH=11$), хотя там большое значение имеют условия осаждения уже не только коллоидов, но главным образом углекальциевой соли. Таким образом сама собой напрашивается для объяснения оптимальной точки предварительной дефекации та же физико-химическая теория, которую мы развили для I сатурации [66].

Малое количество извести дает худшее осаждение и коагуляцию вследствие недостаточного избытка осаждающего реактива (извести) вследствие гидролитического растворения осадков солей кальция со слабыми кислотами. При $pH=11$ имеется наиболее полное осаждение и кристаллических солей и коллоидов, причем из коллоидов осаждается (коагулирует) не белок как таковой (у него был бы оптимум коагуляции при $pH=4,5$), а соединение (химическое или адсорбционное) белка с известью.

При чрезмерном повышении pH (выше 11) осаждение несугаров (коллоидных и кристаллоидных) также неполно, так как щелочь в присутствии сахара пептизирует осадки, давая плохо отфильтровываемые жели и даже золи, вследствие чего повышаются цветность сока и содержание в нем солей кальция. Очевидно, в

отсутствии сахарозы или иона кальция никакой оптимальной точки осаждения несахаров при $pH = 11$ не имеется.

Наличие оптимального $pH = 11$ на предварительной дефекации обусловлено не только свойствами коллоидов, но и свойством всех осаждающихся кристаллических соединений кальция превращаться в коллоидные (желирование и пептизация) при повышенной щелочности в присутствии сахарозы.

Обратимость коагуляции на предварительной дефекации. Из приведенных теоретических соображений вытекает, что коагуляция на предварительной дефекации должна быть обратима: если после того как осадок хорошо скоагулировал и плотно осел, повысить pH например до 12, то коагулят коллоидов должен вновь сделаться менее плотным, и кристаллические осадки должны начать желироваться и пептизироваться. Такая обратимость коагуляции показана и на опытах Вагшатко [70] и Волохвянского [71]. Следовательно, на главной дефекации, где дается в сок большой избыток извести и pH достигает 12, может быть потеряны полезный эффект предварительной дефекации.

В действительности дело обстоит не так плохо. Обращение коагуляции, новая пептизация осадка происходят довольно медленно. Поэтому после хорошо проведенной коагуляции на предварительной дефекации плотный осадок мало подвергается пептизирующему действию в процессе главной дефекации. Во всяком случае с обратимостью коагуляции на дефекации необходимо считаться, и поэтому также очень важно не удлинять процесс главной дефекации, а, наоборот, проводить его как можно быстрее (а, может быть, даже обходиться почти без этого процесса).

С точки зрения обратимости коагуляции применение прогрессивной предварительной дефекации дает значительно лучший эффект, чем обычная оптимальная предварительная дефекация, так как при медленной коагуляции на прогрессивной дефекации образуется осадок меньшей степени дисперсности (более плотные и крупные хлопья скоагулированных белков, более крупные кристаллы нерастворимых солей кальция). Такой грубо дисперсный осадок, имея меньшую поверхность, медленнее подвергается пептизирующему действию главной дефекации, оказывается более устойчивым.

Автоматизация предварительной дефекации. Имеется ряд предложений для автоматизации оптимальной предварительной дефекации по Шпенглеру. Предложенные методы довольно сложны, так как при работе по Шпенглеру требуется весьма точная дозировка извести (до $pH = 11$). Даже при идеальной работе предложенных приспособлений цель все же не будет достигнута, так как меняется качество свеклы. Поэтому надо возможно чаще контролировать, оптимально ли для данной свеклы количество извести, даваемое автоматом, и регулировать автомат.

Значительно легче сделать непрерывной и автоматизировать прогрессивную предварительную дефекацию по Дедеку, не тре-

бующую точной дозировки извести. Количество извести может быть дано в 2—3 раза больше оптимального, и результат (по цветности, солям кальция и скорости фильтрации) остается неизменным. Важно лишь одно: медленность и постепенность добавления извести в течение 15 мин. для холодной предварительной дефекации (или 3 мин. для горячей).

Автор процесса прогрессивной предварительной дефекации Дедек, а в СССР Карташев с сотрудниками Киевского филиала ЦИНС предложили весьма удобные методы автоматизации этого процесса [72].

Аппарат проф. Карташева состоит из двух вертикальных цилиндрических котлов (рис. 123). Диффузионный сок поступает в приемную коробку, из нее по трубе идет в нижнюю часть первого котла и проходит эго снизу вверх; затем сок сливается по чересной трубе и попадает в нижнюю часть второго котла, который также проходит снизу вверх; наконец сок удаляется из сливного ящика в верхней части второго котла. К диффузионному соку на его пути в шести местах добавляется известковое молоко, для чего котлы снабжены медленно вращающимися вертикальными валами. В верхней части каждого котла на валу закреплена и вращается вместе с ним распределительная тарелка, разделенная радиальными перегородками на три отделения. На эти тарелки подается известковое молоко. Из каждого отделения тарелки книзу идет трубка, выводящая известковое молоко. Эти трубки разной длины; одна из них подает молоко в нижнюю часть котла, другая — в среднюю, и третья — в верхнюю. Трубки, подающие известковое молоко, являются в то же время мешалками, которые смешивают молоко с соком, но не взмучивают и не перемешивают нижние слои сока с верхними.

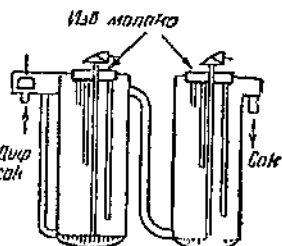


Рис. 123. Автоматическая предварительная дефекация

Суммарный объем двух котлов рассчитан на длительность предварительной дефекации в 15 мин. Добавляемое известковое молоко дается в количестве всегда несколько большем оптимального (например 0.35 %); увеличение этой дозы даже в 1.5—2 раза не ухудшает эффекта предварительной дефекации.

Дозировка известкового молока производится при помощи особого клапана-дозатора, закрывающего снизу отверстие в дне бачка для известкового молока. Этот клапан приоткрывается 30 раз в минуту под действием кулачка, сидящего на вращающемся диске. Таким образом известковое молоко подается отдельными частыми бросками. Степень приоткрывания клапана можно регулировать в широких пределах. Такой клапан-дозатор не забивается известью и действует надежно.

Клапан-дозатор подает известковое молоко лишь тогда, когда подается диффузионный сок, для чего в приемной коробке диффузионного сока имеется поплавок. Поступающий сок поднимает поплавок, который при своем движении вверх включает зубчатую муфту; при этом начинает двигаться вал с диском и кулачком, открывающим клапан-дозатор. Если подача сока прекращается, поплавок опускается, муфта разъединяется, и подача известкового молока останавливается.

6. ТЕОРИЯ И ВАРИАНТЫ СУЛЬФИТАЦИИ

Цель сульфитации, как уже было сказано, заключается: 1) в обесцвечивании соков путем восстановления красящих веществ в бесцветные лейкосоединения; при этом часть сернистой кислоты превращается в серную; 2) в снижении вязкости сиропа путем замены K_2CO_3 , сильно повышающего вязкость сахарных растворов, на K_2SO_3 , менее влияющий на вязкость.

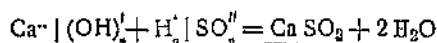
Оптимальные условия обесцвечивания соков сернистым газом по исследованиям Шпенглера таковы [73]: 1) наилучшее обесцвечивание получается при низком pH (7—8), поэтому также обесцвечивающее действие SO_2 энергичнее, чем $NaHSO_3$, а Na_2SO_3 действует еще слабее, так как эти соли не понижают pH, как сернистая кислота;

2) особенно энергично действуют первые порции SO_2 (до 0,03—0,05% SO_2 на 100 частей сухих веществ); дальнейшее увеличение количества SO_2 дает уже значительно меньший эффект;

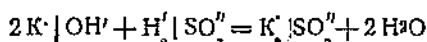
3) даже при самых малых количествах примененного SO_2 в соке все-таки всегда остается некоторое количество неизрасходованного SO_2 ; очевидно, для того чтобы шла реакция восстановления красящих веществ, необходим определенный восстановительный потенциал;

4) для получения хорошего эффекта обесцвечивания после сульфитации в соке должно содержаться 0,003—0,004% избыточного SO_2 .

Растворимость солей $CaCO_3$, $CaSO_3$, $CaSO_4$. При некоторых методах работы на сульфитации применяют сернистую кислоту на II сатурации, заменяя ею полностью или частично углекислоту; тогда идут реакции:



и



Как видно, здесь наблюдается выпадение $CaSO_3$ вместо $CaCO_3$, который выпадал бы при II сатурации углекислотой.

Частично, как мы указывали, сернистая кислота превращается в серную и возможно выпадение осадка $CaSO_4$.

При рассмотрении происходящих при сульфитации реакций ясно

обнаруживается важность для производства сопоставления растворимости в воде и в сахарных растворах CaCO_3 , CaSO_3 и CaSO_4 .

Растворимость в воде в % (считая на CaO)

Температура в °C \ Соль	50	100
CaCO_3	0,0008	0,0010
CaSO_3	0,0080	0,0074
CaSO_4	0,0842	0,0651

В сахарных растворах растворимость всех этих солей меньше и уменьшается все больше с повышением концентрации сахара; например для CaSO_4 при температуре 80° имеем:

Процент сахара в растворе	0	20	42	55
CaSO_4 (считая на CaO в 100 см ³) . .	0,0700	0,0521	0,0300	0,0137

Таким образом растворимость CaSO_3 почти в десять раз, а растворимость CaSO_4 почти в сто раз больше, чем CaCO_3 . Заменяя II углекислую сатурацию на сернистую, мы можем повысить содержание в соке солей кальция (в виде CaSO_3) примерно на 0,004% CaO (принимая во внимание уменьшенную растворимость в 15%-ном растворе по сравнению с водой). CaSO_3 при сгущении сока на выпарке, выпадая в осадок, приводит к быстрому загоранию поверхности нагрева.

Растворимость CaSO_4 сравнительно велика. В дальнейшем он также выпадает на выпарке, так как в 55%-ном сахарном растворе растворимость его составляет лишь 0,0137%. Пересчитывая на 100 сахара, найдем для 20%-ного сахарного раствора $\frac{0,0521 \cdot 100}{20} = 0,2605$ г CaO в растворе и для 55%-ного сахарного раствора $\frac{0,0137 \cdot 100}{55} = 0,0249$ г CaO , или лишь 9,5% первоначального количества, а 90,5% находившегося в растворе гипса, следовательно, выпали бы на выпарке. На самом деле в сернокальциевую соль превращается лишь очень незначительное количество сернистой кислоты. По определениям Geese окисляются лишь 0,003—0,009% SO_2 по весу сиропа, что соответствует лишь 0,0025—0,0079% CaO в виде CaSO_4 или приблизительно 0,0006—0,002% CaO по весу сатурационного сока.

Место сульфитации в технологической схеме. В сахарной промышленности применяется сульфитация сиропа, сатурационного сока или полусиропа из III корпуса выпарки (четырёхкорпусный с Q-корпусом). Сульфитация полусиропа создает лишнее усложнение заводской схемы, поэтому следует выбирать лишь между сульфитацией сиропа и сатурационного сока и сравнить их друг с другом.

Сульфитация сиропа имеет то преимущество, что при этом уже нет опасности увеличить количество кальциевых солей в растворе. Даже в случае добавления извести к сиропу перед его сульфитацией (как делают например в Америке) CaSO_3 не накапливается в заметных количествах в растворе, так как его растворимость в концентрированных сахарных растворах ничтожна. Кроме того защитники сульфитации только сиропа указывали, что если сульфитировать сатурационный сок, то он, пройдя через выпарку, вновь увеличит свою цветность, и эффект сульфитации будет потерян.

Это последнее возражение против сульфитации сатурационного сока оказалось не соответствующим действительности. Напротив, как показали исследования Stanek'a и Vondrak'a, сульфитация сатурационного сока предохраняет его от нарастания цветности, так как на выпарке очевидно продолжают действовать обесцвечивающе находящиеся в растворе CaSO_3 и K_2SO_3 [73].

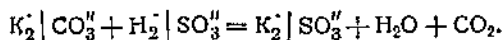
Таким образом оказывается весьма желательной сульфитация сока перед выпаркой, но необходимо эту сульфитацию выполнять так, чтобы она давала хороший эффект обесцвечивания и в то же время не приводила к увеличению количества солей кальция и к загоранию выпарки.

Сульфокарбонатация [73]. Чтобы избежать повышения количества солей кальция в сатурационном соке при его сульфитации, Вейсберг рекомендует сульфокарбонатацию, т. е. сульфитацию сока I сатурации, затем добавление извести (0,2—0,5%) и углекислую сатурацию (карбонатация) до оптимальной щелочности, нагрев и фильтрацию. При этом способе имеется в виду адсорбировать осадком CaCO_3 остающийся в растворе после сульфитации CaSO_3 .

Имеется ряд видоизменений метода Вейсберга. Например правильное было бы, хотя гораздо сложнее после сульфитации сок нагревать, фильтровать и лишь после этого добавлять известь и проводить II углекислую сатурацию, после которой требуется, конечно, еще фильтрация. Иначе, если проводить углекислую сатурацию, не отделив осадка CaSO_3 , то взамен адсорбированного из раствора CaSO_3 новые количества его могут из осадка переходить в раствор, который таким образом остается попрежнему насыщен CaSO_3 .

Карбосульфитация [73] гораздо более рациональна. Под таким названием понимается предварительное проведение углекислой II сатурации и затем уже сульфитации. Такой порядок имеет смысл лишь при фильтрации, после углекислой сатурации. Сущность процессов при такой работе состоит в следующем: II углекислая сатурация имеет обычную определенную цель удаления максимума солей кальция; после фильтрации получается обычный сатурационный сок, щелочность которого обуславливается присутствием K_2CO_3 (натуральная щелочность); сульфитация прово-

дится до минимальной щелочности, обеспечивающей получение все-таки щелочного сиропа; при сульфитации идет реакция:



Никаких лишних солей кальция в раствор не переводится, так как они уже насколько возможно удалены и отфильтрованы. Фильтровать после сульфитации не нужно, хотя обычно для контроля все-таки ставят механические фильтры.

Выпадение осадков на выпарке должно даже уменьшиться, так как при частичной замене в растворе K_2CO_3 на K_2SO_3 должно уменьшиться выпадение извести на выпарке в виде $CaCO_3$, а $CaSO_3$ не выпадает тем более, так как он более растворим.

Недостатком как будто является то обстоятельство, что после углекислой сатурации остается уже весьма малая щелочность и удается отсульфитировать лишь около 0,010%, считая на CaO , но по определениям Geese при сульфитации фактически вступает в реакцию еще меньшее количество (соответственно 0,0006—0,0020%, считая на CaO).

Часто, опасаясь, что на карбосульфитации «ничего будет сульфитировать», специально оставляют после II углекислой сатурации повышенную щелочность (например 0,03—0,04). Это весьма опасная ошибка, неминуемо приводящая к быстрому загоранию выпарки, так как на II сатурации не было достигнуто оптимальной щелочности, осталось в соке много солей кальция и, может быть, даже свободная известь; поэтому вполне понятно, что на выпарке должен выпасть осадок $CaSO_3$.

Сульфитацию перед выпаркой следует проводить углубленную, т. е. до низкого pH, например до $pH = 8,0$; в США часто сульфитуют даже до $pH = 7,5-7,2$ [5]. Это вполне понятно, так как эффект обесцвечивания получается больший при низких значениях pH. Не следует опасаться, что сок, близкий к нейтральной точке, сделается на выпарке кислым вследствие падения щелочности во время выпаривания: падение щелочности является результатом продолжающихся на выпарке реакций разложения, но реакции разложения (амидов, инвертного сахара) идут лишь вследствие каталитического действия ионов гидроксила. Поэтому чем ближе pH к 7, т. е. чем меньше концентрация ионов гидроксила, тем меньше скорость реакций разложения и тем меньше дальнейшее падение щелочности.

При определении щелочности сока после сульфитации в качестве индикатора следует применять крезол-рот, так как фенолфталеин уже не дает щелочной реакции.

Опыты Минца сульфитации сока перед выпаркой на Кашперовском сахарном заводе [73] подтверждают все вышесказанное. Сульфитация велась до $pH = 8$; эффект обесцвечивания достигал 20—30%; выпарка загорала значительно меньше, чем обычно (удалось 100 дней работать без выварки выпарки).

Сульфитация сиропа. В этом случае, как уже указывалось, возможно добавление небольшого количества извести перед сульфитацией (например 0,05 %), так как растворимость CaSO_3 в концентрированных сахарных растворах исчезающе мала. выпадающий осадок CaSO_3 производит дополнительный эффект адсорбции. Сульфитация сиропа проводится углубленно до $\text{pH} = 7,5$.

Таким образом получается максимальный эффект сульфитации, достигающий, например, 35 % от общей цветности.

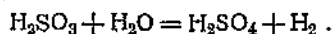
Опасаться инверсии при незначительных временных перегреваниях не следует. Сама по себе сернистая кислота является кислотой довольно сильной и могла бы произвести быструю инверсию (константа электролитической диссоциации $1,7 \cdot 10^{-2}$), но соки и сиропы сахарного завода обладают буферной способностью: они содержат ряд солей слабых органических кислот, которые и вытесняются взамен более сильной сернистой кислоты.

Сульфитация диффузионного сока. ЦИНС выдвинул метод очистки [60], в котором предлагается диффузионный сок сульфитировать до $\text{pH} = 4,5$, затем проводить холодную предварительную defeкацию, нагрев до температуры 90° и главную defeкацию. Здесь SO_2 действует при низком pH , что является благоприятным обстоятельством и для обесцвечивания и для коагуляции белков; однако чрезмерное пенение при сульфитации диффузионного сока на холоду заставило отказаться от этого метода. Он возможен лишь при сульфитации жидкой SO_2 . Можно было бы применять SO_2 для диффузионного сока и в меньших количествах (не доводить до $\text{pH} = 4,5$). Например применение 0,005 % SO_2 снижает цветность соков уже на 35 %, т. е. действует значительно сильнее, чем при сульфитации сока перед выпаркой [74].

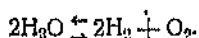
Сульфитация свекловичной стружки. Вместо сульфитации диффузионного сока Шпенглер предложил [74] сульфитировать свекловичную стружку, пуская SO_2 непосредственно под диск горизонтальной резки в количестве 0,002—0,010 % по весу свеклы (pH не меньше 5,0).

По сообщению Шпенглера, при сульфитации стружки на 35 сахарных заводах получились весьма благоприятные результаты: применяли 0,008—0,015 % SO_2 ; диффузионный сок был почти бесцветен, сироп же имел вдвое меньшую цветность, чем при работе без сульфитации, жом не темнел, на диффузии не было брожения. Однако, по сообщению Шенка, его опыт сульфитации стружки дал отрицательный результат; такой же отрицательный результат получен на целом ряде рейнских сахарных заводов; жом, правда, получился светлый; сок перед выпаркой имел цветность 11° Шт., но после выпарки получился сироп с цветностью 16° Шт., тогда как сульфитация сока перед выпаркой вместо стружки дала цветность 10° Шт., причем она на выпарке не возрастала. При опытах Шенка применяли 0,0018—0,0034 % SO_2 ; увеличение количества SO_2 до 0,006 % не улучшило результата.

Окислительно-восстановительный потенциал. Чем больше концентрация SO_4 и чем ниже pH, тем энергичнее восстановительное действие и тем сильнее обесцвечивание соков. Интенсивность, потенциал восстановительного действия можно измерять концентрацией восстанавливающего водорода, т. е. газообразного водорода (H_2), который содержится в данном растворе (подобно тому, как кислотность среды измеряется концентрацией ионов водорода — H^+). В самом деле, при восстановлении металлами, например натрием, цинком, выделяется водород. При восстановлении сернистой кислотой можно представить себе, что тоже получается водород:



Но водород здесь получается уже в такой малой концентрации, что он не выделяется из раствора в виде газа, но все же действует как восстановитель. Подобно тому как в чистой воде имеются ионы H^+ и OH^- , также в чистой воде можно представить себе и иную диссоциацию:



Таким образом чистая вода наряду с кислородом содержит тоже в какой-то очень малой концентрации восстанавливающий водород.

В среде, где имеется какой-нибудь окислитель, в растворе находится окисляющий кислород, который подавляет диссоциацию воды и уменьшает в воде концентрацию восстанавливающего водорода.

Подобно тому как кислотность и щелочность выражаются одним показателем C_a (или pH), также и восстановительная и окислительная способность могут быть выражены лишь концентрацией восстанавливающего водорода: если в растворе имеется восстановитель, то концентрация восстанавливающего водорода будет больше, чем в чистой воде; если же имеется окислитель, то концентрация восстанавливающего водорода ниже, чем в чистой воде.

Так как приходится иметь дело с весьма малыми концентрациями водорода, то (так же как при измерении концентрации ионов водорода) вместо этой весьма малой концентрации берут ее десятичный логарифм с обратным знаком — rH. Итак:

$$rH = -\lg C_{\text{H}_2}$$

(Символ r обозначает — восстанавливающий — reducing или reduzierender).

Понятие о rH сделалось уже обычным для биохимии и в некоторых отраслях промышленности [75] имеются не слишком сложные потенциометрические и даже колориметрические методы для определения rH.

В сахарной промышленности вопрос об определении и контроле rH поднят лишь в самое последнее время [75].

В следующих данных приведено значение rH для некоторых окислительно-восстановительных процессов.

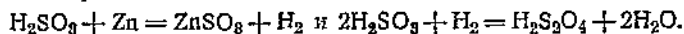
Равновесие	rH
$\text{MnO}_2 \rightleftharpoons \text{MnO}_4^-$	54,4
$\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{ClO}_3^-$	48,0
$\text{NO} \rightleftharpoons \text{NO}_2$	31,6
Хингидрон	23,5
Лейкооснов. $\rightleftharpoons$ метилена- бляу	17,8
Лейкооснов. $\rightleftharpoons$ индигоди- сульфат	9,8

При сульфитации сиропа γH снижается от 23 до 21—20.

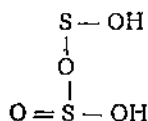
Для энергичного обесцвечивания важно как можно сильнее снизить γH , но при помощи SO_2 удается понизить его лишь немного, так как при сульфитации одновременно снижается pH и появляется угроза кислой реакции и инверсии сахарозы.

Гидросульфиты. Гораздо энергичнее действуют как восстановители гидросульфиты, применение которых дает возможность уменьшить γH до весьма низких величин (до 10, до 5), почти не меняя pH . Однако ввиду дороговизны гидросульфитов γH все-таки не снижают ниже 20.

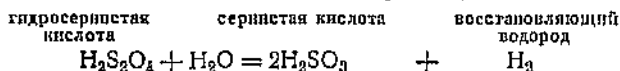
Гидросульфитами называются соли гидросернистой кислоты, которая получается путем восстановления сернистой кислоты цинком, причем цинк растворяется, но водород не выделяется:



Следовательно, гидросернистая кислота имеет формулу $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ и строение:



Таким образом из двух атомов серы в молекуле гидросернистой кислоты один четырехвалентен положительн и другой двухвалентен положительн; этот последний атом серы легко, присоединяя кислород, превращается в серу четырехвалентную, чем и объясняется чрезвычайно сильное восстановительное и, следовательно, обесцвечивающее действие гидросульфитов:



Кроме того, образовавшаяся сернистая кислота тоже действует обесцвечивающе, как обычно.

Для обесцвечивания применяют не самую гидросернистую кислоту, слишком неустойчивую, а ее соли — кальциевую (препарат «редо») или еще чаще — натриевую (так называемый «бланкит»). Бланкит — безводная натриевая соль гидросернистой кислоты ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) — белый порошок, прекрасно хранится и удобна для применения. Однако вследствие дороговизны гидросульфитов они обычно применяются лишь в рафинадном, но не в свеклосахарном производстве. Наиболее эффективное количество реактива — 0,01—0,05% по весу сухого вещества.

* 7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АДсорбЕНТЫ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Активные угли. I. Костяной уголь. Еще с 1815 г. в сахарной промышленности начали применять костяную крупку — обожженную кость — как обесцвечивающее средство. Состав костяного угля на 100 частей сухого вещества следующий: углерода — 10%; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ — 82%; CaCO_3 — 7%; CaSO_4 — 0,3%; песка и пр. — 0,7%.

Как видим, главная составная часть костяного угля — фосфорнокальциевая соль и лишь 10% действительно угля. Строение весьма тонкое, губчатое. Поэтому этот уголь, применяемый в виде крупки, обладает значительной адсорбционной способностью.

Однако крушка является слишком дорогим средством для обесцвечивания, требующим устройства весьма громоздкой станции угольных фильтров. Оно давно уже оставлено в свеклосахарном производстве и удержалось пока лишь в рафинадном.

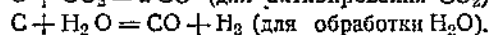
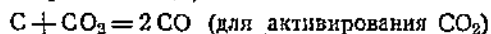
2. Активные древесные угли [76] по своей адсорбционной способности гораздо более энергичны, чем костяной уголь. Производство активных углей особенно развилось за время империалистической войны, так как активные угли применяются как энергичные противогазы, поглощающие вредные примеси к воздуху. Таким образом в мирное время применение в промышленности активных углей важно не только потому, что вследствие этого улучшается качество продукции, но также и потому, что таким образом поддерживается промышленность, работающая на оборону страны.

Преимущества активных углей по сравнению с костяной крупной таковы: 1) затрачиваемое их количество в 150 раз меньше, чем количество крупки; 2) в связи с этим их оживление обходится дешево (часто же их и совсем не оживляют); 3) обесцвечивание идет очень быстро, поэтому требуются лишь небольшие котлы для смешивания с активным углем.

Производство и типы активных углей. Обычный древесный уголь, получаемый при обугливании дерева, неактивен, т. е. обладает лишь весьма слабой адсорбционной способностью, так как продукты сухой перегонки дерева (смолы, углеводороды) заполняют поры угля и, адсорбируясь, занимают поверхность его частиц.

Активирование угля может быть произведено различными способами. Их можно подразделить на два основных:

1. Активирование путем прокаливания в токе окисляющих газов или паров (например CO_2 , H_2O) при температуре около 800° . При этом окисляются не только смолы, но частично и самый уголь (выгорает например 20—40 %):



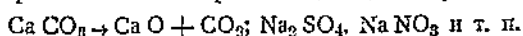
Получается уголь, активность которого в несколько десятков раз больше активности исходного угля-сырца. Это объясняется тем, что уголь освобождается от смол, и кроме того адсорбирующая поверхность его весьма возрастает вследствие разбедания окисляющими газами.

При получении первичного угля-сырца не должно быть слишком высокой температуры, так как иначе он превращается в кристаллический графит с малой активной поверхностью.

2. Прокаливание угля или чаще — самого материала (дерева), служащего для получения угля, после предварительной пропитки веществами, дающими в результате сразу активный уголь. Затем промывание угля от пропитывающих прибавок. Как активизирующие вещества применяются например ZnCl_2 , CaCl_2 , MgCl_2 , KOH , NaOH ,

действующие растворяюще на клетчатку; из раствора при дальнейшем нагреве выделяется очень тонко измельченный аморфный уголь. При этом прибавки мешают отложению на поверхности частиц угля неактивного углерода (графит). Такое активирование идет обычно при более низких температурах (600°).

Иногда применяются прибавки, действующие окисляюще:



Некоторые прибавки (H_2SO_4 , H_3PO_4) действуют дегидратирующе, весьма понижая температуру обугливания и давая аморфный активный углерод.

Имеется целый ряд различных типов углей: 1) конденсационные (для вылавливания из воздуха паров различных растворителей — бензина, бензола, спирта и т. д.); 2) противогазовые; 3) контактные, или катализирующие; 4) обесцвечивающие угли. Первые три типа углей применяются в виде зерен, а четвертый тип, особенно интересный для сахарной промышленности, — в виде тонких порошков (так как иначе адсорбция из растворов шла бы слишком медленно).

В сахарной промышленности применяются главным образом два сорта углей:

1) норит (и подобные ему, например активный уголь советского производства), полученный активированием водяным паром или углекислотой;

2) карборафин — уголь, приготовленный посредством ZnCl_2 .

Эти угли отличаются друг от друга и по своему физическому строению: норит состоит из микроскопических, но волокнистых, легко отфильтровываемых, сравнительно не столь тонких частиц; карборафин же совершенно лишен волокнистой структуры и состоит из весьма тонких пылиннок угля.

Активность карборафина вообще значительно выше, чем норита, хотя в настоящее время выпускается целый ряд различных марок норита с различной активностью; некоторые из этих марок не уступают в активности карборафину, и даже превосходят его.

Химический состав активных углей взят из табл. 26.

Таблица 26.

	H_2O	На 100 частей сухих веществ					
		C	H	O	N	Зола	Fe_2O_3 Al_2O_3
Карборафин	24,1	86,7	1,0	7,9	0,30	4,1	0,65
Супранорит X 3	20,3	91,0	1,5	4,2	0,18	3,1	0,17
Супранорит X 2	9,4	89,2	2,2	1,1	0,14	7,4	0,62
Супериор-норит	21,3	90,7	1,2	3,2	0,17	4,7	0,40
Стандарт-норит	27,5	88,8	0,9	2,7	0,13	7,5	0,53

Содержание воды является нехарактерным и может значительно колебаться. Сухое вещество, как видно из таблицы 26, представляет собой довольно чистый углерод.

На сахарных заводах СССР применяют активный, уголь советского производства (преимущественно марки ОУП-3) в виде пасты с 40—60% воды. По активности он приблизительно равен стандарт-нориту [Корольков, 77].

3. Эффект адсорбции активным углем зависит от ряда условий [77], которые следует рассмотреть подробнее.

1. Продолжительность перемешивания сока с активным углем обычно около 10 мин., так как за 10 мин. почти уже устанавливается адсорбционное равновесие, и дальнейшее перемешивание дает лишь ничтожное повышение эффекта обесцвечивания.

2. Повышение температуры обработки активным углем несколько повышает эффект обесцвечивания: очевидно, при более высокой температуре сок (или сироп) проникает в более тонкие поры угля.

Однако нагревать сироп при обработке активным углем выше 80° не следует, так как высокая температура увеличивает карамелизацию сахара. Перед отфильтровыванием активного угля смесь продукта с углем нагревают до температуры 85—90° для лучшей фильтрации.

3. С увеличением количества активного угля эффект адсорбции растет вначале быстро, а затем все медленнее (рис. 124). Поэтому применение больших количеств угля нерентабельно, и обычная доза его — не более 0,5% по весу сухих веществ сока. Затухающий подъем эффекта обесцвечивания с увеличением количества угля понятен, так как он является следствием уравнения адсорбции Лэнгмюра.

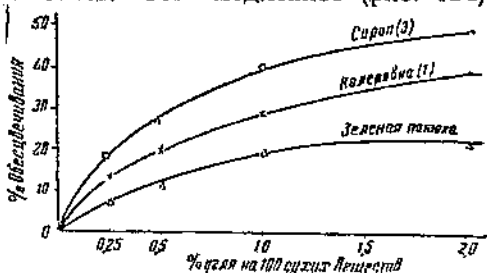


Рис. 124. Эффект обесцвечивания в зависимости от количества активного угля

Однако кривая адсорбции не вполне подчиняется уравнению Лэнгмюра: она не стремится к 100%-ной адсорбции с бесконечным увеличением количества угля. Это можно объяснить тем, что в сиропе имеется смесь красящих веществ: из них некоторые почти неспособны адсорбироваться активным углем.

4. Качество активного угля, конечно, имеет большое значение.

Табл. 27 дает сравнительную оценку различных углей: здесь даны количества активного угля (в %) для получения определенного эффекта обесцвечивания (40, 50 и 60%) и определенного повышения поверхностного натяжения (на 6, 8, 10, дин).

Сравнительная оценка углей

Эффект Уголь	6 дн	40% обесцвечивания	8 дн	50% обесцвечивания	10 дн	60% обесцвечивания
Супранорит $\times 5$, карборафин .	0,9	1,3	1,6	2,1	2,5	3,3
Супранорит $\times 2$	1,6	5,0	3,4	7,2	6,0	9,6
Стандарт-норит	3,1	6,4	5,8	9,0	10,0	>10

Как видно из табл. 27, для одинакового эффекта требуется карборафина в 4—5 раз меньше, чем стандарт-норита.

5. pH обесцвечиваемого сахарного раствора также имеет значение: чем ниже pH, тем лучше обесцвечивание. Например, найдено было для норита, что при понижении pH от 9,6 до 8,5 и до 7,3 эффект адсорбции от 14% возрос до 23 и до 31%.

6. Сахароза снижает эффект адсорбции красящих веществ.

Например в одном из опытов раствор продуктов разложения инвертного сахара в отсутствии сахарозы был обесцвечен на 53%, тогда как в присутствии 30% сахарозы эффект обесцвечивания оказался лишь 36%.

7. Качество продукта, обрабатываемого активным углем, имеет большое значение для эффекта адсорбции, что видно из рис. 124.

При одинаковой дозировке угля (в процентах по весу сухих веществ), например 0,5%, получается далеко не одинаковое обесцвечивание различных продуктов: для зеленой патоки (см. рис. 124) около 12, для колеровки 20 и для сиропа 28. Вообще, чем слабее окраска продукта, тем выше эффект обесцвечивания (в процентах от первоначальной цветности). Такой результат является также следствием изотермы Лэнгмюра.

Для сока II сатурации эффект адсорбции обычно более высокий, чем для сиропа. Поэтому иногда делают вывод, будто бы лучше всего обрабатывать активным углем сок перед выпаркой. Это неправильный, поспешный вывод, так как при обработке углем сока перед выпаркой оказывается, что на то же количество угля поглощается наименьшее число градусов Штаммера цветности; следовательно, уголь используется нерентабельно. Из сиропа адсорбируется больше цветности, из колеровки еще больше, и максимальное количество красящих веществ поглощается из зеленой патоки. Это вполне понятно из уравнения адсорбции Лэнгмюра: чем больше концентрация адсорбируемого вещества, тем большее количество его адсорбируется данным количеством адсорбента, т. е. тем лучше используется адсорбент. Таким образом активный уголь, использованный уже для обесцвечивания сиропа, можно еще раз использовать для обесцвечивания более окрашенных продуктов, например, белой или зеленой патоки, из которой он может еще дополнительно адсорбировать окрашенные вещества. Следует

отметить повышенную способность колеровки желтого сахара к обесцвечиванию активным углем. Это можно объяснить тем, что колеровка содержит окрашенные вещества, адсорбированные поверхностью желтого сахара, т. е. особо вредные, но следовательно, и легче удаляемые методом адсорбции.

6а. Как показано выше, окрашенные вещества сахарных соков хорошо адсорбируются активным углем. Но количество золы и кальция, в частности, почти не уменьшается при обработке активным углем. По отношению к солям кальция в противоположность активному углю хорошим адсорбентом является утлекальциевая соль (на I и II сатурации) и костяной уголь, который на 80% состоит из фосфорнокальциевой соли. Кальций адсорбируется этими веществами, вероятно, именно потому, что в их кристаллизационной решетке уже имеется атом кальция — таково мнение Фаянса.

7. Коллоиды сатурационного сока и сиропа весьма мало адсорбируются активным углем, вероятно, потому, что частицы активного угля заряжены отрицательно — так же, как и коллоиды сока.

8. Следует иметь в виду, что значение активных углей все-таки определяется не только эффектом обесцвечивания. Они удаляют вообще поверхностно-активные вещества, способные адсорбироваться. Такие вещества могут быть весьма вредны для производства, адсорбируясь на поверхности кристаллов сахара, замедляя кристаллизацию и понижая качество сахара.

Эффект адсорбции активным углем поверхностно-активных веществ сказывается в повышении поверхностного натяжения раствора.

Каганов и Красилицков пытались непосредственным опытом установить, насколько повышается скорость кристаллизации сахарозы из зеленой патоки, если удалить из нее максимум поверхностно-активных веществ путем обработки избытком (5%) активного угля. Оказалось однако, что скорость кристаллизации при этом увеличивалась не столь значительно (на 10%). Следовательно, продукты сахарного завода не содержат особо энергичных парализаторов кристаллизации. Может быть, такие парализаторы кристаллизации появляются временами («трудная» варка); в этих случаях применение активного угля может дать более значительный эффект, облегчая кристаллизацию.

4. Применение угля в производстве. Необходимо уметь определять момент, когда следует производить обесцвечивание соков. Здесь могут быть два варианта: можно работать с применением самых минимальных количеств активных углей или же с несколько увеличенным количеством их. В первом случае лучше всего применять их для обесцвечивания колеровки, так как колеровка — это дверь, через которую обратно возвращаются в производство и накаплиются там наиболее вредные из поверхностно-активных веществ — те вещества, которые адсорбировались поверхностью кристаллов желтого сахара, и если их не

удалить, то в дальнейшем они будут с таким же успехом адсорбироваться кристаллами I продукта, понижая его качество. Применяя 0,5% угля типа норит по весу сахара колеровки, израсходуем всего лишь около 0,01% угля по весу свеклы и получим ощутительный эффект.

Еще больший эффект получается, если вести обесцвечивание сиропа, но тогда потребуется затрата 0,10% угля по весу свеклы (при применении 0,5% по весу сахара в сиропе).

При работе с карборафином его применяют обычно «в слое», т. е. эмульсию угля отфильтровывают через фильтрпресс, на салфетках которого образуется слой угля. Затем через этот слой фильтруют обесцвечиваемый сок или сироп. Таким образом уголь соприкасается с соком очень недолго — лишь при его прохождении через слой; однако этого оказывается достаточным при работе с таким мелким углем, как карборафин.

Более удобной и поэтому более распространенной в практике оказалась работа в мешалках, где активный уголь смешивается с обесцвечиваемым продуктом и затем направляется на фильтрпресс: такова обычная работа и на заводах в СССР. Продолжительность воздействия угля на сироп или колеровку принимается в 10 мин.

Активный уголь, использованный уже для обесцвечивания например сиропа, может еще поглощать красящие и поверхностно-активные вещества из менее доброкачественных продуктов и поэтому мог бы быть применен еще раз для очистки таких продуктов, как белая и зеленая патока.

Б. Коллактивит. За последние годы предложен Смитом (в 1931 г.) [78] новый тип активного угля, названный коллактивитом и применяемый на ряде голландских сахарных заводов.

Коллактивит получается обугливанием древесных опилок посредством смешивания с горячей концентрированной серной кислотой в автоклаве.

Коллактивит готовят непосредственно на сахарном заводе; полученный коллактивит должен немедленно идти в производство, так как в промытом виде он постепенно теряет свою активность.

По своей адсорбционной способности коллактивит близок (даже несколько выше) к стандарт-нориту.

В производстве коллактивит обычно прибавляют к соку II сатурации перед сульфитацией его в количестве 0,2% по весу сахара. Затем сок, не отфильтровывая коллактивита, направляют на выпарку.

Коллактивит отфильтровывается лишь из сиропа и направляется в котел II сатурации, а грязь с фильтрпрессов II сатурации — в диффузионный сок и удаляется лишь с грязью I сатурации.

Вместо опилок для коллактивита можно применять меляссу или жом. Добавка $ZnCl_2$ или H_3PO_4 к серной кислоте повышает активность коллактивита.

Преимуществом коллактивита является легкость его производ-

ства на самом сахарном заводе, хороший эффект обесцвечивания и адсорбция также и солей кальция. Большой недостаток его — значительный расход серной кислоты.

Сальфозоль. Мало еще используется для очистки соков золь гидрата окиси алюминия, который как положительно заряженный золь способен коагулировать отрицательные коллоиды сахарных соков и сиропов. К алюминиевым препаратам относится «сальфозоль».

Сальфозоль (salfosol) — сложный препарат, предложенный Гюгелем (Hugel — во Франции) для улучшения коагуляции и обесцвечивания сахарных соков [79]. Подробности способа изготовления препарата неизвестны.

Название (salfosol) препарата характеризует его состав и расщиповывается следующим образом: 1) S — сера, так как препарат содержит SO_2 для обесцвечивания; 2) Al — алюминий, потому что основным коагулирующим коллоиды веществом в препарате является гидрат окиси алюминия; 3) fo — формальдегид, который, вероятно, способствует лучшей коагуляции белков и как восстановитель облегчает обесцвечивание посредством SO_2 ; 4) sol — золь, так как препарат представляет собой коллоидный золь гидрата окиси алюминия.

В основном приготовление сальфозоля состоит в том, что аммиаком осаждают $\text{Al}(\text{OH})_3$ из раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ осадок отделяют на фильтрпрессе и промывают. Затем осадок гидрата окиси алюминия пептизируют в воде посредством сульфитации и к полученному золю прибавляют формалин.

Сальфозоль прибавляют к диффузионному соку и затем, добавляя известь, при $\text{pH} = 8$ получают хорошую коагуляцию коллоидов. Далее проводят обычную дефекацию и сатурацию.

Этот способ, по заявлению автора, позволяет получать хороший сахар без сульфитации и при пониженном расходе извести (1%). Фильтрация и кристаллизация облегчаются.

Боксит — природный гидрат окиси алюминия, который в последнее время начали применять в сахарной промышленности как адсорбент [80].

Порошок боксита нерастворим в воде. Его подвергают термической активации, нагревая до температуры 300—500°. При этом, очевидно, улетает часть гидратной воды и частицы приобретают губчатое строение с высоко развитой поверхностью адсорбции. Нагрева выше 500° следует избегать, так как иначе превосходят чрезмерная дегидратация и уменьшение адсорбционной способности.

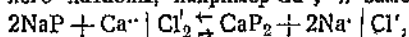
Активированный боксит оказался прекрасным адсорбентом, понижающим цветность и содержание золь в сахарных растворах. Частицы его имеют положительный заряд и поэтому должны хорошо адсорбировать отрицательно заряженные коллоидные красящие вещества соков и сиропов.

Регенерация боксита гораздо проще регенерации активных углей, так как он негорюч; поэтому для регенерации его нагревают просто на воздухе до температуры 300—500°.

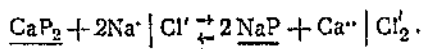
Ионообменники. За последние годы появился в США весьма интересный новый способ дополнительной очистки сока II сатурации, который позволяет последовательно удалить почти полностью сначала катионы, затем коллоиды и анионы сахара, получить сок, близкий по доброкачественности к 100, и таким образом почти полностью избавиться от потерь сахара в патоке. Метод был разработан фирмой Петри и Дорр и осуществлен в заводском масштабе в 1941 г. фирмой Isabella Sugar Co на свеклосахарном заводе в Mount Pleasant Michigan мощностью 15 тыс. ц свеклы в день [81].

Для смягчения жестких вод давно уже применяются так называемые пермутиты, т. е. нерастворимые в воде алюмо-натриевые силикаты такого например состава: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (иногда коэффициенты бывают и несколько иными, иногда Al_2O_3 частично заменен на Fe_2O_3 или Cr_2O_3). Сюда относятся природные цеолиты и глаукониты; готовятся и искусственные пермутиты путем нагревания смеси соды и каолина.

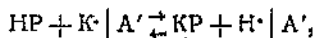
Пермутиты («заменители») обладают весьма ценным свойством, не переходя в раствор отбирать из него катионы, например Ca^{++} , и заменять их на Na^+ :



где символом Р обозначены все прочие, кроме Na⁺, составные части пермутита. Таким образом, при фильтрации жесткой воды через слой пермутита (в виде песка), получается смягченная вода. Натриевый пермутит при этом постепенно превращается в кальциевый пермутит и перестает действовать. Но его чрезвычайно легко регенерировать. Для этого достаточно пропустить через него избыток раствора поваренной соли (NaCl); при этом идет обратная реакция — замена Ca⁺⁺ на Na⁺ (действие избыточной массы Na⁺):



За последнее время ведется ряд работ по изысканию новых искусственных пермутитов: среди них имеются и несиликатные пермутиты, например получаемые сульфированием бурых углей. Особенно интересны водородные пермутиты, способные любой катион заменять на ион водорода:

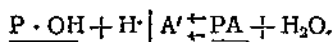


где символом K⁺A^{'-} обозначена любая соль, состоящая из какого-то катиона К и аниона A^{'-}.

Таким образом при пропускании через Н-пермутит из раствора удаляются все катионы и появляется эквивалентное количество кислоты (H⁺|A^{'-}), раствор делается кислым (рН понижается). Такой водородный катионообменник — «катекс» и применяется фирмой Петри и Дорр для удаления катионов сахара из сока II сатурации. Про «катекс» известно лишь, что он готовится синтетически, имеет органическое происхождение и является черным зернистым материалом с зернами размером 2—0,5 мм. После фильтрации через «катекс» сок делается весьма кислым (рН=2). Поэтому перед фильтрацией сок необходимо охлаждать до температуры 20°, так как иначе при более высокой температуре и низком рН началась бы быстрая инверсия сахарозы (даже температура в 30° уже не допустима).

Для полной очистки сока, пропущенного через «катекс», остается удалить лишь анионы. В этом отношении за последнее время также ведутся работы по изысканию анионообменников. Фирма Петри и Дорр применяет найденный ею анионообменник «анекс» (зернистый материал светлокремового цвета с размерами зерен 2,5—0,5 мм).

В первоначальном сообщении изобретатели считали, что «анекс» обладает способностью менять любой анион на OH⁻, т. е. представляет собой OH⁻-пермутит:



Выделенный из пермутита OH⁻, соединяясь с H⁺ кислого раствора, дает воду. Таким образом раствор одновременно освобождается от анионов и делается нейтральным. В последнее время, считают, что «анекс» просто адсорбирует из раствора имеющиеся в нем кислоты, как молекулы (и H⁺ и анионы).

При удалении солей из сока II сатурации также и коллоиды (особенно окрашенные вещества), содержащиеся в нем, оказываются в неустойчивом состоянии и легко адсорбируются или выпадают в осадок, особенно, когда сок делается кислым после применения катекса. Для более надежного и полного выделения коллоидов и красящих веществ в промежуток между фильтрациями через катекс и анекс введена еще фильтрация через активный уголь «дарко» (Darco), имеющий также зернистую структуру (2—0,5 мм).

Итак, для очистки путем ионного обмена сок фильтруют последовательно через три слоя поглотителей; через катекс, дарко и анекс. Каждый слой помещен в особом цилиндрическом танке. Все три танка поставлены друг на друга в одну колонну так, что сок подается лишь в верхний танк, далее же движется самотеком. Танки — стальные, покрытые изнутри каучуком.

Верхний танк имеет диаметр и высоту по 3,3 м и содержит 15,5 м³ катекса (т. е. слой высотой 1,8 м); средний танк диаметром и высотой по 3 м содержит слой дарко высотой около 1,5 м; наконец нижний танк (диаметр и высота его тоже по 3 м) содержит 14,6 м³ анекса (т. е. слой высотой около 2 м).

Таких групп из трех танков имеется четыре. Из них одна группа фильтрует (на производительность 15 тыс. ц свеклы в сутки), две группы — регенерируются и четвертая — запасная. Длительность работы группы до регенерации — 80 мин., длительность регенерации — 160 мин. (следовательно, полный цикл — 240 мин., или 4 часа). Таким образом за сутки регенерируются 18 групп.

Катекс регенерируется путем пропускания через него раствора серной кислоты (концентрация 2,5%), причем поглощенные катионы переходят в раствор взамен поглощаемого из кислоты иона водорода. Для регенерации анекса применяется 1%-ный раствор едкого натра, который после прохождения через слой анекса пропускается затем и через слой дарко для регенерации последнего.

Перед регенерацией надо сначала промывать регенерируемую группу, что производится методически (т. е. сначала идет промывание промоями от предыдущей операции). Но сок все же разбавляется приблизительно, на 10%, и должны быть какие-то потери сахара в последних промывных водах и в фильтрационных массах (о них сведений не дается).

На регенерацию группы расходуется 22,7 м³ разбавленной серной кислоты (или 568 кг чистой кислоты) и 27,2 м³ раствора едкого натра (или 272 кг каустической соды).

После регенерации требуется основательная промывка группы водой.

Довольно сложной операцией является охлаждение сока до температуры 20° перед пропусканием через ионообменник: первоначальное охлаждение (от 95 до 40°) ведут в спиральном противоточном теплообменнике холодным соком, уже очищенным в ионообменнике (он при этом нагревается от 20 до 60°); окончательное охлаждение (от 40 до 20°) проводят в другом теплообменнике холодной речной водой.

При фильтрации pH сока колеблется. Вытекающий из катекса сок вначале имеет pH = 2, а при истощении массы катекса перед его регенерацией кислотность падает и pH = 3. При фильтрации через анекс первоначально сок имеет pH = 11 (остатки щелочи после регенерации), к концу же фильтрации получается pH = 7 и даже несколько ниже. Поэтому, чтобы получать сок однородной щелочности, должен быть танк для смешения, куда собирается после фильтрации весь сок, получаемый с одной группы фильтров (за 80 мин., т. е. нужна емкость смесителя около 130 м³). Затем сок в смесителе доводят всегда до pH = 8,5 путем добавления небольшого количества кислоты или щелочи.

В результате очистки в ионообменнике доброкачественность сока II сатурации повышалась от 91,3 до 98,9, т. е. был достигнут эффект дополнительной очистки в 88%, причем органические сахара удалялись несколько полнее, чем неорганические. Очищенный сок совершенно бесцветен. При выпаривании его выпарка не загорает и в соковых парах не содержится аммиака. Потери сахара в патоке снижаются, и выход его увеличивается.

Приняв содержание сахара в свекле 17,5%, потери сахара до ионообменника 0,5%, считая доброкачественность сока при работе без ионообменника 91,3 и с ионообменником 98,9, а доброкачественность патоки 58,0 (патокообразовательный коэффициент 1,38), легко высчитать, что без ионообменников потеря сахара в патоке на 100 кг свеклы будет равна 2,24 кг, при очистке же в ионообменнике эта потеря выразится лишь в 0,26 кг, т. е. на 1,98 кг меньше. Итак, количество дополнительно полученного сахара благодаря применению ионообменника на 100 кг свеклы будет равно максимум 1,98 кг (не учтены потери сахара в ионообменнике).

На регенерацию в ионообменниках затрачено 568 кг серной кислоты на одну группу ионообменников, работающую 80 мин., т. е. соответствующую переработке $\frac{15\,000 \cdot 80}{1440} = 834$ ц свеклы. На 1 ц свеклы расход серной кислоты

$\frac{568}{834} = 0,681$ кг. Расход каустической соды на одну группу 272 кг, т. е. на 1 ц свеклы $\frac{272}{834} = 0,326$ кг.

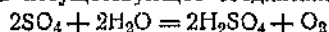
При получении дополнительно на 100 кг свеклы 1,98 кг сахара затрачивается в ионообменнике 0,681 кг серной кислоты и 0,326 кг каустической соды.

На 100 кг полученного дополнительно сахара расходуется 34,4 кг серной кислоты и 16,5 кг каустической соды. Кроме того, получая сахар, мы теряем тот спирт, который можно было бы добыть, сбраживая патоку на спиртовом заводе. Эта потеря на 100 кг сахара составляет приблизительно 60 л спирта (считая на безводный).

Приведенные соображения и подсчеты показывают, что весьма изящный и эффективный метод очистки сока при помощи ионного обмена все же едва ли окажется рентабельным.

Очистка электролизом. Сахароза — не электролит, большинство же несахаров сока, особенно очищенного уже при помощи дефекации и сатурации, представляют собой соли минеральных и органических кислот, т. е. электролиты. При электролизе сока катионы этих солей движутся к катоду, а анионы кислот к аноду. При соприкосновении с катодом катион должен разрядиться и выделиться в виде свободного металла. Так оно и происходит, если электролизу подвергаются например соли меди, серебра и т. п.: выделяются металлические медь и серебро. Но в качестве металлов в соке имеются калий и натрий, которые из водного раствора не выделяются, а вступают во вторичную реакцию $2K + 2H_2O = 2KOH + H_2$. Таким образом калий и натрий собираются у катода в виде растворов KOH и NaOH, причем выделяется водород.

Анионы кислот должны бы выделиться в свободном состоянии на аноде, так и происходит например с анионом Cl^- , который дает на аноде газ хлор — Cl_2 . Анионы органических и большинства минеральных кислот не существуют в свободном виде, и поэтому на аноде идет вторичная реакция. Например ион SO_4^{2-} должен был бы дать несуществующее соединение SO_3 , но идет реакция:



Итак, анионы кислот собираются у анода в виде кислот, причем выделяется кислород.

В средней части межэлектродного пространства остается очищенный сахарный раствор, так как сахар не двигается никуда под влиянием тока, а катионы и анионы несахаров, как показано выше, уводятся к катоду и аноду. Нужно только отделить диафрагмами катодное и анодное пространства от очищаемого сахарного раствора, чтобы не было нового смешения отделенных несахаров с сахарным раствором.

Таким образом теоретически электролитическая очистка сока вполне возможна. Время от времени в этом направлении делаются попытки рядом изобретателей. Например Witt еще в 1927 г. в своих опытах пытался доказать, что работать можно без меляссы [82]. Ему будто бы удавалось доброкачественность патоки довести путем электролитической очистки до 95.

Недостаток электроочистки заключается прежде всего в высокой стоимости электрической энергии, вследствие чего, несмотря на весьма эффектные предварительные выводы о подобных способах, до сих пор ничего неизвестно о применении их в заводской практике.

Работа без очистки сока. Прямой противоположностью всему, написанному выше, является недавно опубликованная работа Яновчика, который предлагает отказаться от всякой очистки сока, а выпаривать, уваривать и кристаллизовать неочищенный диффузионный сок.

Яновчик указывает, что усилия селекции приводят к получению все более доброкачественного диффузионного сока; вместе с тем постепенно снижается рентабельность методов очистки [83].

На опытной установке Яновчик показал возможность работы без очистки сока. Сахар получался сероватого цвета, но вполне пригодный для дальнейшей переработки на рафинадном заводе. В продуктах накаплился инвертный сахар, так как все соки имели кислую реакцию. В патоке количество инвертного сахара было около 3,5%. Потеря сахара в патоке была выше, чем при обычном методе работы, на 1,2% по весу свеклы. Яновчик находит, что эта потеря окупается простотой производства, тем более, что получаемая патока гораздо вкуснее, чем обычная кормовая патока, так как противный вкус продукты приобретают именно вследствие очистки известью. Патока при работе без очистки сока может применяться как пищевой продукт.

* 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего сказанного видно, что, для наилучшей очистки сока свеклы имеется весьма много способов. При выборе технологической схемы производства отнюдь не следует устанавливать друг за другом все предложенные для очистки сока методы. Многие из этих методов, улучшая главным образом лишь цветность сока, очень мало снижают потери сахара в патоке, т. е. в конечном счете оказываются нерентабельными. При других методах снижаются потери в патоке (ионообменники), но эти методы связаны с такими затратами, что полученный дополнительный сахар не всегда окупается.

Уже началась, а в ближайшие годы после разгрома фашистов широко развернется ответственная работа по восстановлению разрушенных гитлеровцами заводов в СССР. Потребуются огромные капиталовложения, потребуются и крайняя экономия средств, чтобы при малых затратах средств получить максимум продуктов. В этих условиях необходимо особенно строго взвешивать рентабельность и необходимость каждой операции по очистке сока. Все лишнее и незначительное должно быть отброшено. Наиболее простая схема очистки будет и наиболее приемлемой.

Предложение Яновчика — работа без очистки сока — неприемлемо в условиях СССР, так как свекла здесь весьма разнообразна по составу, часто сок свеклы оказывается далеко не высокой доброкачественности, и потери сахара в патоке были бы чрезмерны, что совершенно недопустимо.

Фильтрация диффузионного сока через механические фильтры при наличии хорошо обслуживаемых пульповолнушек, вероятно, окажется излишней: эффект такой фильтрации невелик, в то же время эта операция требует затраты рабочих рук и кроме того создается опасность развития микроорганизмов.

Рентабельность сульфитации перед выпаркой с последующей фильтрацией также сомнительна, так как дополнительного сахара она не даст; кроме того оптимальная щелочность сока II сатура-

ции в СССР столь низка, что часто почти нет возможности проводить сульфитацию перед выпаркой.

Весьма сомнительна рентабельность применения активных углей и других адсорбентов, а также и кизельгура. Сомнительна рентабельность применения ионообменников, сомнительна и возможность их применения, так как для этого нужно, чтобы химическая промышленность могла передать сахарной промышленности огромные массы серной кислоты и каустической соды.

Совершенно несомненными остаются основные станции очистки сока: предварительная и главная дефекации, I и II сатурации. На этих станциях и их рациональном ведении и должно быть сосредоточено внимание в ближайшие годы.

Производство на сахарных заводах в СССР будет иметь максимальную продолжительность; поэтому в большинстве случаев должна давать хороший результат не холодная, а горячая предварительная дефекация.

Для бесперебойной надежной работы фильтрации быть может лучше было бы применять периодическую I сатурацию пока нет автоматов для регулирования щелочности. Количество рабочих и оборудования при этом может оказаться даже меньше, чем при непрерывной I сатурации, так как в котлах периодической I сатурации (с мешалками) можно было бы проводить и предварительную (горячую) и главную дефекацию. Таким образом вместо двух котлов предварительной дефекации, одного котла главной дефекации и одного котла непрерывной I сатурации, имелось бы лишь три котла периодической дефеко-сатурации.

ЛИТЕРАТУРА

Общая

1. Зуев, Энциклопедия сах. промысл., т. I и II. Киев 1924.
2. Силин, Физ.-хим. основы сах. производства. Москва 1941.
3. Головин, Технология свеклосах. производства. Москва 1940.
4. Литвак, Технология свеклосах. производства. Москва 1941.
5. Свеклосах. заводы США. Москва 1932.
6. Andrlík, Tovární výroba cukru hospoděho. Praha 1924—25.
7. Linsbauer, Technologie cukru. Praha 1924.
8. Rümpler, Die Fabrikation des Rübenzuckers. 1905.
9. Claassen, Практич. руководство по производству сахара.
10. Wohrysek, Chimie de l'industrie du sucre. Paris 1930.
11. Толпыгин, Ежегодники сахарной промышленности.
12. Ежегодники св.-сах. промышленности СССР.
13. Нормы расчета технической мощности оборудования свеклосах. заводов. Москва 1940.
14. Материалы по оборудованию свеклосах. заводов. Москва 1939.
15. Обмен опытом в сахарн. промышленности. Москва 1938.
16. Urban, Anomalies dans la fabrication du sucre. Paris 1938.
17. Силин, Хим. контроль свеклосах. производства. Москва 1938.
18. Хелемский, Технология сах. производства. Вып. I. Хранение свеклы. Москва 1942.
19. Бенин, Технология сах. производства. Вып. II. Получение сока свеклы. Москва 1942.
20. Невструев, Технология сах. производства. Вып. III. Очистка сока. Москва 1942.

Введение

21. Lègier, Histoire des origines de la fabrication du sucre en France. Paris 1907.
22. Lippmann, Geschichte des Zuckers. Leipzig 1880.
23. Основные показатели по сах. промышленности. Москва 1932.

Сахарная свекла

24. Лепа (редактор), Свекловодство. Москва 1941.
Пузиков и Петербургский, Сахарная свекла. Москва 1942.
Карпенко и Петербургский, Свекловодство. Москва 1937.
25. Рубин, Хранение сахарной свеклы. Москва 1939.
Инструкция по копке, возке, хранению в поле и сдаче сахарн. свеклы. Наркомпищепром СССР. 1943.
Инструкция по приемке и хранению сахарн. свеклы на свеклозаготовительных пунктах. Главсахар 1943.
26. Тищенко, Технология сушения свеклы. Москва 1934.
27. Инструкция по воздушно-солнечной сушке сахарн. свеклы на 1942 г. Главсахар 1942.
28. Фремель, Сборн. работ ЦИНС, вып. 21, Москва 1938.
29. Фремель, Первичная переработка свеклы. Москва 1941.
29. Нахманович, Хим. состав сах. свеклы. Москва 1940.

30. Lippmann, Die Chemie der Zuckerarten, I, II. Leipzig 1904.
Толленс-Эльснер, Краткий справочник по химии углеводов, перевод с 4-го изд. Москва 1938.
- Шорыгин, Химия углеводов, 3-е изд. Москва 1938.
31. Grut. Tsch., 1936—37, 345, 356, 373, 437, 445, 453.
32. Smolenski, Kozłowski, Влияние сахарозы на pH щелочных растворов. В. 1935, 505.
Smolenski, Zergo, Растворимость извести в воде и в растворах сахарозы. В. 1936, 181; Z. 87 (1937), 659.
Smolenski, Porejko, pH растворов извести в воде и в сахарных растворах. В. 1935, 957.
Smolenski, Kozłowski, Вращательная способность щелочных растворов сахарозы. В. 1936, 837.
33. Силин, Аномальная растворимость извести. Ж. 1931, 611.
Saalmann, Исследование системы известь-сахар-вода. Z. 83 (1933), 963.
Силин, Силина. Теория и практика сепарации по Стеффену. Сов. сах. 1932, № 22—23, 36.
34. Нахманович и сотр. Об окислении сахарозы в присутствии извести. Н. З. XXXII; Z. 83 (1933), 235.
35. Sprengler, Böttger, Seeliger, К химии окрашивания соков. Z. 86 (1936), 193.
36. Ehrlich, Свекловичный пектин. Biochem. Zeitschr. 168 (1926), 263; Zeitschr. f. angewandte Chemie, 40 (1927), 1310; D. Z. 49, 1016.
37. Colin, Пектиновые вещества свеклы. В. 1935, 95 и 625.
38. Нахманович, Берман, О пектин. вещ. сахарн. свеклы и отношении их к производству сахара. Н.З. 1935, № 1—2, 11; В. 1936, 872 и 966.
39. Смоленский, О кислом сапонине свеклы. В. 1936, № 17—18; Н.З. 1937, № 4, 59.
40. Силин, Силина, Лабораторное определение технологического достоинства сах. свеклы. Труды ВХТИ, т. 7, 1941 Брошюра, Москва 1944.

Получение сока свеклы

41. Новиков, Механизация погрузки сах. свеклы. Москва 1940.
42. Альянаки, Гаузнер, Жаворонков, Покровский. Вестн. Москва 1938.
43. Силин, Работа диффузионных аппаратов. Москва 1938.
44. Аггеев, Пептизация пектина. вещ. на диффузии. Труды ВХТИ, 1938, т. II, 32.
45. Andriik, Баланс вещества на диффузии. Z. В. 28 (1903—04), 10.
Smolenski, Баланс белков на диффузии. Z. 1910, 1215.
46. Думанский и сотр., Коллоиды диффузионного сока, Ж. IV (1930), 427 и Ж. V (1931), 494.
47. Mezzadrolì, Микроорганизмы на диффузии. Ind. Sacch. It. 1936, 372, 427, 431, 434, 435; В. 1937, 66, 67, 162, 260; В. 1938, 31.
48. Sprengler, Старое и новое в области производства и сельского хозяйства Z. 85 (1935), 706; Н. З. 1935, № 2, 145.
49. Rokorny u. Vondrak, Tsch. 1933—34, V, 58, стр. 241, 257.
50. Замбровский и Коберник, Получение высококачественной стружки, по методу стахановца Коберника. Москва 1938.
51. Карташев и сотр., Оптимальный температурный режим на диффузионной батарее. Сборн. работ КФЦИНС за 1938 и 1939 гг. Киев 1940, стр. 40.

Очистка сока свеклы

52. Jesser, Разложение инвертного сахара. О. Z. 22 (1893), 239, 661.
Также: Styröky Tsch. 51 (1926—27), 230; Иванов С. З., Труды ВХТИ, 1939 г., тт. 3—4.
Силин, Реакции разложения на дефекации. Сборн. статей по сахарной пром. № 9 (1927), 74.
Vondrak. Скорость разложения азотистых нес сахаров. Tsch. 1921—22, 348.

53. Силин, Силина, Элементы эффекта дефекации и I сатурации. Труды ЦИНС, вып. 13 (1933 г.).
54. Логинов, Пути усовершенствования очистки диффузионного сока, Москва 1940.
55. Востоков, Работа на фильтрпрессах по методу стахановки Гриценко. Москва 1938.
56. Востоков, Лепешкин, Повышение производительности известково-обжигательных печей при помощи воздушного дутья. Сборн. работ ЦИНС, вып. 21 (1938), 108.
57. Востоков, Обжиг влажного мела. Бюллетень ЦИНС № 18 (1939), 17 и 19—20 (1939), 50.
58. Минц, Павленко, Холодная дефекация и сатурация, ВСП I, 1909, 505.
59. Карташев и сотр., Холодная или горячая дефекация. Сборн. работ КФЦИНСа за 1938 и 1939 гг. (1940), 33.
60. Минц, Карташев, Технологическая схема ВНИСа, „Сахар“ 1937, № 2.
61. Агеев, Моментальная дефекация. Труды ВХТИ, 3—4 (1939).
62. Skola, Очистка сока малыми количествами извести. Tsch. 4 (1923), 475.
63. Sprengler, Böttger. Опыты очистки сахарных соков без основной дефекации. Z. 88 (1938), № 9.
64. Силин, Растворимые углекальциевые сахараты. Сборн. статей по сах. пром. № 10 (1927), 76.
- Яновский, Бунич, О гидратах углекислого кальция. Ж. 4 (1930), 265.
- Думанский, Вишневецкая, Система сахар — CaCO_3 — NaOH . Ж. общ. химии, 1931 г., т. I, вып. 5, 620.
- Кашеверова, К вопросу о химизме сатурации. Н. З. т. 24 (1933) 57.
- Шнайфман, Критика теории химизма сатурации. Н. З. т. 5 (1928), 273.
- Силин, О критике теории сатурации, Н. З. т. 5
- Sprengler, Dorfmueller. О системе сахар-известь- CO_2 — вода. Z. 83 (1933), 568; 85 (1935), 263; 86 (1936), 377; 87 (1937), 643; В. 1937, 469.
65. Dedek, Kmunicek, Сатурация соляной кислоты. Tsch. 57 (1932—33), 337.
66. Силин, Силина, Струкова, Оптимальное pH предварительной дефекации и I сатурации. Труды ВХТИ, т. 3—4 (1939).
67. Кучев и сотр., Очистка диффузионных соков и сиропов коллоидным углекислым кальцием. Сборн. трудов ЦИНС за 1939 г. (1941), 37.
68. Dedek, Ivanenko, Соли извести в сахарных соках. В. 1936, 825 и 1937, 585; С. 1937, № 25.
69. Sprengler, Böttger, Tödt. Об оптимальной предварительной дефекации. Z. 83 (1933), 661.
- Также Душский, Н. З. 1934, т. II; труды ЦИНС, вып. 20, Корольков, „Сахар“ 1937, № 3, 29.
70. Vasatko, Коагуляция белков свеклы. Tsch. 59 (1934—35), 65, 99, 149, 254, 313.
71. Волохвянский, Оптимум коагуляции обратимых коллоидов. Н. З. 1937 № 2, 33; В. 1937, 277.
72. Карташев и сотр., Автоматизация предварительной дефекации. Сборн. работ КФЦИНС 1938—39 г. (1940), 15.
73. Sprengler, Tödt, Böttger, О сульфитации, Z. 84 (1934), 265.
- Также Stanek, Vondrak. Tsch. 1919—20, 45; 1921—22, 45.
- Weissberg. Z. 1904, 19; Solon, D. Z. 1931, № 5.
- Минц и сотр. Н.З. 1937, вып. I, 36.
74. Sprengler, Böttger, Сульфитация. Z. 85 (1935), 316; Н.З. 1936, № 1, 61.
- Sprengler, Сульфитация стружки, D. Z. 61 (1936), № 3 и 4; В. 1936, 486.
- Schenk, 1936, № 9; В. 1936, 489.
75. Hewitt, Oxidation reduction potentials. 4-th ed. London 1937.
- Dérivée, Les applications industriels du pH. Paris 1937.
- Dutilloy, pH — rH, В. 1936, 851; 1937, 634.
- Dérivée, Контроль pH на практике. В. 1937, 647.
76. Дубинин, Физ.-хим. основы сорбиционной техники. Москва, 1932.
- Vasatko, Об активных углях. Tsch. 52 (1927—28), 21.
- Также Linsbauer, Tsch. 51 (1926—27), 353 и 50 (1925—26); 49;

- Dedek. Tsch. 51 (1926—27), 523; Tüdt, Z. 77 (1927), 753.
- Корольков и Фейгин, Применение активных углей в сахарной промышленности. Москва 1935.
77. Садовый, Адсорбция норитом и кизельгуром. Труды ВХТИ, II (1935), 68.
Корольков, Адсорбция некоторыми активными углями. Н.З. 1937, № 2, 40.
Пшеничный, Шумков, Опыты употребления норита для очистки сахарных продуктов. Н.З. 1934, № 11—12.
78. Smith, Коллактивит F, 31 (1936), 308. Также: Spengler и сотр. В, 1937, 608; Z. 1937, № 4; Sandera, В. 1937, 400.
79. Hugel, Сальфозоль, В, 1936, 3.
80. La Lande, Боксит, как очищающий адсорбент. Ind. Eng. Ch. 33 (1940), № 1, 108—111; S. 1941, № 3, 28.
81. Rawlings, Shafer, Ионообменники. F. 1942, № 1, 26.
Также Wetz, F., 1943, № 1, 26.
82. Witt, Электрическая очистка соков, С. 1927, № 37; Ж. 1927, 576.
83. Janovtschik, Нужна ли химическая очистка сока сахарной свеклы, В. 1939, 390; S. 1939, № 7, 34.
-

Сокращенные обозначения

- B. — Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie.
ВСП — Вестник сахарной промышленности.
C. — Centralblatt für die Zuckerindustrie.
DZ — Die Deutsche Zuckerindustrie.
Ж — Журнал сахарной промышленности.
ЗСП — Записки по свеклосахарной промышленности.
Ind. Sacch. It. — Industria Saccharifera Italiana.
Н. З. — Научные записки по сахарной промышленности или Записки науч.-иссл. кафедры технологии с.-х. производств.
OZ — Oesterreichisch-Ungarische Zeitschrift für die Zuckerindustrie und Landwirtschaft.
„Сахар“ — Журнал „Сахар“.
Сов. сах. — Советский сахар.
S — Sugar.
F — Facts about Sugar.
SB — Sucrerie Belge.
Труды ВХТИ — Труды Воронежского химико-технологического института пищевой промышленности.
Tsch — Zeitschrift für die Zuckerindustrie der Tschechoslovakischen Republik.
Z. — Zeitschrift des Vereins der Deutschen Zuckerindustrie (или der Wirtschaftsguppe Zuckerindustrie).
ЦИНС — Центральный науч.-иссл. институт сахарной промышленности.
КФЦИНС — Киевский филиал ЦИНС.
ВНИС — Всесоюзный науч.-иссл. институт сахарной промышленности.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

I. ВВЕДЕНИЕ

	Стр.
1. Роль углеводов и сахарозы в питании человека	3
2. История развития сахарного производства	5
1) Тростниково-сахарное производство до XIX в.	5
2) Возникновение свеклосахарного производства	5
3) Современное состояние сахарного производства	8
4) Развитие сахарного производства в России и в СССР	11
3. Свеклосахарное производство (схема)	16
4. Тростниково-сахарное производство	19
5. Иные (кроме сахарной свеклы и сахарного тростника) источники получения сладких веществ	23
Сахарное сорго, Сахарный клен, Крахмальная патока и глюкоза	
Искусственные сладкие вещества	23

II. САХАРНАЯ СВЕКЛА

1. Культура сахарной свеклы	26
1) Ботаническая характеристика и происхождение сахарной свеклы .	26
2) Биология сахарной свеклы	27
3) Условия культуры сахарной свеклы	30
4) Методы культуры сахарной свеклы	33
Место сахарной свеклы в севообороте. Осенняя подготовка почвы.	
Предпосевная обработка и посев. Уход за плантацией. Уборка	
свеклы. Размеры и форма корня свеклы. Вредители свеклы.	
Свекловичное семенное хозяйство и селекция	33
2. Хранение сахарной свеклы	42
1) Введение	42
2) Биология хранения свеклы	42
3) Техника хранения сахарной свеклы в свежем состоянии	46
Уборка свеклы. Возка и приемка свеклы. Кагатирование свеклы.	
Надзор и уход за кагатами свеклы. Полевое кагатирование	
свеклы. Потери сахара при хранении свеклы. Стахановские	
методы хранения свеклы	46
* 4) Хранение свеклы в мороженом состоянии	53
* 5) Иные методы консервирования свеклы для сахарного производ-	
ства (кроме замораживания)	57
Свеклосушение. Воздушно-солнечная сушка сахарной свеклы. Кон-	
сервирование диффузионного сока свеклы. Первичная перера-	
ботка свеклы. Заключение	57
3. Химический состав сахарной свеклы	63
1) Общий состав сахарной свеклы	63

Сухие вещества и вода. Сок. Мякоть и связанная вода. Сахар и несахара. Растворимые и нерастворимые несахара. Состав нормального сока свеклы. Состав мякоти. Растворимые несахара. Азотистые вещества свеклы. Безазотистый органический несахар сока свеклы. Зола свеклы. Состав свеклы в зависимости от условий роста и хранения	63
2) Производственная химия углеводов	72
Моносахариды	72
Полисахариды I класса	85
Сахароза (тростниковый сахар)	85
Рафиноза (медитриоза, госсипоза)	101
Полисахариды II класса	103
Клетчатка (целлюлоза)	103
Геммцеллюлозы	103
Лигнин	104
3) Пектиновые вещества. Определение. Классификация и гидролиз. Гидролиз протопектина. Осаждаемость. Коллоидные свойства пектина. Действие кислот	104
4) Безазотистые органические растворимые несахара свеклы	109
Органические кислоты. Жиры. Сапонины. Красящие вещества сока	110
5) Азотистые несахара свеклы	116
Белки. Аминокислоты. Амиды кислот. Органические основания. Минеральный азот. Общие данные	116
6) Оценка свеклы	125
Содержание сахарозы. Доброкачественность нормального сока свеклы. Доброкачественность очищенного нормального сока. Вредный азот. Зола. Прочие показатели	125

III. ПОЛУЧЕНИЕ СОКА ИЗ СВЕКЛЫ

1. Общие понятия о диффузионном способе сокодобывания	128
2. Предварительные операции	130
1) Подача свеклы на завод	130
Подача свеклы на территорию завода. Бурачная и гидравлический транспортер. Подача свеклы в мойку	135
2) Освобождение свеклы от грубых примесей	135
Соломолушкa. Камнелушкa. Пескoлушкa	135
3) Мойка свеклы	138
Мойка Добровольского. Мойка Пустынского. Моечное помещение. Потери и отходы моечного отделения	138
4) Транспортировка свеклы к резке и взвешивание	142
Контрольный транспортер. Отделение воды от промытой свеклы. Бурачный элеватор. Магнитный сепаратор. Автоматические весы	142
5) Регулирование предварительных операций	146
3. Получение свекловичной стружки	147
1) Общие понятия об измельчении свеклы	147
2) Ножи и ножевые рамы свеклорезки	148
3) Свеклорезки и их работа	150
Дисковая свеклорезка. Центробежная свеклорезка. Работа резок	153
4) Подача свекловичной стружки на диффузию	153
Ленточный или лассовый транспортер. Грабельный транспортер	153
4. Диффузионная батарея и ее работа	156
1) Схема кругового процесса выщелачивания свеклы	156
2) Устройство диффузионной батареи	158

Диффузор. Калоризатор. Вентили и трубы. Мерник диффузионного сока. Пульполовущики. Удаление жомы и диффузионной воды. Снабжение диффузии водой	158
3) Работа на диффузионной батарее	164
Нормальный ход работы диффузионной батареи. Пуск в ход диффузионной батареи. Прекращение работы диффузионной батареи. Факторы и показатели работы диффузионной батареи . .	165
4) Теория работы диффузионной батареи с точки зрения закона Фика. Законы диффузии. Применение закона Фика к работе диффузионной батареи. Роль различных факторов в работе диффузионной батареи	169
5) Материальные баяасы и продукты диффузионной батареи	178
Количество отходов диффузии. Потери сахара и баланс сахара на диффузии. Откачка сока. Расход воды на диффузии. Переход несахаров в сок. Пектиновые вещества. Коллоиды диффузионного сока. Стадии работы. Брожение на диффузии. Инверсия сахарозы на диффузии. Эффект очистки сока на диффузии. Продукты диффузионной батареи	178
6) Расчет размеров диффузоров	187
7) Тепловой баланс диффузионной батареи	188
* 5: Математическая теория противоточного выщелачивания	190
* 1) Обзор развития теории работы диффузионной батареи	190
* 2) Теория противоточного выщелачивания на базе закона Фика . .	192
Теория противоточного выщелачивания. Работа последнего (хвостового) диффузора батареи. Расчет потерь на диффузии при помощи номограммы 1. Влияние отдельных факторов на величину потерь сахара на диффузии. Упрощенные номограммы для определения потерь на диффузии. Нормирование работы диффузионной батареи при помощи теоретических расчетов	192
* 6. Варианты в работе на диффузии	208
* 1) Качество стружки	208
Торцевание ножей. Выравнивание ножей. Отжиг. Фрезерование. Точка ножей. Закалка ножей. Отпуск ножей. Набор ножей в рамы	208
* 2) Оборот батареи	211
Цели. Сита. Пульполовущики. Непрерывная откачка сока. Работа с „подбором“. Давление воды. Стахановские методы. Заполнители. Работа с недогрузом	212
* 3) Температура диффузии	217
Обогрев хвостовых диффузоров. Работа диффузии с головным гревом. Работа без обогрева головного диффузора	217
* 4) Число диффузоров в батарее	220
* 5) Равномерность движения сока	220
* 6) Откачка сока	222
Размер откачки. Контроль откачки и работы батареи. Регулирование откачки по количеству подаваемой на диффузию воды. Диффузионные аппараты непрерывного действия	222
* 7. Ненормальности в работе диффузии	228
* 1) Замедленный набор и откачка сока	228
Плохая стружка. Забитые сита пульполовущики или сита диффузоров. Перегревы на диффузии. Плохое удаление воздуха. Образование газов. Чисто механические препятствия	228
* 2) Велики потери сахара в жоме и для снижения их приходится сильно повышать откачку сока	229

Плохая стружка. Неравномерная набивка диффузоров. Плохой нагрев сока на диффузии. Водяные вентили неплотно закрываются. Быстрый оборот батареи	229
* 3) Диффузионный сок плохого качества	229
Высокая температура. Медленная работа. Плохая стружка. Остановки в работе диффузии	229
* 4) Велики неучтенные потери сахара на диффузии	229
Микроорганизмы и брожение, Инверсия сахарозы. Утечка сока через вентили и крышки диффузора. Течь трубок калоризатора	229
* 5) Выключение диффузора для ремонта	231

IV. ОЧИСТКА ДИФфуЗИОННОГО СОКА

1. Общее понятие об очистке сока	232
Необходимость очистки сока. Методы очистки сока. Обычный метод очистки сока. Обзор развития методов очистки сока	232
2. Предварительные операции перед очисткой сока	236
Фiltrация диффузионного сока. Нагрев диффузионного сока	236
3. Дефекация	240
1) Система: известь + сахар + вода	240
2) Реакции на дефекации	243
Реакции, вызываемые ионом кальция. Реакции, производимые ионом гидроксидов. Длительность дефекации. Щелочность и соли кальция	243
3) Аппаратура и выполнение дефекации	249
Дефекационный котел. Расчет объема дефекатора. Мерник известкового молока	249
4) Предварительная дефекация	253
Общее понятие. Цель предварительной дефекации. Аппаратура и выполнение предварительной дефекации	253
4. I сатурация	255
1) Цель и обычные условия I сатурации	255
Цель. Температура. Время. Количество извести. Щелочность сока после I сатурации	255
2) Химические реакции на I сатурации	257
Система: известь + углекислота + сахар + вода. Щелочность и соли кальция после I сатурации	257
3) Аппаратура и выполнение I сатурации	258
Сатурационные котлы непрерывного действия. Контроль и регулирование I сатурации. Коэффициент использования газа на I сатурации. Ненормальности в работе I сатурации. Периодическая I сатурация. Расчет объема котла I сатурации. Тепловые процессы на I сатурации	258
5. II сатурация	267
1) Цель и основные реакции II сатурации	267
Цель II сатурации. Основные процессы. Щелочность и соли кальция после II сатурации. Натуральная, или естественная, щелочность. Оптимальная щелочность	267
2) Аппаратура и выполнение II сатурации	272
Аппараты II сатурации. Коэффициент использования сатурационного газа. Контроль II сатурации. Охлаждение сока на II сатурации	272

6. Баланс веществ на дефеко-сатурации	274
1) Эффект очистки на дефеко-сатурации	274
Удаление отдельных нес сахаров. Общий эффект очистки сока	
2) Состав продуктов и количество их на дефеко-сатурации	276
Состав сока II сатурации. Состав фильтпрессионной грязи. Количес- тво продуктов и потери сахара на дефеко-сатурации	
7. Фильтрация соков	279
1) Общее понятие о фильтрации	279
Осадок. Давление. Температура. Длительность фильтрации	279
2) Фильтпрессы и их работа	281
Конструкция фильтпресса. Работа на фильтпрессах. Ненормаль- ности в работе фильтпресов	281
3) Вакуумфильтры	285
Недостатки фильтпресов. Устройство барабанного вакуумфиль- тра. Грязесушители. Ненормальности в работе грязесушите- лей и вакуумфильтров	285
4) Механические фильтры	290
Фильтр сист. Прокша	291
8. Получение извести и сатурационного газа	293
1) Химические основы получения извести и углекислоты	293
2) Устройство известкообжигательных печей	294
Шахтная печь сист. Керна. Механизированные печи: Лавер	294
3) Работа на известкообжигательной печи	298
Основные факторы работы. Повышение производительности печи. Обжиг мела. Ненормальности в работе печи. Состав сатураци- онного газа. Расход топлива, количество углекислоты. Расчет необходимого объема печи	298
4) Получение известкового молока	302
9. Дополнительные методы очистки сока	304
1) Сульфитация	304
Цель и химизм сульфитации. Место сульфитации в технологичес- кой схеме. Получение сернистого газа. Сульфитационный котел	304
2) Активные угли	306
Активный уголь. Действие активного угля. Место в технологи- ческой схеме и способ применения активных углей	307
3) Кизельгур	308
Цель применения. Сорта кизельгура. Применение кизельгура	308
* 10. Физико-химия и варианты работы по очистке сока	310
* 1) Концентрация ионов водорода в соках сахарного завода	310
* 2) Эффект и варианты глазной дефекации	312
Эффект дефекации. Мокрая и сухая дефекация. Температура дефе- кации. Продолжительность дефекации. Количество извести	312
* 3) Теория и варианты I сатурации	319
Коллоидный CaCO_3 на сатурации. Адсорбция на I сатурации. Эффект I сатурации. Количество извести. Быстрота работы на I сатурации. Температура I сатурации. Щелочность сока I сату- рации	319
Варианты работы на I сатурации	328
Холодная сатурация. Ускоренная сатурация. Способ Дорра. Работа без I сатурации. Методы с отдельным получением CaCO_3 (спо- соб Головина, способ Куцева)	328

* 4) Варианты II сатурации	331
Осаждение солей CaO . Борьба с пересатурированием. Добавле- ние извести на II сатурацию	331
* 5) Предварительная дефекация	332
История развития метода предварительной дефекации. Оптималь- ная предварительная дефекация. Прогрессивная предварительная дефекация. Теория предварительной дефекации. Обратимость коагуляции. Автоматизация предварительной дефекации	332
* 6) Теория и варианты сульфитации	338
Цель сульфитации. Оптимальные условия. Растворимость солей CaCO_3 , CaSO_3 и CaSO_4 . Место сульфитации в технологической схеме. Сульфокарбонатация. Карбосульфитация. Сульфитация сиропа. Сульфитация диффузионного сока. Сульфитация свек- ловичной стружки. Окислительно-восстановительный потенциал Гидросульфиты	338
* 7) Дополнительные адсорбенты и другие методы очистки	344
Активные угли: Костяной уголь. Активные древесные угли. Эффект адсорбции активным углем. Применение угля в производстве Коллактивит. Сальфозоль. Боксит. Ионообменники. Очистка элек- тролизом	344
* 8) Заключение	355
Литература	357
Сокращенные обозначения	360