ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КРАХМАЛО-ПАТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ КРАХМАЛО-ПАТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КРАХМАЛО-ПАТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Допущено в качестве учебника
для техникумов
пищевой промышленности

Бух. ТИЛП и ЛП
БИБЛИОТЕКА
№ 35570

МОСКВА
АГРОПРОМИЗДАТ
1986

ББК 36.84
Т 38
УДК 664.2.002(75)

Е. А. Штыркова **Н. И. Филиппова** **В. Н. Романенко**
Е. К. Сидорова **А. И. Жушман** **А. Н. Найденов**
К. И. Пазирук **Т. А. Ладур** **Е. Г. Бондарь**

Рецензенты: Жердевский техникум сахарной промышленности (преподаватель *В. С. Воропаева)* и инж. *М. Г. Губин*

Т38 **Технология** и технохимический контроль крахмалопаточного производства/Е. А. Штыркова, Е. К. Сидорова, К. И. Пазирук — М.: Агропромиздат, 1986. — 319 с., ил.

В книге рассмотрены строение и свойства крахмала, особенности сырья и технологии крахмалопродуктов, использование побочных продуктов производства, теория кислотного и ферментативного гидролиза крахмала, технология производства кристаллической глюкозы с применением ферментных препаратов.

Изложено производство декстрина, саго, модифицированных крахмалов, медицинской глюкозы.

Приведены методы анализа основных и промежуточных продуктов.

Книга предназначена в качестве учебника для техникумов пищевой промышленности.

Т $\frac{2907000000-074}{035(01)-86}$ 376—86

ББК 36.84

© ВО «Агропромиздат», 1986

Введение

Крахмал является наиболее распространенным в растительном мире углеводом. Он играет большую роль в питании человека, являясь одним из основных представителей углеводов.

Крахмал содержится в больших количествах (60—80 %) в зерновых культурах — рисе, кукурузе, пшенице и др. Картофель содержит до 25 % крахмала в зависимости от сорта, условий выращивания и других факторов.

Крахмало-паточная промышленность имеет важное значение в народном хозяйстве. Ее продукция используется во многих отраслях, как пищевых, так и непищевых. Крахмалопродукты вырабатывают в основном из кукурузы и картофеля.

Производство крахмала в нашей стране известно еще с XVII в., одновременно с появлением культивирования картофеля. Сначала это было кустарное производство, основанное на ручном немеханизированном труде. Производство же патоки и глюкозы возникло только в XIX в. после открытия русским химиком Кирхгофом в 1811 г. процесса гидролиза крахмала. Вскоре после этого был построен Ярославский крахмало-паточный завод. С этого времени можно считать начало развития крахмало-паточной отрасли.

К 1912 г. в России уже вырабатывалось 77 тыс. т крахмала, патоки и глюкозы. При этом производство их было рассредоточено на мелких кустарных заводах.

Крахмало-паточная промышленность развивалась в основном в центральных районах нашей страны — Ярославской, Владимирской, Рязанской, Тамбовской, Пензенской и Орловской губерниях.

После Великой Октябрьской социалистической революции началось строительство новых картофелеперерабатывающих предприятий не только в РСФСР, но и в Белорусской и Украинской союзных республиках. На Ярославском крахмало-паточном комбинате в 1924—1925 гг. было организовано производство кукурузного крахмала, патоки, масла и кормов.

В годы первых пятилеток был введен в эксплуатацию Бесланский маисовый комбинат, оснащенный передовым для того

времени оборудованием, вырабатывающий сухой кукурузный крахмал, патоку и глюкозу.

К предвоенному 1940 г. крахмало-паточная промышленность СССР вырабатывала уже 248 тыс. т крахмалопродуктов, т. е. в 3,2 раза больше, чем в 1912 г. При этом объем производства сухого крахмала возрос в 5 раз, а патоки — в 2,6 раза.

В послевоенные годы началось восстановление предприятий отрасли. Одновременно велась их реконструкция и продолжалось строительство новых предприятий.

В 1956 г. был введен в строй Бендерский паточный завод в Молдавии, а позднее — Верхнеднепровский кукурузоперерабатывающий комбинат. В настоящее время Бендерский завод имеет мощность около 70 т патоки в сутки.

В 1983 г. введен в эксплуатацию Ефремовский глюкозно-паточный комбинат в Тульской области мощностью 450 т кукурузы в сутки. На этом комбинате будет вырабатываться 48 тыс. т патоки и 31 тыс. т глюкозы в год.

Техническое оснащение крахмало-паточных предприятий СССР находится на достаточно высоком уровне. Основные технологические процессы механизированы и частично автоматизированы. Большое внимание в промышленности уделяется механизации погрузочно-разгрузочных работ с сырьем и готовой продукцией. Развитие картофелекрахмальной отрасли идет по линии концентрации производства, увеличения мощности предприятий по переработке картофеля, создания соответствующего оборудования, новых технологических процессов, рационального использования побочных продуктов производства.

Кукурузокрахмальное производство также основано на полностью механизированном и частично автоматизированном технологическом процессе. Верхнеднепровский и Бесланский комбинаты перерабатывают по 500—600 т кукурузы в сутки, имеют высокие технико-экономические показатели. Объем производства крахмалопродуктов из кукурузы составляет в нашей стране около 70 %.

В последние годы значительное внимание уделяется расширению ассортимента крахмалопродуктов, особенно выпуску различных видов модифицированных крахмалов и новых видов сахаристых продуктов из кукурузы.

Модифицированные крахмалы — это крахмалы, свойства которых изменены путем воздействия химических, механических или термических методов. При этом получают крахмалы частично гидролизованные, окисленные, набухающие и др. Модифицированные крахмалы применяются в производстве мороженого, желейных и сбивных кондитерских изделий, в производстве консервов, киселей и других пищевых продуктов, а также в текстильном и бумажном производствах, автомобилестроении, в медицине. Однако в настоящее время в научно-исследовательских институтах проводятся работы, направленные на замену крахмала для использования в технических целях.

В научно-производственном объединении по крахмалопродуктам разработаны способы получения новых видов сахаристых крахмалопродуктов: глюкозно-фруктозного сиропа, который в ряде производств может заменить свекловичный сахар; декстриномальтозной патоки для детского питания, мальтина, высоко- и низкоосахаренных паток. В производстве этих продуктов используются амилолитические ферментные препараты.

Планом развития крахмало-паточной промышленности предусмотрены дальнейшее совершенствование техники и технологии крахмалопродуктов, а также разработка и внедрение новых видов их.

Картофелекрахмальная отрасль будет развиваться в направлении внедрения гидроциклонных установок для разделения измельченной кашки, а также переработки основного количества картофеля в период его заготовки с выводом на хранение нерафинированного сырого крахмала. Будут разработаны наиболее рациональные методы переработки побочных продуктов.

Кукурузокрахмальное производство будет совершенствоваться в направлении внедрения полностью замкнутого процесса и сведения к минимуму потерь сухих веществ.

Будут продолжены работы в области изыскания новых видов крахмалсодержащего сырья, например пшеницы, сорго, и строительства предприятий в районах Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока.

Гл. 1 написана канд. техн. наук В. Н. Романенко, гл. 2 — канд. техн. наук Н. И. Филипповой, гл. 3 — А. Н. Найденовым, гл. 4 — д-ром техн. наук, проф. К. И. Пазируком, гл. 5 — д-ром техн. наук А. И. Жушманом, гл. 6 — канд. техн. наук Е. К. Сидоровой, гл. 7 — канд. техн. наук Т. А. Ладур, подраздел «Производство медицинской глюкозы» — канд. техн. наук Е. Г. Бондарем, разд. II — канд. техн. наук Е. А. Штырковой.

Раздел I. ТЕХНОЛОГИЯ КРАХМАЛОПРОДУКТОВ

СТРОЕНИЕ КРАХМАЛА

Крахмал является природным полимерным органическим соединением, относящимся к группе углеводов. Этот полимер синтезируется высшими и низшими растительными организмами из глюкозы, которая образуется в результате фотосинтеза зелеными растениями. В процессе фотосинтеза углекислый газ, поглощенный растением из воздуха, под влиянием солнечного света взаимодействует с водой, в результате чего образуется глюкоза и выделяется кислород.

Реакция протекает по уравнению

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{хлорофилл}]{\text{свет}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O.$$

Накопленная в растении глюкоза превращается затем в крахмал по уравнению

$$nC_6H_{12}O_6 \rightarrow (C_6H_{10}O_5)n + nH_2O.$$

Крахмал является источником для производства крахмалопродуктов пищевого и технического назначения.

Крахмальные зерна имеют овальную, многогранную или неправильную форму. Размеры (диаметр) крахмальных зерен колеблются от 2 до 150 мкм. Наиболее крупные крахмальные зерна у картофеля, а самые мелкие — у риса и гречихи.

При рассмотрении крупных зерен крахмала под микроскопом заметна их слоистость, видны «глазок» — центр, вокруг которого выросло зерно крахмала, и трещины или бороздки. В поляризованном свете в освещенном зерне крахмала видны две темные линии, пересекающиеся в районе глазка, образующие так называемый поляризационный крест. Двойное лучепреломление свидетельствует о том, что зерна крахмала обладают упорядоченной структурой. При термической обработке и клейстеризации крахмала поляризационные кресты исчезают, что вызвано разрушением упорядоченной структуры.

Зерна крахмала обычно включают два различающихся по строению и свойствам полисахарида — амилопектин (70—80 % от массы крахмала) и амилозу (20—30 % от массы крахмала). Оба полисахарида построены из одинаковых глюкозных остат-

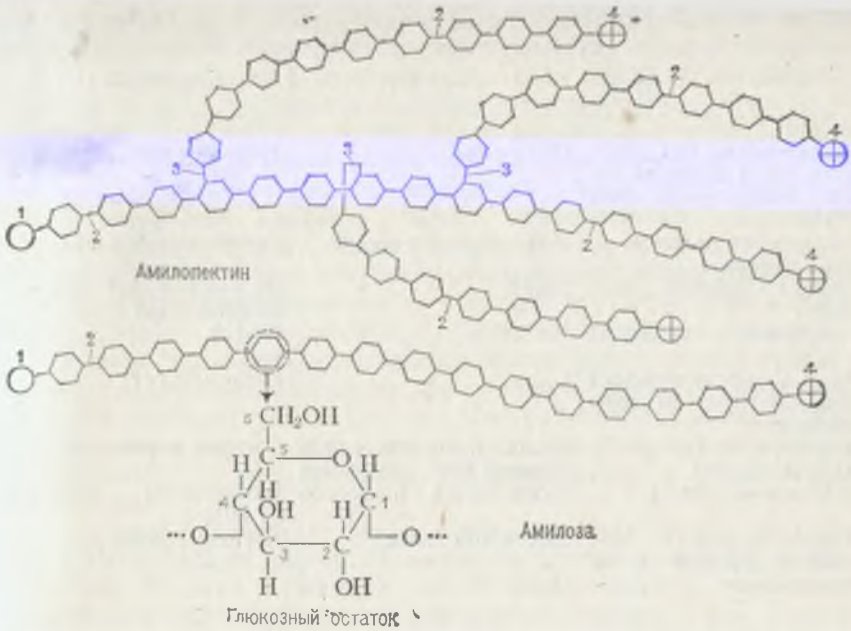


Рис. 1. Структура полисахаридных компонентов крахмала

ков, но амилопектин имеет ветвистую структуру, а амилоза — линейную. В первом полисахариде глюкозные остатки связаны α-1—4-глюкозидными связями, а в точках ветвления — α-1—6-глюкозидными связями, а в амилозе — преимущественно α-1—4-связями. Схема строения амилопектина и амилозы представлена на рис. 1.

Соотношение полисахаридов крахмала может изменяться в зависимости от вида и сорта растения. В крахмале восковидной кукурузы амилоза практически отсутствует. С другой стороны, выведены сорта кукурузы с повышенным содержанием амилозы (более 80 %).

Различия в строении амилопектина и амилозы обусловливают их неодинаковые свойства, что видно из табл. 1.

Амилозная и амилопектиновая фракции, а также крахмалы с преобладающим содержанием этих полисахаридов производятся в промышленных масштабах и находят разнообразное практическое применение.

В состав крахмала кроме полисахаридов входит некоторое количество минеральных, азотистых веществ и липидов.

Катионы, входящие в состав крахмала, влияют на его физико-химические свойства. Крахмалы с повышенным содержанием катионов щелочных металлов образуют клейстеры повы-

Таблица 1

Свойства или признак	Амилозная фракция	Амилопектиновая фракция
Растворимость при обработке зерен крахмала водой температурой ниже 100 °С	Растворима	Нерастворима
Стабильность раствора при хранении	Легко образует осадок	Остается стабильным
Окраска йодного комплекса	Синяя	От красно-бурой до красно-фиолетовой
Способность связывать йод, %	18—20	0—1,3
Число нередуцирующих концевых групп на одну молекулу	1	Несколько сот
Отношение растворов к высшим спиртам	Выпадает в осадок в виде комплексного соединения	Остается в растворе
Действие α-амилазы	Расщепляется полностью	Расщепляется примерно на 50%
Пленкообразующая способность фракций и их производных	Эластичные пленки	Хрупкие пленки

шенной прозрачности и вязкости, а с высоким содержанием ионов кальция и магния — клейстеры пониженной прозрачности и вязкости.

СВОЙСТВА КРАХМАЛА

В зависимости от происхождения (вида растения — крахмалоноса), сорта растения, места и условий производства морфологические особенности и свойства крахмалов изменяются в широких пределах.

Кукурузный крахмал. Зерна крахмала мучнистой части кукурузного зерна имеют круглую форму, зерна кремнистой части — многоугольную. Кукурузный крахмал содержит небольшое количество мелких зерен размером 5 мкм, наиболее крупные обычно достигают 25—26 мкм, средний размер зерен составляет около 15 мкм. Сложные зерна встречаются редко. В зернах крахмала имеется круглый глазок, заменяющийся в измельченном сухом крахмале углублением, из которого расходятся трещины. Бороздки отсутствуют. В поляризованном свете крест ясно виден и находится у глазка или у геометрического центра зерна. Клейстеры кукурузного крахмала характеризуются невысокой вязкостью, низкой прозрачностью, стабильностью свойств при хранении, а также при действии тепла и перемешивании.

Зерна крахмала восковидной кукурузы почти на 100 % состоят из амилопектина. Такой крахмал называют амилопектиновым. Зерна его имеют размер от 5 до 25 мкм, глазок отчетливо

просматривается в центре зерна, в поляризованном свете виден крест правильной формы. Амилопектиновый крахмал отличается от крахмала обычной кукурузы тем, что образует клейстеры высокой вязкости, бо́льшей прозрачности и стабильности. Тянущаяся консистенция клейстера этого крахмала в ряде случаев является нежелательным свойством для потребителя. Этот недостаток устраняют физико-химической обработкой крахмала.

Картофельный крахмал. Зерна картофельного крахмала имеют овальную форму. Размер их колеблется от 15 до 150 мкм. Крупные зерна имеют отчетливо выраженные концентрические бороздки, что свидетельствует о слоистой структуре зерен крахмала. Глазок хорошо виден, он расположен эксцентрично в более узкой части зерна, поляризационный крест несимметричен. Мелкие зерна имеют круглую или овальную форму, отличаются меньшей слоистостью, в них труднее различить глазок. Клейстеры картофельного крахмала отличаются высокой вязкостью, нестабильностью при хранении, перемешивании и термическом воздействии.

Пшеничный крахмал. Зерна этого крахмала имеют круглую или эллиптическую форму. Пшеничный крахмал содержит крупные (20—35 мкм) и мелкие (2—10 мкм) зерна и отличается незначительным содержанием средних по размеру зерен. Глазок слабо заметен в центре крупных зерен, на мелких зернах он вообще не виден. В поляризованном свете на некоторых зернах видны в центре нечеткие кресты. Пшеничный крахмал образует клейстеры низкой вязкости и более прозрачные по сравнению с клейстерами кукурузного крахмала. При высоких концентрациях после охлаждения клейстеры пшеничного крахмала образуют эластичные студни.

Влияние термического действия. При контакте с влагой высушенный крахмал связывает молекулы воды, набухая при этом. В условиях относительной влажности воздуха 98 % величина сорбции воды обезвоженным крахмалом увеличивается в зависимости от вида крахмала в следующем порядке: рисовый, кукурузный, пшеничный, картофельный.

При нагревании крахмала характер его превращений зависит от влажности крахмала, присутствия химических веществ и величины теплового воздействия. Различные процессы протекают при нагревании сухого крахмала и его водных суспензий. Нагревание сухого крахмала выше 140 °С с потерей связанной воды приводит к повышению его растворимости в воде и снижению вязкости, что является результатом расщепления молекулярных цепей.

Изменения, протекающие при нагревании водной суспензии крахмала, зависят от температуры, до которой нагрета суспензия, и ее концентрации. При этом в процессе изменения структуры зерен крахмала различают четыре этапа.

На первом этапе при комнатной температуре или незначительном нагревании суспензии (обычно до 50 °С) происходит

медленное и обратимое ограниченное набухание зерен крахмала.

На втором этапе набухание зерен крахмала становится интенсивным и необратимым. Происходит частичная клейстеризация крахмала и переход в раствор низкомолекулярной фракции амилозы, быстро возрастает вязкость суспензии. После охлаждения системы зерна крахмала претерпевают существенное изменение — большая их часть утрачивает первоначальную структуру и двойное лучепреломление.

На третьем этапе в результате дальнейшего повышения температуры происходит полное растворение амилозы, содержащейся в крахмальных зернах.

На четвертом этапе нагревания зерна крахмала полностью разрушаются и полисахаридные молекулы переходят в раствор, образуя клейстер.

В табл. 2 приведена температура клейстеризации некоторых

Таблица 2

Крахмал	Температура клейстеризации, °С		
	начальная	конечная	средняя
Кукурузный	62	72	67
Картофельный	59	68	63,5
Пшеничный	58	64	61
Рисовый	68	78	75

видов крахмала, определенная с помощью микроскопа с нагревательным столиком по исчезновению поляризационных крестов.

Свойства крахмальных клейстеров. Вязкость крахмальных клейстеров, стабильность их при хранении, механическом, химическом и других воздействиях зависят от вида крахмала, условий приготовления (температура, давление, интенсивность перемешивания и др.). Бóльшей вязкостью обладают клейстеры клубневых крахмалов, меньшей — клейстеры зерновых крахмалов, амилопектиновые крахмалы занимают промежуточное положение. На вязкость клейстеров большое влияние оказывают также производственные условия приготовления крахмала и степень его чистоты.

Прозрачность клейстеров зависит от присутствия в системе других веществ. Сахара увеличивают ее, а моностеарат глицерина делает клейстер мутным. Прозрачность клейстера снижают белковые вещества, частицы клетчатки и другие нерастворимые примеси.

При охлаждении крахмальных клейстеров наблюдается упорядочение структуры и при достаточно высокой концентрации крахмала — образование студня. Свойства студней и их прочность зависят от вида крахмала, проведения его предварител-

ной обработки, продолжительности и температуры варки клейстера, интенсивности перемешивания, присутствия в системе других компонентов, условий охлаждения и т. п. Различные полисахаридные компоненты крахмала при образовании студня ведут себя по-разному. Разветвленные молекулы амилопектина затрудняют процесс упорядочения структуры и создания кристаллических областей как внутри сильно набухших зерен крахмала, так и между ними. Линейные молекулы амилозы обладают склонностью быстро ассоциировать, образовывать упорядоченные структуры, которые при низкой концентрации растворов переходят в нерастворимое состояние и выпадают в осадок. При достаточно высокой концентрации (более 3 %) амилозные растворы образуют мутные студни, имеющие блестящую поверхность и хорошо сохраняющие форму сосуда, в котором происходит образование студня.

Изменения во времени структуры и свойств киселей, пудингов, желейных и мучных кондитерских изделий, черствение хлеба и изменения ряда других пищевых продуктов в значительной степени обусловлены теми превращениями, которые претерпевают при этом компоненты крахмала — амилоза и амилопектин.

Основные химические превращения крахмала. Крахмал является химически активным органическим соединением, состав и структура которого может быть изменена в результате различных видов воздействия.

При клейстеризации крахмала происходит частичное разрушение α-1,4- и α-1,6-связей с присоединением по месту их разрыва молекул воды. Этот процесс существенно ускоряют кислоты и амилолитические ферменты. Такая обработка позволяет получить целую группу крахмалопродуктов с пониженной молекулярной массой углеводов.

Глюкозный остаток полисахаридов крахмала содержит три спиртовые группы, которые могут быть подвергнуты окислению или к которым могут быть присоединены радикалы. Окислительная деструкция крахмала приводит к появлению на мономерах реакционно-активных альдегидных и карбоксильных групп, а также к деструкции полисахаридов. Такие крахмалопродукты под названием «окисленные крахмалы» в больших количествах выпускают для различных потребителей.

Высушивание крахмального клейстера в тонком слое позволяет получить хорошо набухающие в холодной воде крахмалопродукты, применяемые для производства пищевых и технических изделий.

Превращения, которым подвергаются сухие крахмалы при нагревании, лежат в основе процесса производства декстринов, используемых для приготовления клеевых материалов.

Присоединение к спиртовым группам глюкозного остатка радикалов органических и неорганических веществ дает возможность получить соответствующие эфиры крахмала. Эта реакция существенно изменяет свойства крахмала и позволяет получить

продукты с повышенной гидрофильностью или гидрофобностью, пониженной температурой клейстеризации, высокой вязкостью клейстера, хорошей эмульгирующей и стабилизирующей способностью.

Наряду с этим в результате специальной этерификации крахмала могут быть получены продукты пониженной набухаемости и растворимости или не обладающие этими свойствами.

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРОГО КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

КАРТОФЕЛЬ, ЕГО ПРИЕМКА И ХРАНЕНИЕ

Общие сведения. Картофель — травянистое многолетнее растение, которое относится к основному виду Solanum tuberosum L. семейства Solanaceae (пасленовых) и к группе клубнеплодовых растений.

Картофельный клубень — это утолщенный и укороченный стебель неправильной формы, на поверхности которого размещены углубления, называемые глазками. Глазки расположены по винтовой линии, в верхней части клубня их больше, чем в нижней. Клубень покрыт кожурой (перидермой), которая предохраняет его от высыхания. Продольный разрез клубня изображен на рис. 2, где кожура *1*, глазки *2*, крахмалистая паренхима *3* (белая или желтоватая и непрозрачная), сосудистые пучки от места соединения клубня с побегом *4*, по которым крахмал распределяется по клеточкам паренхимы. На срезе клубня под микроскопом (рис. 3) хорошо видны кожура *1* с находящимся под ней слоем опробковевших клеток *2* и слой живых клеток *3*, заполненных протоплазмой и содержащих

Рис. 2. Продольный срез клубня картофеля

Рис. 3. Микроскопический срез клубня картофеля

зерна крахмала. Наибольшее количество зерен крахмала находится в клетках, расположенных ближе к сосудистым пучкам. К центру клубня количество крахмала в клетках снижается. Клубни среднего размера (50—100 г) более богаты крахмалом, чем крупные (100—150 г) и мелкие (20—50 г).

Химический состав клубней картофеля сильно колеблется в зависимости от сорта и условий выращивания. В среднем в клубнях картофеля содержится 24 % сухих веществ, в том числе (в %):

Крахмала	17,0
Сахаров	2,2
Азотистых веществ (N·6,25)	2,0
Клетчатки пентозанов и пектинов	1,1
Минеральных веществ	0,9
Органических кислот	0,6
Жиров	0,2

В свежеубранных клубнях картофеля на долю крахмала приходится около 80 % углеводов. Содержание крахмала, определяемое в процентах по массе клубня, является главным показателем, определяющим качество картофеля для переработки в крахмал. Другими важными показателями являются размер крахмальных зерен и качество крахмала.

Крахмальные зерна картофеля имеют яйцевидную форму с правильными контурами. По своим размерам они значительно крупнее зерен крахмалов многих других растений. В клубнях встречаются крахмальные зерна размером от 1 до 100 мкм, но чаще всего — от 20 до 40 мкм.

Основными видами сахаров в клубнях картофеля являются сахароза, глюкоза и фруктоза. При хранении картофеля в условиях низких температур (близких к 0 °С) количество сахаров может доходить до 8 %.

Азотистые вещества картофеля представляют собой белковые, аминные и амидные соединения. Незначительная часть азота приходится на нуклеиновые кислоты, глюкозиды, витамины группы В и другие соединения.

В клубнях картофеля имеются практически все аминокислоты, встречающиеся в растениях, в том числе и незаменимые.

Белок картофеля (туберин) является полноценным белком и может быть разделен на две фракции — солерастворимый глобулин и водорастворимый альбумин, примерное соотношение которых 7 : 3. Изоэлектрическая точка туберина соответствует pH 4,4, а необратимая коагуляция (денатурация) наступает при 60 °С. Из амидов в клубнях присутствуют аспарагин и глютамин.

Азотистые вещества являются основной частью протоплазмы и находятся в клубнях в форме кристаллов, частично растворенных в клеточном соке.

Являясь хорошими пенообразователями, азотистые вещества

отрицательно влияют на технологический процесс, затрудняя очистку крахмала и снижая его качество.

Количество клетчатки, пентозанов и пектиновых веществ в клубнях зависит от толщины стенок клеток и влияет на ведение технологического процесса получения крахмала, затрудняя его вымывание. Повышенное содержание клетчатки приводит к увеличению побочного продукта — мезги, с которой теряется крахмал как в связанном, так и в свободном состоянии.

Минеральные вещества входят в состав структурных элементов всех клеток и тканей, являясь составной частью важнейших органических соединений.

Основные микроэлементы — калий, фосфор, хлор, магний и кальций. В картофеле имеются лимонная, щавелевая, молочная и яблочная кислоты (содержится большее количество лимонной). pH клеточного сока картофеля 5,8—6,6. При гниении кислотность картофеля возрастает, что затрудняет отделение примесей от крахмала в процессе производства.

Имеются в картофеле витамины группы С и В, а также ферменты — амилаза, фосфорилаза, каталаза, инвертаза, полифенолоксидаза (тирозиназа) и др.

Являясь одним из основных видов сырья при производстве крахмала, картофель имеет ряд преимуществ и недостатков по сравнению с другими видами крахмалсодержащего сырья, возделываемого в СССР. К преимуществам следует отнести:

возможность получения большего количества крахмала с 1 га посевной площади;

высокое качество картофельного крахмала;

менее сложная технология.

Недостатками являются:

большое количество влаги в клубнях, что превращает сырье в малотранспортабельное и трудносохраняемое;

большие потери крахмала в клубнях даже при хороших условиях хранения.

При производстве картофельного крахмала необходимо использовать высококрахмалистые сорта картофеля, что значительно улучшает технико-экономические показатели.

Технические сорта картофеля наряду с высокой крахмалистостью должны иметь хорошую урожайность, лежкость и устойчивость к заболеваниям.

Сорта картофеля. В настоящее время в нашей стране районировано 93 сорта картофеля, в том числе советской селекции — 79. Это высокоурожайные, устойчивые к различным болезням сорта.

Характеристика наиболее распространенных сортов картофеля, приемлемых для крахмальной промышленности, приведена в табл. 3.

Болезни картофеля. Картофель в сильной степени поражается болезнями, которые причиняют большой ущерб сельскому хозяйству и перерабатывающей промышленности. Переработка зараженного или больного картофеля приводит к ухудшению качества крахмала и снижению его выхода. Возбудителями болезней картофеля являются грибы (фитофтороз, рак, ризоктониоз и др.) и бактерии (кольцевая и мокрая гнили и др.). Характе-

Таблица 3

Сорт	Группа спелости	Назначение	Крахмалистость, %	Лежкость	Характеристика клубней	Устойчивость к заболеваниям
Белорусский	Поздний	Столовый	Высокая (23—25)	Хорошая	Белые, слегка удлиненные, средней величины; глазки поверхностные	Устойчив к раку, относительно устойчив к фитофторозу
Берлихинген	Среднепоздний	Универсальный	Средняя (около 16)	Удовлетворительная	Красные, овальной формы; глазки поверхностные	Устойчив к раку
Вольтман	Поздний	Технический	Высокая (20—22)	Хорошая	Красные, угловатой формы, со светлыми глазками	Устойчив к кольцевой гнили
Истринский	Среднепоздний	Универсальный	Повышенная (18—19)	»	Белые, округлые; глазки средние	Устойчив к раку, фитофторозом поражается слабо
Кандидат	Поздний	Столовый	Высокая (20—23)	»	Белые, округло-овальные, очень крупные; глазки углубленные	Устойчив к раку, относительно устойчив к фитофторозу
Лорх	Среднепоздний	Универсальный	Повышенная (около 17)	»	Белые, округло-овальные	Неустойчив к раку
Лошицкий	Среднепоздний	Технический	Высокая (до 20)	»	Кремово-белые, некрупные с синеватым оттенком у вершины, удлиненно-овальные; глазки средние	Устойчив к раку и фитофторозу
Любимец	Среднепоздний	Универсальный	Средняя и повышенная (16—18)	»	Белые, крупные, овальные; глазки поверхностные	Устойчив к раку
Олев	Поздний	»	Высокая (19—22)	»	Белые, плоско-овальные; глазков мало	То же
Павлинка	»	Столово-технический	Высокая (20—22)	»	Белые, средней величины, округло-овальные	Устойчив к раку, относительно устойчив к фитофторозу
Передовик	Среднеранний	Столовый	Средняя (до 17)	»	Розовые, овальные; глазки поверхностные	Устойчив к раку
Столовый 19	Средний	»	Средняя (до 16)	»	Белые, крупные, плоско-овальные и круглые	То же
Темп	Поздний	Столово-технический	Высокая (22—24)	»	Белые, округло-овальные, плоские, крупные; глазков мало	Устойчив к раку, фитофторозом поражается слабо

ристика некоторых наиболее распространенных и вредоносных болезней приведена ниже.

Фитофтороз. Особенно быстро распространяется в дождливое лето и осень. Возбудитель его — грибок Phytophtora infenstans de Bary поражает листья ботвы и клубни еще в поле в дождливую погоду в июле—августе. Ботва чернеет за 7—10 сут. От ботвы болезнь при уборке урожая передается клубням, на которых через 10—15 дней образуются сначала гладкие, а затем вдавленные, твердые на ощупь бурые пятна неправильной формы.

Благоприятной температурой для развития фитофтороза является 10—25 °С. При хранении картофеля болезнь развивается и пораженные фитофторой клубни загнивают.

Меры борьбы: опрыскивание посевов картофеля медными препаратами, сортировка клубней перед закладкой на хранение.

Рак картофеля. Возбудитель болезни — гриб Synchytrium endobicticum. Рак поражает в основном клубни и столоны, реже стебли и листья. На пораженных клубнях около глазков появляются наросты (опухоли), которые, постепенно разрастаясь, достигают больших размеров (иногда больше клубня). К моменту уборки картофеля наросты обычно распадаются, превращаясь в слизистую массу с неприятным запахом.

Меры борьбы: карантин, выращивание ракоустойчивых сортов, севооборот.

Сухая гниль, или фузариоз. Возбудитель болезни — грибы рода фузариум. К весне заболевают в той или иной степени фузариозом почти все механически поврежденные клубни картофеля, а также клубни подмороженные, пораженные фитофторозом и другими болезнями. На заболевших клубнях появляется плесень в виде подушечек белого или розового цвета, под которой мякоть становится темно-бурой, с пустотами, наполненными грибницей.

Меры борьбы: предотвращение повреждения клубней во время копки и транспортировки, дезинфекция хранилищ и буртовых площадок, правильный режим хранения.

Ризоктониоз. Возбудитель — гриб Rhizoctonia solani kühn. Болезнь поражает все органы растения. На клубнях ризоктониоз проявляется в виде коростинок темного цвета, напоминающих комочки приставшей земли. Клубни, пораженные ризоктониозом, при хранении быстрее заражаются мокрыми и сухими гнилями, что приводит к большим потерям.

Кольцевая гниль. Эта болезнь вызывается бактериями, либо грибком. Поражение сначала распространяется в тканях сосудистого кольца клубней. На разрезе их отчетливо видно окрашенное в светло-желтый цвет кольцо гнили: при надавливании из сосудов выступает светло-желтая масса. Из сосудистой системы гниль переходит на соседние ткани и в сердцевину клубней. При сильном поражении на поверхности клубней появляются розовые и коричневые пятна и трещины.

Весной в хранилищах можно встретить другую форму бактериальной кольцевой гнили — ямчатую, проявляющуюся в образовании ямок на поверхности клубней в результате размягчения тканей в пораженных местах. При высокой температуре хранения ускоряется развитие гнили.

Меры борьбы: профилактические мероприятия, прочистка семенных участков, сортировка картофеля.

Мокрая гниль. Вызывается рядом бактерий, которые в первую очередь поражают клубни, заболевшие фитофторозом, анаэробиозом и другими болезнями, а также подмороженные и механически поврежденные. Возбудители болезни — обитатели почвы, откуда они вместе с клубнями попадают в хранилище. Клубни, пораженные мокрой гнилью, превращаются в мокрую грязную массу со зловонным запахом.

Анаэробиоз, или удушение — функциональное заболевание клубней при недостатке кислорода. Клубни, пораженные анаэробиозом, становятся блеклого цвета с синеватым оттенком. В месте поражения — ткань кашицеобразная. Клубни, поврежденные анаэробиозом, быстро поражаются бактериями, вызывающими мокрую гниль.

Приемка и оценка картофеля. Требования, предъявляемые к качеству картофеля для переработки, приведены ниже.

Внешний вид	Клубни должны быть целыми, сухими, без заболеваний, непроросшими, могут быть однородными или разнородными по окраске
Форма и размеры	Любая форма. Размер клубней (по наибольшему поперечному диаметру) не менее 30 мм
Крахмалистость, %	13—16 в зависимости от районов заготовки
Содержание позеленевших клубней с наростами, % к массе, не более	2
Содержание мелких клубней диаметром от 20 до 30 мм (по наибольшему поперечному), % к массе, не более	5
Содержание клубней с механическими повреждениями глубиной более 5 мм или разрезанных и треснувших с повреждениями длиной более 20 мм, % к массе, не более	2
Содержание клубней, поврежденных сельскохозяйственными вредителями, % к массе, не более	2 (поврежденных проволочником — без ограничений)
Содержание клубней, поврежденных болезнями, % к массе, не более	
сухой гнилью	2
фитофторой и ржавостью (железистой пятнистостью)	2
мокрой, кольцевой, пуговичной гнилью	Не допускается
Наличие земли, прилипшей к клубням, % к массе	1,5
Содержание увядших, раздавленных, запаренных, подмороженных, мороженых, с признаком «удушья», наличие посторонних примесей (солома, ботва и др.), % к массе	Не допускается

Порядок отбора проб и определение качества картофеля регламентированы государственными стандартами. Приемку картофеля осуществляют сырьевые отделы предприятий, которые несут ответственность за правильность определяемых показателей и хранение картофеля до момента сдачи в переработку.

На каждую партию принятого картофеля оформляется документ, в котором указывается масса картофеля, процент крахмалистости, засоренности, поврежденных и больных клубней. В зависимости от качества картофель направляется в переработку или на хранение.

Процессы, протекающие при хранении картофеля. При полном обеспечении картофелекрахмальных заводов сырьем на хранение закладывается бо́льшая часть заготовленного картофеля. Поэтому организация хранения картофеля с минимальными потерями крахмала является важнейшим условием повышения эффективности производства картофельного крахмала.

Основным биохимическим процессом, происходящим в клуб-

Бух. ТИП и ЛП
БИБЛИОТЕКА

нях в период хранения, является превращение крахмала в сахар и синтезирование крахмала из сахаров в зависимости от температуры хранения и природы самого клубня. При понижении температуры хранения до 0 °С скорость распада крахмала в сахара снижается только в 1,3 раза, а скорость процессов синтеза крахмала из сахаров уменьшается в 20 раз. Поэтому при пониженных температурах, особенно близких к 0 °С, процессы распада крахмала резко преобладают над его синтезом, в клубнях накапливается повышенное содержание сахаров (до 8 % и более).

Другой биохимической особенностью клубня является дыхание — основной физиологический процесс. В результате дыхания происходит разложение углеводов с образованием углекислого газа и воды. При этом выделяется энергия, необходимая для поддержания всех жизненных процессов, протекающих в клубне. Интенсивность дыхания зависит от многих факторов: температуры хранения, сорта картофеля, степени зрелости клубней, их качества.

В зависимости от условий хранения и состояния клубней интенсивность дыхания может колебаться от 1 до 20 мг CO_2 в час. Особенно сильно активность дыхания зависит от температурных условий. При повышении температуры хранения в среднем на 1 °С интенсивность дыхания увеличивается на 0,16 мг CO_2 в час. Увеличение интенсивности дыхания влечет за собой значительные потери крахмала.

Хранение дефектного (механически поврежденного, подмороженного, поврежденного болезнями) картофеля вызывает усиление интенсивности дыхания клубней в 4 раза и более.

Загрязнение картофеля землей также сильно влияет на интенсивность дыхания. Вследствие ухудшения воздухообмена в массе картофеля повышается температура. Доказано, что увеличение загрязненности с 6,1 до 10,6 % приводит к увеличению потерь крахмала в 2 раза.

При повышении температуры в массе картофеля выше 3 °С в тканях клубней начинается образование активаторов роста и, как следствие, прорастание клубней картофеля.

Хранение картофеля. Существующий в настоящее время на большинстве картофелекрахмальных заводов способ хранения картофеля в малогабаритных буртах (ширина 3—4 м, высота 1,5—2 м) уже не отвечает современным требованиям промышленности, так как требует больших затрат ручного труда, больших площадей под буртовые поля, большого расхода соломы на 1 т картофеля. А самое главное, режим хранения в таких буртах практически не регулируется.

Потери массы и запаса крахмала в картофеле при таком хранении высокие.

В связи с этим в НПО по крахмалопродуктам разработана и прошла производственные испытания прогрессивная технология хранения картофеля в буртах большой вместимости с актив-

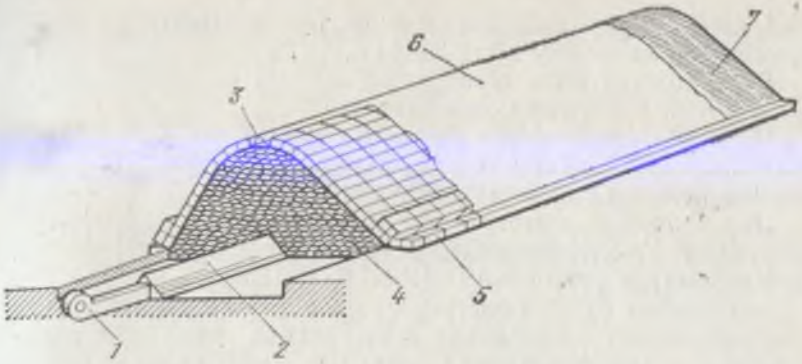


Рис. 4. Схема бурта большой вместимости с активным вентилированием

ным вентилированием, которая в настоящее время широко внедряется на картофелекрахмальных заводах.

Средние потери массы картофеля в буртах большой вместимости были в 3 раза меньше, чем в буртах малой вместимости, а потери массы крахмала — меньше в 1,5 раза. Хранение картофеля в больших буртах позволяет сократить расход соломы для укрытия их на 25 %. При этом увеличивается степень механизации закладки, хранения и выгрузки картофеля, вследствие чего трудовые затраты снижаются на 60 %.

Под буртовую площадку выбирают возвышенный участок с глубоким залеганием подпочвенных вод (не выше 2 м) и небольшим склоном (2—4°) для стекания дождевой и талой воды. Площадка должна быть защищена от господствующих в данной местности холодных ветров. Удаление от завода и от источников электроэнергии должно быть минимальным.

Размер буртовой площадки устанавливается, исходя из количества подлежащего хранению сырья. Так, для хранения 10 тыс. т картофеля требуется участок размером 282×97 м, т. е. 1,7 га. На выбранном участке проводится планировка площадки бульдозером или автогрейдером, размечаются площадки под подъездные пути и бурты. Последние располагаются параллельно направлению склона участка.

Картофель доставляется на буртовое поле автотранспортом и разгружается в приемный бункер буртоукладочной машины. Разгрузку картофеля в бурты производят с помощью буртоукладочной машины типа Комплекс, которая, передвигаясь по межбуртовому пространству, загружает один бурт (рис. 4). Бурты формируются на высоту 4—4,5 м. Боковые стенки вороха картофеля должны быть расположены под углом естественного откоса (35—45°).

Перед засыпкой картофеля на площадку бурта по всей длине его по центру прокладывается решетчатый вентиляцион-

ный канал *2* треугольного сечения, выполненный из планок с промежутками между ними 3—4 см.

Бурт должен быть одинаковой высоты по всей длине с выровненными боковыми поверхностями.

По всей длине гребня бурта на картофель *4* укладывается вентиляционный канал *3* из шатровых решеток для удаления теплого воздуха с помощью вентилятора.

Для измерения температуры воздуха в массе картофеля бурт оборудуют дистанционными электрическими термометрами (6 термометров установки ПДУ-КТК-15-120М).

К укрытию бурта приступают по мере его укладки. В качестве укрывочного материала применяются тюки прессованной соломы *5* и полиэтиленовая пленка *6*. Тюки укладывают непосредственно на картофель в один слой, начиная снизу. Промежутки между тюками заполняют обычной соломой. Особое внимание необходимо уделять утеплению основания бурта. Для этой цели по краям бурта выкапывают канаву размером 50× ×50 см, куда укладывают тюки соломы высотой в 1 м и толщиной 3 тюка. Сверху тюки укрывают полиэтиленовой пленкой с учетом перекрытия каждого предыдущего слоя на 15—20 см. Пленку накладывают поперек бурта через гребень. Для предупреждения сдувания пленку сверху прикрывают обыкновенной соломой *7* (можно прошлогодней) слоем 10—15 см. На солому можно рядами положить рейки из горбыля.

Для создания оптимального воздушно-температурного режима в слое картофеля предусматривается подключение к вентиляционной системе вентилятора *1* марки Ц-470, № 12,5.

Картофель из буртов выбирается по мере необходимости различными погрузочными машинами (тракторная лопата, транспортер-погрузчик ТПК-30 и т. д.).

Режим хранения картофеля определяется многими факторами. Значительное влияние на сохранность картофеля при длительном хранении оказывают температура, относительная влажность, газовый состав воздуха, подаваемого в массу картофеля, и др. На различных этапах хранения эти показатели изменяются и зависят от качества заложенного на хранение картофеля, толщины его слоя, покрытия, температуры наружного воздуха и т. п.

При хранении различают три периода. Первый период — лечебный. Он начинается сразу же после уборки картофеля. В это время в клубнях происходят сложные физиологические и биохимические изменения, связанные с дозреванием клубней, заживлением ранений, нанесенных при уборке и транспортировке. На поврежденных местах образуется пробковая ткань, предохраняющая клубень от проникновения в него возбудителей болезней. Оптимальные условия хранения в этот период — высокая температура (14—18 °С) в сочетании с высокой относительной влажностью (90—95 %) и достаточным воздухообменом. Одновременно происходит просушивание картофеля в массе.

Продолжительность периода — 10—25 дней в зависимости от состояния клубней и сортового состава.

Вентиляционная система работает в это время по 8—12 ч в сутки с подачей воздуха около 80 м³/ч на 1 т картофеля. Вентилирование проводится в дневное время, когда температура наружного воздуха равна 12—18 °С.

После завершения лечебного периода наступает период охлаждения, продолжающийся 25—40 сут. Температура воздуха в насыпи клубней снижается ежесуточно в зависимости от состояния клубней (у здоровых — на 0,5, у поврежденных — на 1,0 °С) и доводится до стабильной температуры 2—4 °С. В это время вентиляционная система должна работать 8—12 ч в сутки с подачей воздуха около 80 м³/ч на 1 т картофеля. Вентилирование проводят в основном в вечерние часы суток.

Третий, основной, период хранения начинается с окончанием снижения температуры в массе картофеля и продолжается до конца его хранения и реализации. Оптимальная температура при этом должна быть не ниже 2—5 °С с относительной влажностью воздуха более 80 %. В это время вентилирование проводится периодически в случае нарушения оптимальных параметров. Температура воздуха, подаваемого в бурт, не должна быть ниже —2 °С. Продолжительность вентилирования — не более 30 мин, и повторяется она через каждые 40—50 мин. Подача воздуха в этот период составляет 30—50 м³/ч на 1 т картофеля.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СЫРОГО КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

Целью производства картофельного крахмала является максимальное извлечение крахмала путем разрывания наибольшего числа клеток клубня и получение конечного продукта высокого качества.

Схема производства крахмала из картофеля включает следующие основные операции (рис. 5): подготовка картофеля к переработке; измельчение картофеля; выделение картофельного сока; вымывание крахмала из кашки; выделение соковой воды из крахмальной суспензии; рафинирование крахмальной суспензии; вымывание крахмала из мелкой мезги; промывание крахмала.

В результате проведения этих операций из картофеля получают сырой картофельный крахмал, служащий сырьем для производства сухого крахмала, патоки, глюкозы и других крахмалопродуктов, мезгу и клеточный сок.

Картофель гидротранспортером или специальным водокартофельным насосом подается в моечное отделение, которое представляет собой картофелемойку, снабженную камне- и соломоловушками. После отделения грязи и других посторонних примесей картофель через автоматические весы и шнек-дозатор

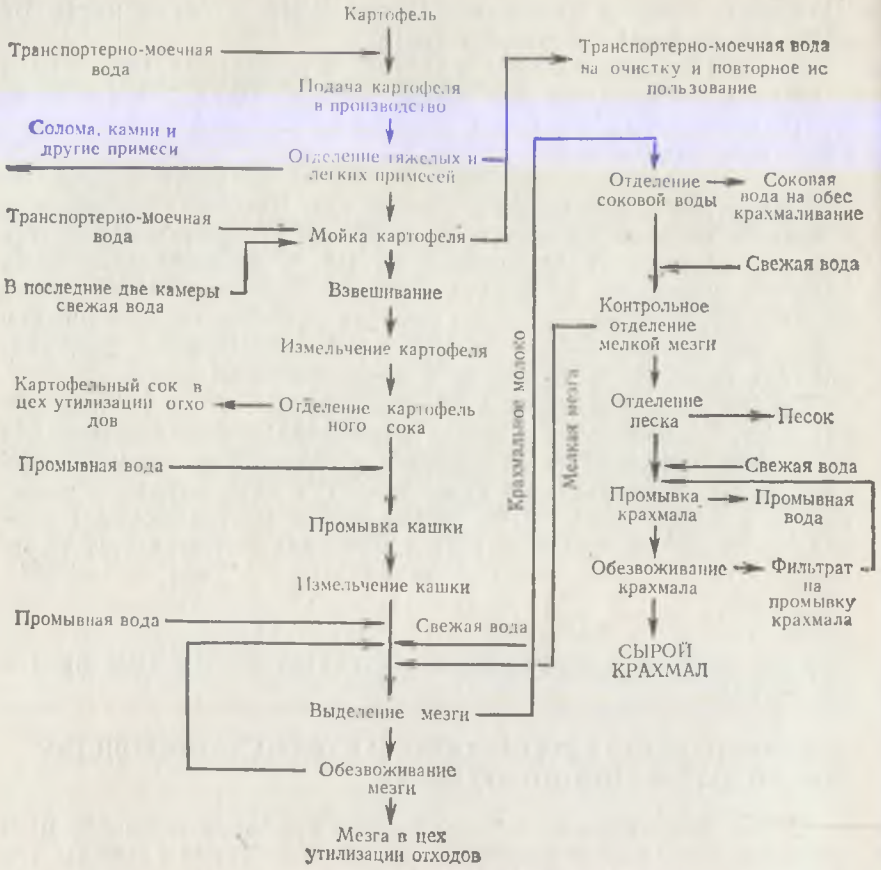


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема производства сырого картофельного крахмала

поступает на измельчение. Из полученной кашки отделяют основную массу картофельного сока, затем вымывают свободный крахмал на ситах; при этом ее дополнительно измельчают на терке (перетире). Далее крахмальная суспензия, содержащая свободный крахмал, соковую воду и мелкую мезгу, прошедшую через ситовую поверхность при вымывании крахмала из кашки, направляется на осадочные шнековые центрифуги для сгущения и отделения от крахмала основной массы соковой воды. Отмытая и обезвоженная мезга выводится из производства.

Сгущенная крахмальная суспензия разбавляется свежей водой и поступает на рафинировальные сита, на которых выделяется мелкая мезга. Мелкая мезга промывается на ситах и смешивается с крупной. Очищенная на рафинировальных ситах крахмальная суспензия затем подвергается окончательному от-

делению соковой воды и тонких волокон мезги на станциях гидроциклонов. После гидроциклонов получают сгущенную суспензию чистого сырого крахмала.

ПОДГОТОВКА КАРТОФЕЛЯ К ПЕРЕРАБОТКЕ

Большое значение при подготовке картофеля к переработке имеет предварительная (сухая) очистка его от песка, земли. Сухая очистка картофеля улучшает работу гидротранспортера картофельного насоса и позволяет снизить расход воды на мойку. С целью очистки картофеля от земли и песка для загрузки оборотных складов используют буртоукладочные машины Комплекс-65М2Б.

В последнее время на картофелекрахмальных заводах внедряются битерные сепараторы, которые представляют собой ряд вращающихся валков различного диаметра.

Из оборотного склада, а на некоторых заводах и из буртов, картофель подается в производство гидравлическими транспортерами. Гидравлический транспортер представляет собой желоб различного по величине и форме поперечного сечения, расположенный с определенным уклоном в сторону завода.

Кроме передвижения картофеля гидротранспортер облегчает работу мойки, так как картофель, двигаясь с водой по каналу, отмывается от грязи, вследствие чего уменьшается расход воды на мойку. Гидротранспортеры в поперечном сечении (рис. 6) могут иметь форму прямоугольника со срезанными или закругленными внизу углами (рис. 6, *г*, *д*), с основанием закругленной формы (рис. 6, *а*, *в*, *е*) и овальную (рис. 6, *б*). Работа гидротранспортера зависит от формы и размеров поперечного сечения, скорости воды, уклона желоба и материала, из которого он построен. Размеры поперечного сечения зависят от производительности; при этом высота желоба должна относиться к ширине как 1,5 : 1.

Скорость движения потока зависит от уклона дна транспортера; она должна быть равна 1—1,5 м/с.

При меньшей скорости потока увеличивается расход воды и снижается производительность гидротранспортера. Уклон транспортера должен составлять для прямых участков 12—

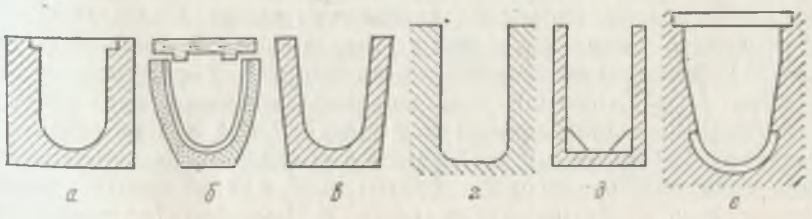


Рис. 6. Поперечные сечения гидротранспортеров

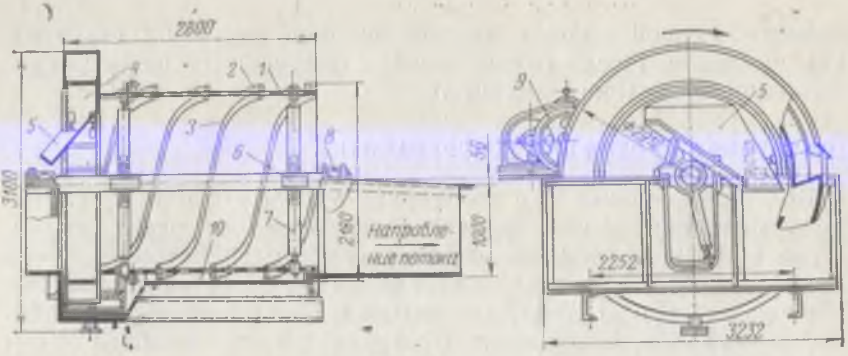


Рис. 7. Ротационная камнеловушка ЛТП-62

20 мм, для закругленных — 15—25 мм на 1 м длины. При поворотах радиус закругления должен быть не менее 6 м.

Гидротранспортеры строят из кирпича, оцементированного гладкой штукатуркой с железнением, бетона, железа и дерева.

Вода в гидротранспортер подается гидрантами. Для подачи 1 т картофеля в производство необходимо 6—7 м³ воды. Используется соковая и транспортерно-моечная вода после предварительной очистки от механических примесей отстаиванием.

Обслуживание гидротранспортера сводится к постоянной равномерной подаче картофеля и воды. По мере засорения транспортера производят его чистку.

Для удаления легких примесей (солома, ботва, трава и др.) над гидротранспортером устанавливают прямоугольную соломоловушку типа ССЦ-700. Она имеет прямоугольный каркас, внутрь которого вмонтированы бесконечно движущиеся цепи. К цепям шарнирно прикреплены грабельные устройства, состоящие из отдельных пластин. Грабли двигаются навстречу картофелеводяной смеси. Для хорошего улавливания граблями легких примесей в месте установки соломоловушки должен быть постоянный уровень картофелеводяной смеси в гидротранспортере, а скорость ее потока замедленной.

Выделение тяжелых примесей (камни, песок и др.) осуществляется в камнеловушках, в которых используется разность плотностей картофеля и примесей. Камнеловушки представляют собой простейшее устройство в виде заглубления (кармана) на гидротранспортере и довольно сложное оборудование ротационного типа. Ротационная камнеловушка типа ЛТП-62 (рис. 7) представляет собой вращающийся перфорированный барабан *1*, к наружной и внутренней поверхностям которого приварены ленточные винтовые лопасти *2* и *3*. Со стороны поступления картофелеводяной смеси к перфорированному барабану прикреплен кольцевой приемник *4* для тяжелых примесей, которые сбрасываются в лоток *5*. Барабан *1* с помощью спиц *7* насажен на вал *6* и вращается от приводного устрой-

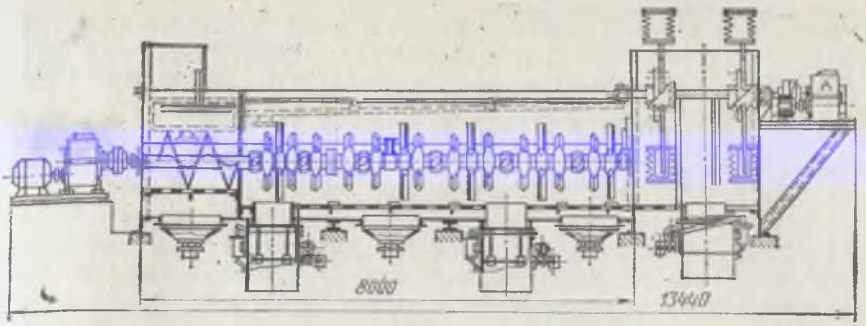


Рис. 8. Мойка КМЗ-57М

ства *9*, причем вращение передается барабану от звездочки с помощью пластинчатой цепи, закрепленной на барабане. Корпус ловушки *10* монтируется так, чтобы дно входного и выходного желобов было на уровне дна гидротранспортера.

При движении картофелеводяной смеси через камнеловушку тяжелые примеси оседают, причем мелкие проскакивают через отверстия барабана на дно корпуса и продвигаются винтовыми лопастями *2* и *3* навстречу потоку к приемнику *4*.

Большое количество песка и земли затрудняет работу ротационной камнеловушки.

Для эффективного улавливания камней перед камнеловушкой на водоотделителе удаляются песок и земля. Водоотделитель представляет собой наклонную решетку из прутьев. Из водоотделителя вода подается на сопровождение картофеля в камнеловушку.

После камнеловушки картофель подается в мойку. Для этого используются шнеки, ковшовые элеваторы, свекольные и картофельные насосы. В мойке картофель должен быть отмыт от частичек почвы и песка, оставшихся на поверхности клубней, особенно в глубоких глазках, которые в дальнейшем могут перейти в крахмал и ухудшить его качество.

На большинстве картофелекрахмальных заводов установлены картофелемойки бильного типа, например КМЗ-57М. Картофелемойка КМЗ-57М (рис. 8) является однокорпусной моечной установкой с постоянным уровнем в ней воды, с погруженными билами, двумя приводами: один — на главный вал с билами, второй — на выгрузочные ковши. В приемной части (слева) секция имеет винтовые лопасти, которые продвигают картофель; дальнейшее продвижение обеспечивается винтообразным по длине вала расположением бил.

Мойка состоит из моющей и выгрузочной камер. Поднятием или опусканием шибера перед выгрузочной камерой регулируется загружаемость мойки картофелем. Имеющиеся в мойке три камнеловушки и три песколовушки позволяют хорошо отделять камни и песок.

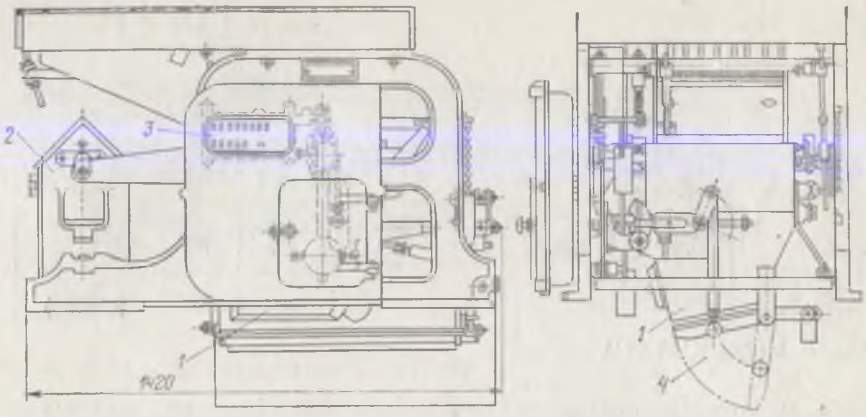


Рис. 9. Автоматические весы для картофеля марки ДКР

Легкие примеси удаляются с переливающейся водой в щели, прорезанные вдоль одного борта бильной части, и затем в специальный желоб.

Количество воды, расходуемое в картофелемойках бильного типа, колеблется от 200 до 400 % к массе отмытого картофеля в зависимости от степени загрязненности, характера грязи и свойства поверхности клубней.

Остаточное содержание грязи в отмытом картофеле не должно превышать 0,1 %.

Следует отметить, что бильные мойки очень громоздки, занимают большие производственные площади и сложны в обслуживании. На некоторых отечественных заводах эффективно используются вибрационные мойки, за рубежом внедряются ротационные мойки.

Картофель после мойки взвешивается на автоматических весах марки ДКР, схема работы которых приведена на рис. 9. Принцип действия их заключается в отвешивании в ковше *1* определенной массы картофеля (50, 100 кг и т. д.). При заполнении ковша картофелем уравновешивающий груз *2* перестает удерживать специальное запорное устройство. Ковш опрокидывается, и картофель высыпается в нижний бункер *4*. Затем ковш возвращается в первоначальное положение и загружается следующей порцией картофеля. Каждое опрокидывание ковша (отвес) регистрируется специальным счетчиком *3*, показывающим или число опрокидываний, или количество переработанного картофеля нарастающим итогом.

Для определения количества переработанного картофеля за определенный промежуток времени из показания счетчика вычитают предшествующее показание. При этом делают скидку 1 % на поверхностную влагу клубней.

Весы нужно содержать в чистоте, раз в неделю смазывать

все шарнирные соединения, болты и гайки. Тщательно следует следить за чистотой призм и подушек.

Картофель из автоматических весов высыпается в бункер, из которого дозатором подается на измельчение.

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КАРТОФЕЛЯ

Важнейшей операцией в производстве картофельного крахмала является измельчение вымытого и взвешенного картофеля. Измельчение картофеля — это механическое разрушение его тканей с целью вскрытия клеток и освобождения заключенных в них крахмальных зерен, которые принято называть свободным крахмалом. Крахмальные зерна, оставшиеся в невскрытых клетках, называют связанным крахмалом. Полноту вскрытия клеток и освобождения крахмальных зерен принято называть коэффициентом измельчения картофеля, который определяется отношением массы свободного крахмала к общей массе его в кашке. Численно коэффициент измельчения $K_{изм}$ (в %) определяют по следующей формуле:

$$K_{изм} = (A/A + B)\,100,$$

где A — масса свободного крахмала в 100 г кашки, г; B — масса связанного крахмала в 100 г кашки, г; $A+B$ — масса общего крахмала, г.

Для измельчения картофеля применяют измельчители истирающего типа — картофелетерки СТМ-100, ZT-300, ZT-350 или ударного типа — ПКИ-200, ПКИ-400.

В настоящее время на большинстве картофелекрахмальных заводов установлены картофелетерки производства ПНР типа ZT-350 (рис. 10). Главной рабочей деталью картофелетерки является барабан *5*, вращающийся в двух подшипниках качения на валу *9*. Подшипники установлены на станине *1*. Принцип действия — истирание клубней между шероховатой рабочей поверхностью барабана, образованной сменными пилками *6*, разделенными планками *7* и прижимными устройствами *2* и *3*. Приближением или удалением прижимных устройств можно регулировать зазор между ними и барабаном. Закрепление пилок и планок на барабане достигается сжатием их с помощью забивных клиньев *8*. Барабан закрывается кожухом *4* с питательной горловиной, поворачивающимся вокруг шарнира *10*. Картофелетерка комплектуется решетками *11* с отверстия-

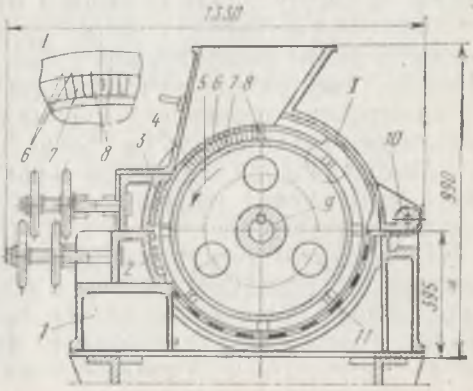


Рис. 10. Картофелетерка ZT-350

ми диаметром 2 мм, что дает высокую степень измельчения.

Клубни картофеля, попадая в горловину терки, заклиниваются между корпусом, верхним прижимом и вращающимся барабаном и измельчаются сначала в относительно грубую кашку. Эта кашка измельчается в области второго прижима и частично выталкивается через решетку в приямок под теркой.

Некоторая часть кашки, не успевшая пройти через решетку, захватывается барабаном и повторно проходит весь путь, дополнительно измельчаясь.

Режущие кромки пилок на терочных барабанах выступают над прокладками равномерно на 1,5 мм. Регулировка прижимов осуществляется только при остановке терки и проворачивании барабана вручную. Маховики прижимов после регулирования прочно закрепляются контргайками. Уменьшение живого сечения решетки и размеров отверстий повышает степень измельчения. Неравномерная подача картофеля приводит к ухудшению качества измельчения, снижает производительность картофелетерки. При переработке мороженого картофеля производительность терок уменьшается на 30—40 %, но качество измельчения остается хорошим. Переработка оттаявшего, проросшего картофеля приводит к резкому снижению степени измельчения.

При работе терок наблюдают за показанием амперметра, нормальным поступлением картофеля, проверяют температуру подшипников, обращают внимание на появление посторонних звуков (скрежет, стук) и неправильной вибрации, следят за степенью измельчения. При отклонениях от нормальной работы терку и питающие ее устройства останавливают, выясняют и устраняют их причину.

С целью максимального извлечения крахмальных зерен картофель подвергается измельчению в две стадии с промежуточным отделением крахмала от кашки.

На терках вторичного измельчения барабан набирается пилками на высоту зубьев не более 1 мм.

Для эффективной работы вторичного измельчения кашка должна иметь концентрацию сухих веществ не менее 10—12 %. При хорошей работе во время вторичного измельчения разница в содержании связанного крахмала в кашке до и после измельчения должна быть на уровне 3—5 %.

Массовая доля связанного крахмала в мезге после вторичного измельчения кашки не должна превышать 40 % к массе сухих веществ мезги.

Следует отметить, что картофелетерки имеют ряд существенных недостатков. Они сложны в обслуживании и требуют большой доли ручного труда (набор пильных барабанов). Коэффициент измельчения картофеля на них не является стабильным из-за быстрого износа рабочих органов — пилок. В связи с этим большой интерес представляют измельчители картофеля, работающие на принципе свободного удара. Для ударного измель-

чителя характерны стабильность коэффициента измельчения, повышение эксплуатационной надежности работы и снижение удельного расхода энергии на измельчение картофеля. В настоящее время проводятся производственные испытания измельчителей ПКИ-200 и ПК-400 производительностью 200 и 400 т картофеля в сутки, разработанных в НПО по крахмалопродуктам.

ВЫДЕЛЕНИЕ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА

В результате измельчения картофеля получается картофельная кашка, состоящая из разорванных стенок клеток (мезги), крахмальных зерен и картофельного сока, содержащего 5—7 % растворимых веществ. В высвобожденном из клеток картофельном соке происходят процессы, например окисление тирозина кислородом с помощью тирозиназы, которые приводят к потемнению его и соприкасающегося с ним крахмала, к образованию пены и слизи.

Длительное соприкосновение в кашке крахмала с картофельным соком приводит не только к потемнению его, но и к уменьшению вязкости получаемого из него клейстера.

Поэтому выделение картофельного сока и кашки в начале производственного процесса способствует улучшению качества крахмала, повышает эффективность работы ситовых аппаратов, снижает образование пены в продуктах, тем самым улучшая санитарные условия работы. С другой стороны, выделение картофельного сока в неразбавленном или слаборазбавленном виде позволяет утилизировать ценные вещества, находящиеся в нем.

В нашей стране для выделения картофельного сока используют шнековые осадительные центрифуги типа ОГШ и РЗ-ПЦК-100.

Выделение картофельного сока с помощью центрифуги, которая представляет собой вращающийся отстойник, основано на центробежной силе.

Конструктивная схема осадительной шнековой центрифуги типа ОГШ приведена на рис. 11. Она состоит из двух вращающихся барабанов: наружного сплошного с цилиндрической и

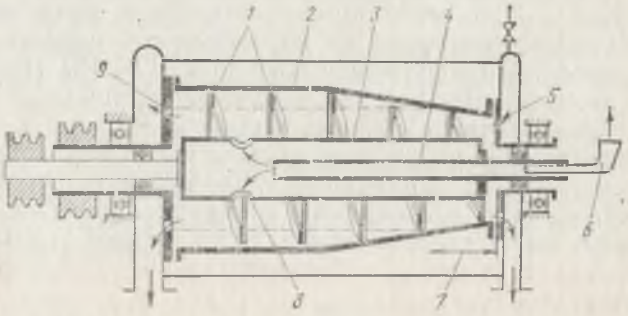


Рис. 11. Схема осадительной шнековой центрифуги типа ОГШ

Рис. 12. Схема дугового сита марки РЗ-ПРД

конической частями *2* и внутреннего цилиндрического *3* с приваренным к нему шнеком *1*. Зазор между концами шнековой ленты и внутренним диаметром внешнего барабана составляет 1—1,5 мм. Продукт поступает по трубе *6* и полому валу *4* во внутренний барабан. Из внутреннего барабана продукт через окно *8* непрерывно поступает в пространство между вращающимися барабанами, где подвергается действию центробежных сил. Оба барабана вращаются в одну сторону, причем частота вращения наружного барабана на 17—29 оборотов в минуту больше, чем внутреннего. В результате этого шнек *1* непрерывно соскребает осадок к выгрузочным окнам *5*. Картофельный сок непрерывно выводится через сливные окна *9*, регулировкой которых можно изменять содержание сухих веществ в осадке.

С целью получения более сухого осадка сливной порог окон *9* располагают на таком расстоянии от оси вращения, чтобы осадок перед выходом из центрифуги через окна *5* прошел путь *7*, когда он уже не находится в жидкости.

На центрифугах типа ОГШ можно выделить 65 % неразбавленного картофельного сока, а при выделении его в две ступени — до 85 % частично разбавленного.

Большое значение для нормальной работы станции выделения картофельного сока имеет равномерная и оптимальная подача кашки на центрифуги. При перегрузке центрифуг в картофельном соке увеличивается содержание крахмала и мезги.

Производительность насосов, удаляющих продукты после центрифуги, должна быть с достаточным запасом во избежание подпора их.

ВЫМЫВАНИЕ КРАХМАЛА ИЗ КАШКИ

Вымывание крахмала из кашки осуществляется путем ситования. Для этого применяются сита различной конструкции. В настоящее время на картофелекрахмальных заводах широко используются дуговые сита марки РЗ-ПРД (рис. 12). Оно имеет ситовую поверхность *3*, которая крепится на специальной рамке (без подситника). Рамка вставлена в корпус *1*. Через питатель *2* продукт под небольшим давлением тангенциально подают сверху на ситовую поверхность. Крахмальная суспензия проходит сквозь сито и собирается в корпус *1*, а мезга сползает в нижнюю часть ситовой поверхности, откуда и выводится из сита. Сито обеспечивает производительность по переработке картофеля 100 т/сут.

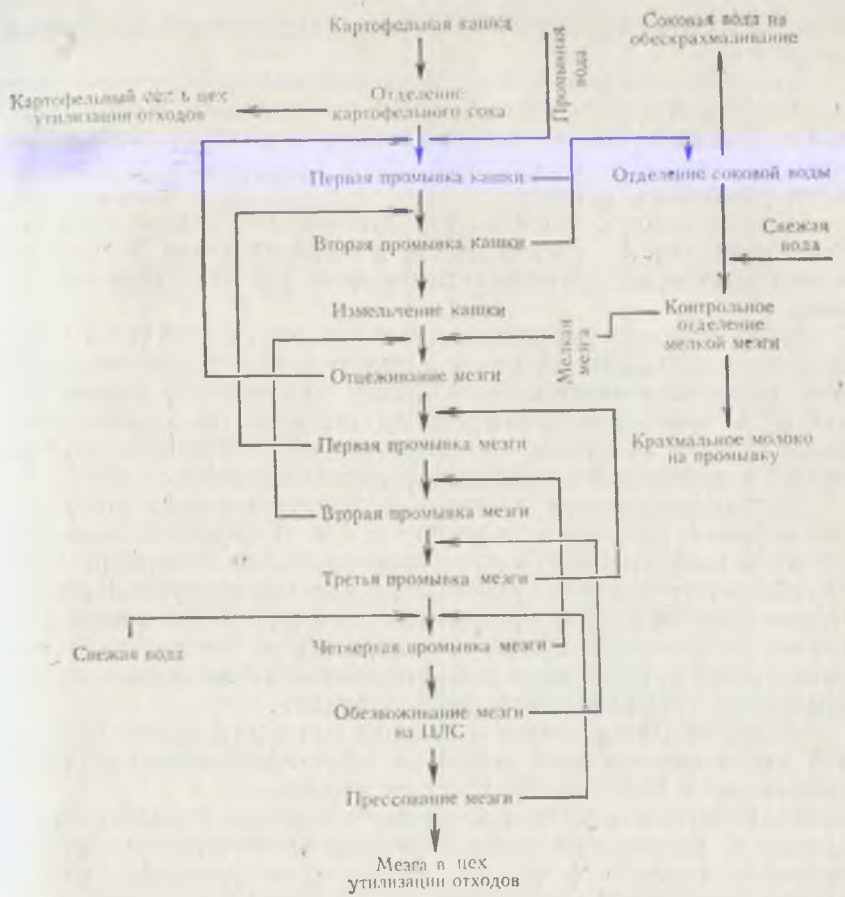


Рис. 13. Схема отмывания свободного крахмала из кашки на дуговых ситах по принципу противотока

Вымывание крахмала осуществляется в семь ступеней по принципу противотока с использованием центробежно-лопастного сита после седьмой ступени при совместной промывке крупной и мелкой мезги (рис. 13).

Картофельная кашка после станции отделения картофельного сока поступает на I ступень промывки кашки, сюда же подается крахмальное молоко с третьего дугового сита. Сходящий с сита продукт разбавляется крахмальным молоком низкой концентрации с четвертого дугового сита и направляется на II ступень промывки кашки. Продукт со 2-й промывки подвергается вторичному измельчению с целью увеличения коэффициента извлечения крахмала.

Кашка после измельчения смешивается с крахмальным молоком с пятого дугового сита и мелкой мезгой, поступающей с

сита контрольного отделения мезги, направляется на отцеживание мезги.

Отделенное крахмальное молоко возвращается на разведение картофельной кашки перед I ступенью промывки, а мезга проходит последовательно четырехкратную промывку, обезвоживание на центробежно-лопастном сите, прессование и подается в цех утилизации отходов.

Объединенное с первых двух дуговых сит крахмальное молоко разбавляется свежей водой до концентрации 3—4 % СВ и поступает на осадительную центрифугу для отделения соковой воды.

Концентрированное крахмальное молоко (40—43 % СВ) разбавляется вновь свежей водой и подается на станцию контрольного отделения мелкой мезги. Затем крахмальное молоко подается в промывное отделение на станцию гидроциклонов, а мелкая мезга поступает на отцеживание совместно с крупной мезгой и проходит последующие ступени промывки.

Таким образом, при противотоке продукта и воды последняя обогащается крахмалом и уходит с I и II ступеней промывки кашки в виде крахмального молока наибольшей концентрации. Мелкая мезга хорошо промывается в смеси с крупной мезгой. Применение принципа противотока на станции ситования картофелекрахмального производства позволяет значительно снизить расход свежей воды для отмывания, обеспечивает наиболее полное отмывание свободного крахмала.

Укомплектование ситовой станции дуговыми ситами по данной схеме обеспечивает массовую долю свободного крахмала в мезге после ЦЛС до 3 % на сухое вещество.

На первую и вторую промывки кашки рекомендуется устанавливать капроновые сетки № 46, на I, II, III и IV ступени промывки мезги — № 43, на контрольное отделение мелкой мезги — сетку № 64.

В особых случаях могут быть применены другие номера сит. На I и II ступенях промывки кашки могут быть применены капроновые сетки № 37, 43, 46, 52; на I—IV ступенях про-

Таблица 4

Ступень промывки	Концентрация сухих веществ, %	
	в поступающем продукте	в надситовом продукте
Первая промывка кашки	8,0—8,5	9,5—10,5
Вторая промывка кашки	7,0—8,0	9,0—10,0
Отцеживание мезги	6,0—7,0	7,0—8,0
Первая промывка мезги	5,0—5,5	5,5—6,0
Вторая промывка мезги	4,5—5,0	5,0—6,0
Третья промывка мезги	3,5—4,5	4,5—5,0
Четвертая промывка мезги	3,0—4,0	4,0—4,5
Вымывание на ЦЛС	4,0—5,0	10,0—12,0

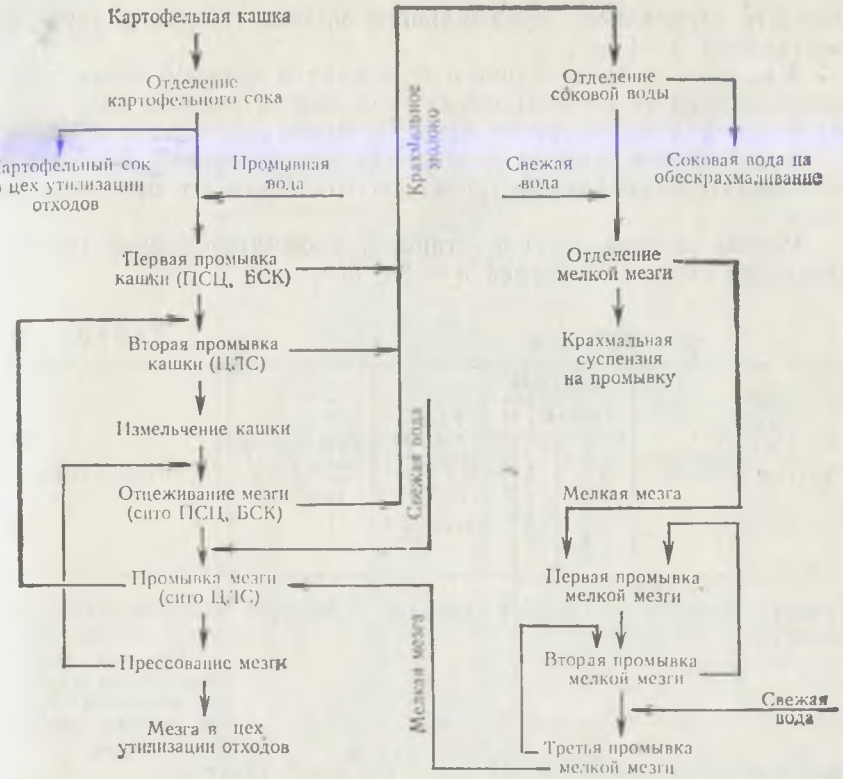


Рис. 14. Схема отмывания свободного крахмала из кашки на барабанно-струйных и центробежно-лопастных ситах

мывки мезги — № 43, 46, 52, 55; на сите контрольного отделения мелкой мезги — сетки № 55, 58, 61, 64, 67.

Режим работы ситовой станции, укомплектованной дуговыми ситами, приведен в табл. 4.

На многих отечественных заводах вымывание крахмала из кашки осуществляется на центробежных ситах (ПСЦ, БСК) и центробежно-лопастных ситах (ЦЛС) (рис. 14).

На I и III ступенях промывки рекомендуется устанавливать центробежные сита, обеспечивающие высокую степень отмывания свободного крахмала из кашки, а на II и IV — центробежно-лопастные сита, позволяющие получать кашку после II ступени и мезгу после IV ступени с большей массовой долей сухих веществ, что обеспечивает наибольшую эффективность измельчения кашки и соответственно больший выход свободного крахмала.

Расход воды на разбавление кашки после каждой ступени сит и на орошение центробежных сит I и III ступеней должен регулироваться с таким расчетом, чтобы концентрация сухих

веществ смешанного крахмального молока со всех ступеней составляла 3—4 %.

Массовая доля свободного крахмала в крупной мезге перед смешиванием ее с промытой мелкой мезгой должна составлять не более 4 % массы сухих веществ мезги.

Крахмальное молоко с первых трех ступеней отмывания свободного крахмала поступает на отделение от него соковой воды.

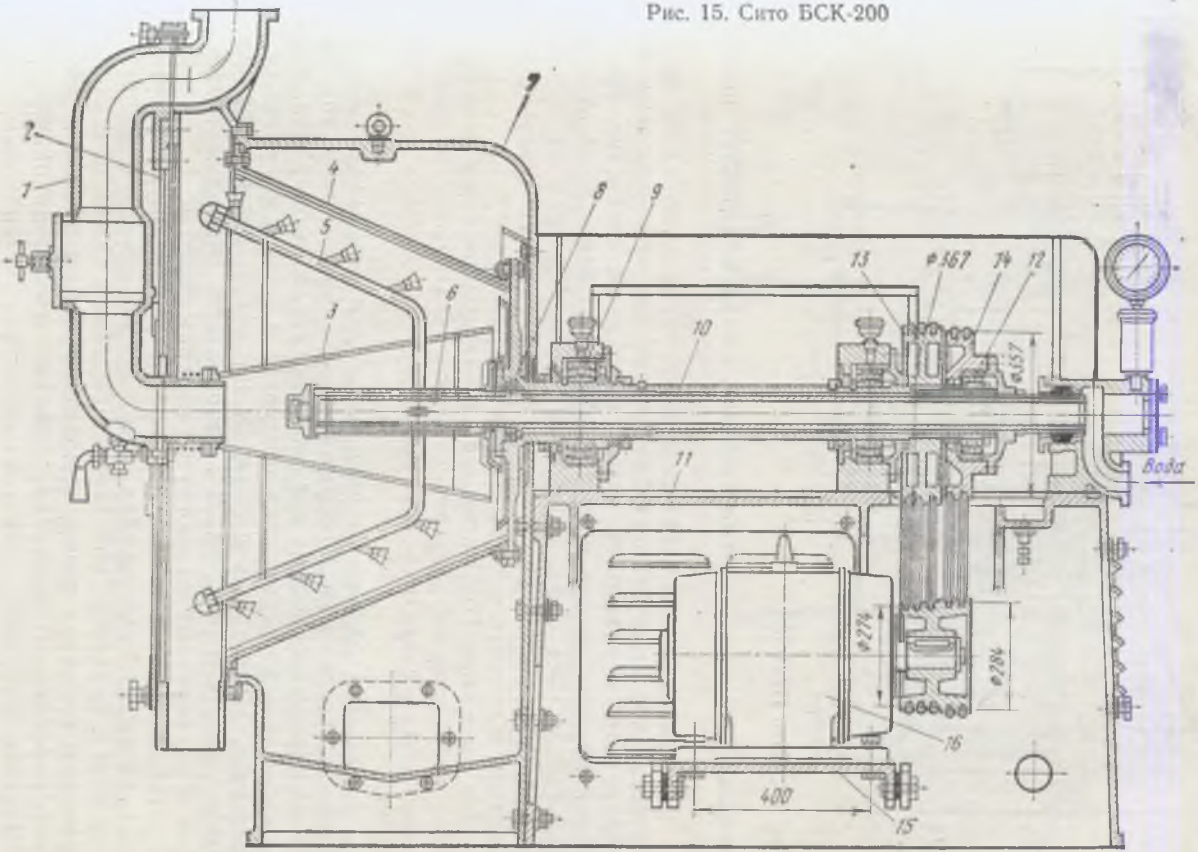
Режим работы ситовой станции, укомплектованной центробежными ситами, приведен в табл. 5.

Таблица 5

Ступень промывки	Массовая доля сухих веществ, %		Расход воды на орошение, % к переработанному картофелю	Коэффициент вымывания свободного крахмала	Материал сетки
	в поступающем продукте	в надрешетном продукте			
Первая промывка кашки	12—15	6—8	100—120	0,80—0,85	Шлицевая сетка с размером шлицев 0,25×5 мм или штампованная сетка с диаметром отверстий 0,6 мм или щелями размером 0,35×2,5 мм
Вторая промывка	6—7	10—12	—	0,60—0,70	То же
Отцеживание мезги	4—6	6—8	140—160	0,80—0,85	Шлицевая сетка с размером шлицев 0,25×5 мм или сетка гладкого плетения № 020—025
Промывка мезги	4—6	10—12	—	0,60—0,70	Шлицевая и штампованная сетка

Сито типа БСК (рис. 15) имеет следующие основные детали и узлы: станину *11*, корпус сита *7* с крышкой *2*, на которой смонтирована питающая труба *1*; ситовой перфорированный барабан *4*, укрепленный на полом валу *10*, вращающемся в подшипниках качения *9*; ороситель *5*, укрепленный на втором полом валу *6*, вращающемся в своих подшипниках *8* и *12*; на оросителе укреплен и вращается вместе с ним питающий конус *3*; внутри станины *11* установлен электродвигатель *16* на шарнирной платформе *15*; вращение передается клиноременной передачей на шкивы барабана *13* и оросителя *14*. Ситовой барабан по образующим разделен накладками на шесть частей. Накладки образуют пазы типа «ласточкин хвост», в которые вставляются ситовые рамки. Ситовые рамки в зависимости от назначения сита обтягиваются пробивными, шлицевыми, сар-

Рис. 15. Сито БСК-200



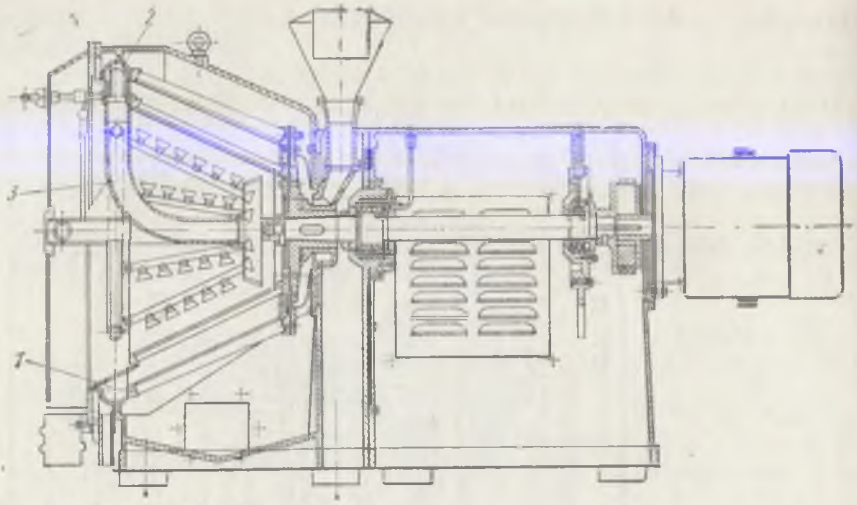


Рис. 16. Сито ПСЦ-100

жевыми или капроновыми сетками, образуя ситовую поверхность.

Продукт подается через питающую трубу в питающий конус. Крахмальное молоко поступает через ситовую поверхность в корпус сита и отводится через специальное отверстие. Надситовый продукт сходит с сита в приемную часть корпуса и выводится из нее через отверстие вниз. Продукт на ситовой поверхности промывается водой или слабым молочком, поступающим в ороситель по внутреннему полому валу.

На сите типа ПСЦ (рис. 16) можно одновременно производить две операции: двукратное последовательное промывание кашки или двукратное последовательное промывание мелкой мезги.

Ротор сита состоит из двух барабанов, имеющих сплошную ситовую поверхность. Продукт подается через окно в торцовом диске ротора на ситовую поверхность большого барабана. Крахмальное молоко через сетку поступает в корпус и выводится из аппарата. Надситовый продукт поступает в желоб *1*, вращающийся вместе с ротором. В желоб опущен неподвижный скребок *2*, укрепленный на изогнутой коленом трубе *3*.

Под воздействием кинетической энергии продукт, встречающий на своем пути скребок, движется по трубе и попадает на ситовую поверхность внутреннего барабана. Здесь продукт орошается и фильтрат сквозь сетку поступает на орошение наружного барабана. В сите ПСЦ производится противоточное промывание продукта.

На рис. 17 приведен разрез центробежно-лопастного сита ЦЛСК-200. Исходный продукт поступает через питающий канал *1* в крышке *2* на ротор сита.

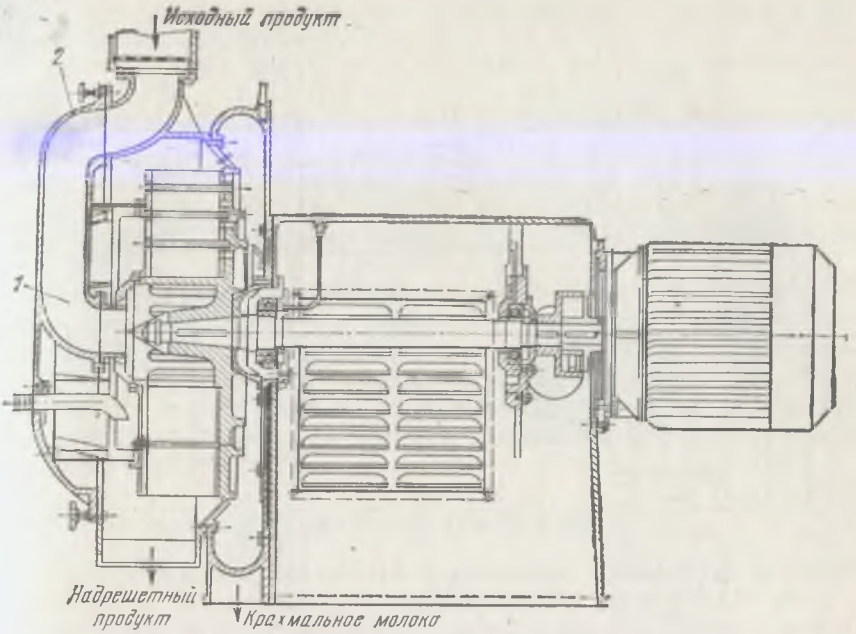


Рис. 17. Сито ЦЛСК-200

Ротор центробежно-лопастного сита напоминает ротор вентилятора или рабочее колесо центробежного насоса. Ротор образован двумя дисками, между которыми в виде лопастей размещены сита, прижимаемые к приемникам для крахмального молока эксцентриковыми зажимами. В несущем диске прорезаны отверстия для вывода молока. Исходный продукт подается в центр ротора и распределяется по ситовым лопастям через отверстия в питательной камере.

Ротор вращается, как вентилятор, в сторону вогнутости лопастей. Под действием центробежной силы продукт движется к периферии ротора, молоко отфильтровывается через сетку.

Центробежно-лопастные сита по сравнению с другими ситами отличаются высокой степенью обезвоживания надрешетного продукта. Картофельная мезга обезвоживается до влажности 88—90 %.

ВЫДЕЛЕНИЕ СОКОВОЙ ВОДЫ ИЗ КРАХМАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

В крахмальном молоке, полученном на ситовых аппаратах вымывания свободного крахмала из кашки, содержится 30—40 % сухих веществ картофельного сока. Жидкость, входящая в состав крахмального молока, называется соковой водой. Отделение соковой воды, которая ухудшает качество конечного продукта, от крахмала осуществляется на шнековых осадитель-

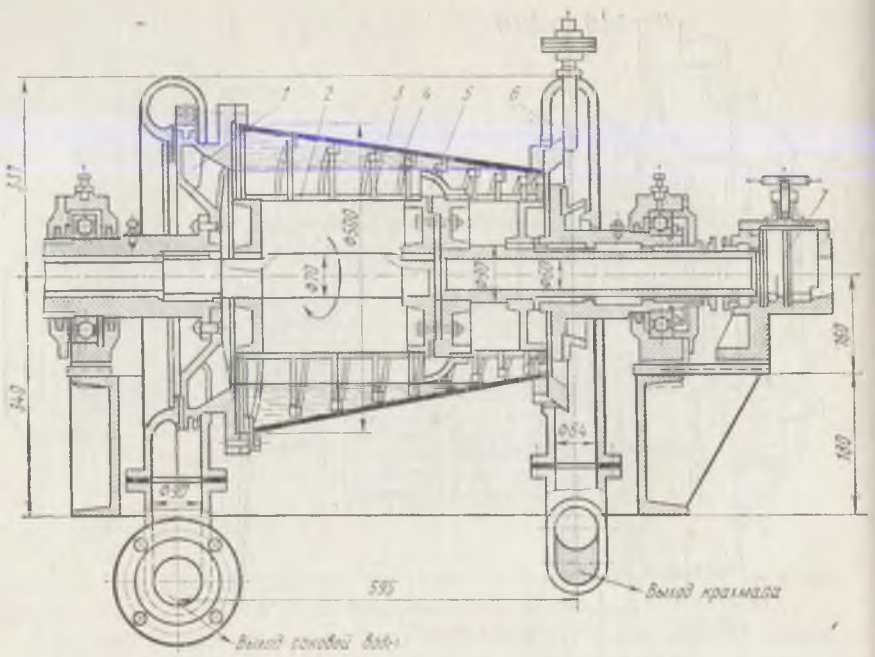


Рис. 18. Осадительная центрифуга ОЦ-25

ных центрифугах. Принцип действия такой центрифуги (рис. 18) аналогичен принципу действия рассмотренной выше центрифуги ОГШ.

Крахмальное молоко через фильтр *7* подается в отверстия *5*, попадает между барабанами *2* и *4* и приобретает определенную окружную скорость. При этом более тяжелые крахмальные зерна оседают на внутренней поверхности конусного барабана, а соковая вода образует полый цилиндр, ось которого совпадает с осью вращения барабанов. Внутренняя поверхность водяного цилиндра находится ближе всего к оси вращения. Центробежная сила здесь минимальна, а в воде меньше всего взвешенных частиц. На этом уровне и устроены сливные окна *1*, через которые непрерывно выходит соковая вода. Внутренний барабан *2* центрифуги через редуктор приводится во вращение с частотой на 50 об/мин больше, чем частота вращения барабана *4*. На барабане *2* закреплена спиральная лента *3*, работающая как шнек, непрерывно соскребающий осевшие зерна крахмала и передвигающий их к вершине конусного барабана *4*. Здесь осадок выводится из машины, и разбавленное чистой водой, поступающей через трубку *6*, крахмальное молоко вытекает через отверстие в нижней части сборного коллектора для крахмального молока.

Концентрация поступающего на осадочные центрифуги крах-

мального молока должна быть в пределах 3—4 %, сгущенного после центрифуг — 35—40 %.

Концентрация крахмала в соковой воде не должна превышать 0,26 г/л.

Соковая вода выводится через трубопровод в ловушки, где оседает унесенный ею крахмал, и используется в гидротранспортере для подачи картофеля в производство.

На осадительных центрифугах выделяется около 90 % растворимых веществ, содержащихся в суспензии, поступившей на центрифугу.

Однако в крахмальной суспензии содержится до 8 % мелкой мезги, небольшое количество скоагулированного белка и растворимых веществ картофельного сока. Поэтому сгущенную суспензию разбавляют и подвергают рафинированию, т. е. очистке от мелкой мезги, прошедшей вместе с крахмальными зернами в суспензию на станции вымывания свободного крахмала из кашки.

РАФИНИРОВАНИЕ КРАХМАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ

Рафинирование крахмальной суспензии проводится последовательно в две ступени на дуговых ситах типа РЗ-ПРД.

На станции рафинирования рекомендуется применять капроновые сетки прямого плетения № 52—55 для первого рафинирования и № 61—64 для второго рафинирования крахмального молока.

Концентрация крахмальной суспензии, поступающей на первое рафинирование, составляет 7,0—7,5 %, на второе — 7—8 %.

Крахмальное молоко после первой ступени рафинирования должно содержать не более 1 % мезги по массе абсолютно сухих веществ, после второй — не более 0,5 %.

Крахмальное молоко после отделения мелкой мезги помимо небольшого количества ее (0,5 % по массе СВ) содержит примесь песка, который отделяют на песковых гидроциклонах.

При нормальной работе песковые гидроциклоны выделяют до 90 % песка, содержащегося в крахмальном молоке. Потери крахмала с песком составляют примерно 3 кг на 1 кг песка.

ВЫМЫВАНИЕ КРАХМАЛА ИЗ МЕЛКОЙ МЕЗГИ

Выделенная на рафинировальных ситах мезга содержит большое количество свободного крахмала, поэтому перед выводом из производства ее тщательно промывают.

Промывка мелкой мезги осуществляется по принципу противотока в три ступени на дуговых ситах РЗ-ПРД, оснащенных капроновыми сетками № 43—46.

Содержание сухих веществ в поступающей на дуговое сито мезге должно быть не более 5 % по массе абсолютно сухих веществ.

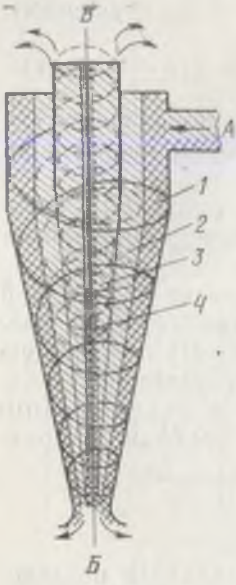


Рис. 19. Схематическое изображение процесса в микрогидроциклоне

Расход воды на промывку мелкой мезги составляет 30—40 % по массе перерабатываемого картофеля.

Содержание свободного крахмала в промытой мезге не должно превышать 5 % по массе абсолютно сухих веществ продукта.

ПРОМЫВАНИЕ КРАХМАЛА

В крахмальном молоке после рафинирования еще содержится небольшое количество растворимых веществ картофельного сока, остатки тонкой мезги и другие загрязнения. Для получения крахмала высокого качества удаляют почти все примеси. С этой целью крахмал промывают.

На многих заводах нашей страны и за рубежом крахмал промывают на гидроциклонах, представляющих собой батарею микрогидроциклонов.

Схематическое изображение микрогидроциклонов и происходящего в них процесса разделения суспензии приведено на рис. 19.

Суспензия вводится в гидроциклон под некоторым давлением тангенциально, через питательное сопло *А*.

Благодаря напору и тангенциальности входа в гидроциклоне жидкости сообщается вращательное движение, в результате которого более тяжелые и крупные частицы отбрасываются к периферии и, двигаясь с изменяющейся угловой скоростью по спирали, выводятся через нижнее сопло *Б*. Легкая фракция и мелкие частицы вытесняются к центру аппарата и также по спиральной траектории, но направленной вверх, выводятся через сопло *В*.

Таким образом, в гидроциклоне имеется два потока продукта: вниз — тяжелая фракция *1*, вверх — легкая *3*. Между этими потоками существует нейтральная зона *2*, в которой и происходит разделение суспензии и обмен частицами между указанными потоками. В результате завихрений между потоками часть тяжелых частиц уходит в легкую фракцию, легких — в тяжелую, а в центральной части гидроциклона образуется воздушный столб *4*.

Гидроциклоны могут быть использованы для сгущения суспензии, разделения тяжелых и легких компонентов, фракционирования и осветления.

В настоящее время на отечественных картофелекрахмальных заводах используются станции гидроциклонов конструкции ВНИИ крахмалопродуктов СГ-4М1 (производительностью 10 т

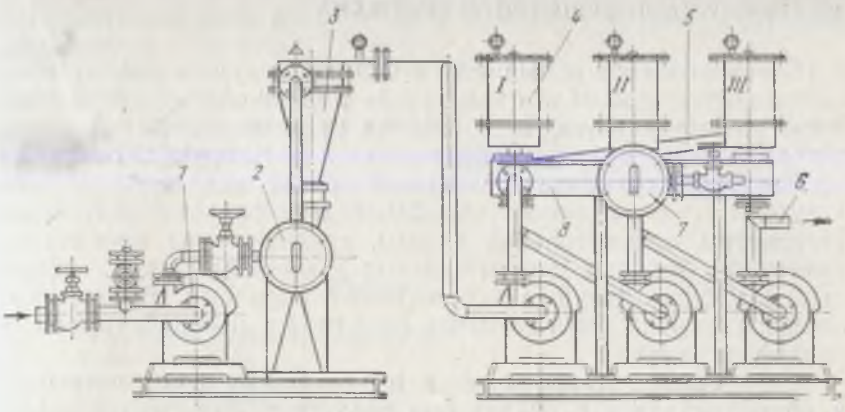


Рис. 20. Станция гидроциклонов марки СГ-4М1

картофеля в сутки) и СГ-5 (производительностью 200 т картофеля в сутки).

На рис. 20 изображена схема станции гидроциклонов СГ-4М1. Насосом *1* через фильтр *2* подается исходная крахмальная суспензия на песковый гидроциклон *3* марки ГП-100. Очищенная от песка крахмальная суспензия подается на первый гидроциклон *4*, откуда сгущенный сход насосом подается на второй гидроциклон, затем на третий, из которого по трубе *6* выходит очищенная крахмальная суспензия. Вода через фильтр *7* поступает на сгущенный сход со второго гидроциклона, разбавляя его перед поступлением в третий гидроциклон. Жидкий сход с третьего гидроциклона направляется по трубе *5* на разбавление сгущенного схода с первого гидроциклона перед поступлением его на второй (принцип противотока). Жидкий сход с первого и второго гидроциклонов собирается в камере *8* и направляется в осадительную центрифугу для сгущения.

При промывке крахмала на станциях гидроциклонов типа СГ соблюдается технологический режим, приведенный в табл. 6.

Таблица 6

Номер ступеней	Концентрация поступающей суспензии, %	Концентрация сгущенного продукта, %	Давление в рабочих камерах мультициклонов, МПа	Массовая доля мезги в сгущенном продукте, %	Концентрация осветленного схода, %	Концентрация крахмала в промывной воде, %
I	6—8	36—38	0,35—0,4	—	1,5—2,0	—
II	6—8	36—38	0,35—0,4	—	0,5—1,0	—
III	6—8	36—38	0,35—0,4	До 0,1	—	—

ПЕРЕРАБОТКА ЛОВУШЕЧНОГО КРАХМАЛА

С соковыми и промывными водами в ловушки уходит абсолютно сухого крахмала примерно 1—5 % от общего его выхода. Унос крахмала в ловушки зависит от технологической схемы завода, ее аппаратурного оформления и качества обслуживания.

Ловушки крахмала размещают возле заводских зданий, углубляя их в землю на 1,5—2,0 м. Они представляют собой резервуары прямоугольной формы, сделанные из кирпича на цементном растворе или из толстых деревянных досок, собранных в шпунт. Ловушки огораживают перилами. Вместимость ловушек должна быть не менее 3 м³ на 1 т перерабатываемого картофеля в сутки.

Необходимо, чтобы соковые и промывные воды поступали и обрабатывались в раздельных ловушках. Ловушки располагают так, чтобы любую из них можно было выключить для откачивания воды и чистки (в случае переполнения крахмалом). Вода в ловушках должна двигаться равномерно по всей ширине их с постоянной скоростью.

Потери свободного крахмала в воде после ловушек при хорошей работе не должны превышать 0,1 г на 1 л.

Состав ловушечного крахмала сильно колеблется и зависит главным образом от качества рафинирования и промывания крахмала, а также от продолжительности хранения в ловушках.

При длительном нахождении крахмала в ловушках, особенно в теплое время года, в них развивается кислое и слизистое брожение, повышается кислотность ловушечного крахмала, зерна его склеиваются в конгломераты. Такой крахмал плохо рафинируется на ситах и плохо оседает при промывании.

Ловушечный крахмал целесообразнее обрабатывать параллельно с переработкой картофеля. Для этого на заводе необходимо иметь специальные рафинировальные сита.

Ловушечное молоко обрабатывают на сите с капроновой сеткой № 55 и затем соединяют с основным молоком, поступающим на первое рафинирование.

Ловушечное хозяйство завода содержат в чистоте, не допуская развития вредной микрофлоры. После чистки ловушки тщательно промывают и обрабатывают раствором хлорной извести.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ КАРТОФЕЛЕКРАХМАЛЬНОГО ЗАВОДА

Вода, применяемая в крахмальном производстве для технологических нужд картофелекрахмального производства (станции промывки кашки, промывки мезги, сгущения крахмального молока, контрольного отделения мелкой мезги, промывки крахмала), должна быть прозрачной и полностью свободной от механических примесей.

Жесткость воды должна быть не более 4 мг·экв/л, содержание железа — не более 1 мг/л.

Количество процессовых вод колеблется в пределах 7—12 м³ на 1 т перерабатываемого картофеля и зависит от применяемой технологической схемы и системы регулирования подачи свежей воды на отдельные технологические процессы.

Ниже приведен расход воды на отдельных технологических операциях в картофелекрахмальном производстве.

Операция	Расход воды, м³ на 1 т картофеля
Гидротранспортирование картофеля	5,0—7,0
Мойка картофеля	3,0—4,0
Измельчение картофеля	0,15—0,50
Вымывание крахмала из кашки	2,3—4,0
Выделение соковой воды	3,7—4,8
Контрольное отделение мелкой мезги от крахмального молока	0,6—2,1
Отделение песка	0,12
Промывка мелкой мезги	1,4
Промывка крахмала	2,5—3,5
Общее количество воды, расходуемое на технологические нужды в зависимости от используемого оборудования и технологического режима	15—23

РАСХОД ПАРА, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нормы расхода тепла и электроэнергии рассчитываются согласно инструкции «Нормирование расхода тепловой и электрической энергии в картофелекрахмальном производстве», разработанной ВНИИ крахмалопродуктов с учетом производственной мощности, климатических условий, технологической схемы работы каждого предприятия в отдельности.

В указанной инструкции дана подробная методика и примеры расчета норм расхода тепла и электроэнергии.

Исходными данными для определения норм расхода тепловой и электрической энергии являются производственная программа крахмало-паточного предприятия на планируемый период, регламент технологического процесса, экспериментально проверенные энергобалансы и энергетические характеристики оборудования, данные специальных испытаний и замеров, планы организационно-технических мероприятий по рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Нормы расхода вспомогательных материалов при производстве сырого картофельного крахмала приведены ниже.

Материал	Расход
Для терочных пилок, м на 1 т картофеля	
при переработке свежего картофеля	До 0,2
при переработке мороженого картофеля	До 0,4

Таблица 7

Показатели	Крахмал					
	Марка А, сорт			Марка Б, сорт		
	I	II	III	I	II	III
Влажность, %, не более	40	40	40	52	52	52
Зольность общая в пересчете на сухие вещества крахмала, %, не более	0,35	0,55	0,75	0,35	0,55	0,75
Кислотность в пересчете на 100 г сухих веществ крахмала при индикаторе фенолфталеине, мл 0,1 н. раствора NaOH, не более	12	25	40	25	35	45
Содержание мезги (некрахмала) в пересчете на сухие вещества крахмала, %, не более	0,12	0,20	0,45	0,15	0,25	0,50

зависит от качества измельчения картофеля и степени отмывания свободного крахмала на ситах (обычно в мезге свободного крахмала не больше 3—4 % на сухое вещество мезги). Связанного крахмала в мезге бывает от 40 до 50 % к массе сухого вещества мезги. Выход мезги зависит от измельчения картофеля, содержания в нем клетчатки и составляет 3—4 % от массы переработанного картофеля.

Выход картофельного сока зависит от степени разбавления измельченной картофельной кашки и применяемого оборудования для выделения его.

В табл. 8 приведен примерный баланс сухих веществ карто-

Таблица 8

Составные части картофеля	Содержание, % по массе картофеля				
	в картофеле	в полученном крахмале	в мезге	в картофельном соке	в сточной воде
Крахмал	16,00	14,08	1,44	0,30	0,18
Клетчатка	1,30	—	1,30	—	—
Углеводы растворимые	1,10	—	0,05	0,77	0,28
Минеральные вещества	1,00	0,09	0,25	0,45	0,21
Азотистые вещества	2,00	—	0,24	1,14	0,62
Жиры	0,15	—	0,02	0,10	0,03
Прочие вещества	0,95	0,02	0,19	0,46	0,28
Всего	22,50	14,19	3,49	3,22	1,60

феля в продуктах и сточной воде крахмального производства с выделением неразбавленного картофельного сока, а в табл. 9 — химический состав побочных продуктов.

Картофельный сок содержит до 22 аминокислот, в том числе таких ценных, как лизин, метионин, валин, фенилаланин, аспа-

Таблица 9

Составные части картофеля	Состав побочных продуктов, % на сухое вещество	
	в мезге	в картофельном соке
Крахмал	45,0	10,0
Клетчатка	30,0	—
Углеводы растворимые	2,0	24,0
Минеральные вещества	6,0	14,0
Азотистые вещества	6,0	35,0
Жиры	0,6	3,0
Прочие вещества	10,4	14,0
	100,0	100,0

рагиновая и глутаминовая кислоты, цистеин, триптофан, серин, гистидин и глицин. Питательная ценность белковых веществ картофельного сока составляет около 81 % питательности куриного белка. Минеральный состав картофельного сока также представлен очень широко: в нем содержатся железо, сера, хлор, цинк, калий и такие микроэлементы, как медь, бром, марганец и кобальт. Около 74 % зольных элементов находится в растворенном состоянии.

В картофельном соке содержатся органические кислоты: лимонная, яблочная, винная, щавелевая, янтарная и др. Кроме того, в нем содержатся витамины C_1, B_1, B_2; ферменты: амилаза, фосфатаза, тирозиназа и др.

Основными направлениями в области использования побочных продуктов являются следующие:

применение разбавленного картофельного сока (соковых вод) в качестве удобрительных поливов;

концентрирование выделенного картофельного сока упариванием;

выделение из картофельного сока белков тепловым, химическим, или физико-химическим воздействием;

ферментативное осахаривание смеси мезги и картофельного сока с получением уваренного углеводно-белкового гидролизата и белкового корма;

выращивание кормовых дрожжей или других микроорганизмов на картофельном соке или гидролизатах смеси мезги и картофельного сока;

использование побочных продуктов для получения спирта при совместном производстве крахмала и спирта;

применение мезги в смеси с картофельным соком для приготовления сырых и сухих кормов;

использование мезги в качестве компонентов сырых или сухих кормов и сухой мезги для технических целей.

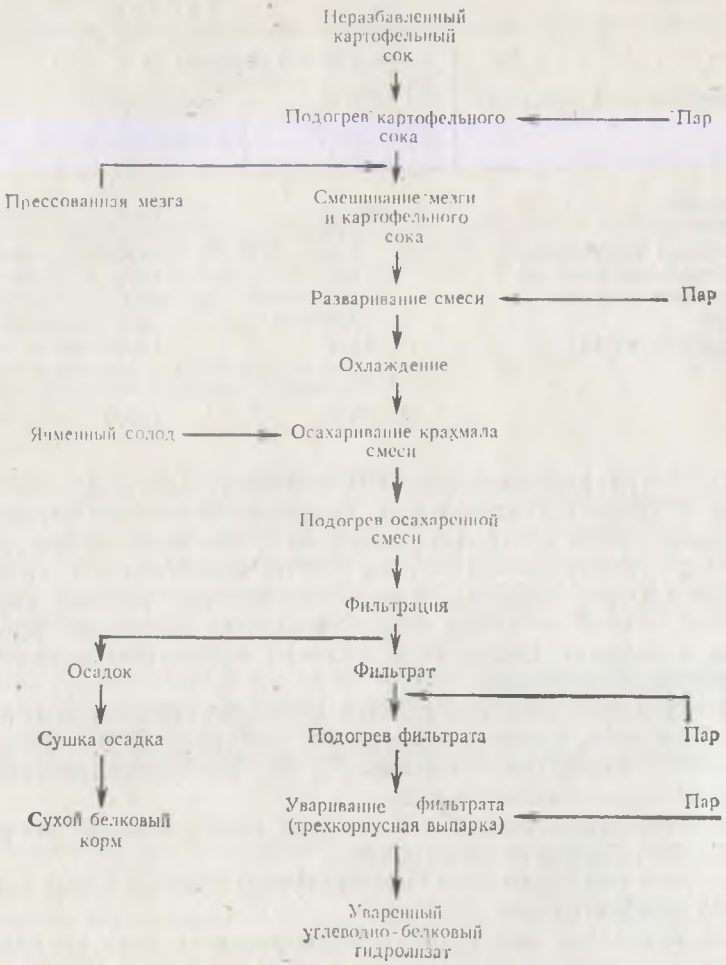


Рис. 21. Технологическая схема производства углеводного гидролизата и белкового корма

Наиболее перспективным способом утилизации отходов картофелекрахмального производства в настоящее время является получение углеводно-белкового гидролизата и белкового корма (рис. 21).

Обезвоженная мезга с массовой долей сухих веществ 20—25 % направляется в сборник с мешалкой, куда одновременно подается картофельный сок, подогретый до 60 °С. Картофельный сок нагревается экстрапарами со второго корпуса выпарной установки.

Полученную смесь мезги и картофельного сока, имеющую температуру 50 °С, насосом подают в разварник, где она разва-

ривается паром давлением 0,4 МПа. Пар непосредственно соприкасается с продуктом, следовательно, увеличивается количество смеси в результате конденсации. Смесь нагревается от 50 до 110—120 °С, чем достигается необходимая стерильность среды, а также максимальная коагуляция белковых веществ картофельного сока и разваривание мезги.

Из разварника смесь направляется в испаритель, где происходит частичное охлаждение ее вследствие самоиспарения, а также высвобождение крахмала из клеток, и далее через сборник и насос — в теплообменник для охлаждения до необходимой температуры 62—64 °С. Из теплообменника смесь поступает на станцию осахаривания, состоящую из четырех емкостей полезным объемом 8 м³ каждая. Установка для осахаривания смеси рассчитана на определенную мощность цеха и заданную продолжительность осахаривания — 2 ч.

График работы каждой емкости следующий: наполнение — 1 ч, осахаривание — 2 ч, выгрузка — 1 ч.

Для осахаривания смеси дозируют в емкости ячменный солод в виде 20 %-ной суспензии. Расход солода должен составлять 0,071 т на 1 т уваренного гидролизата с массовой долей сухих веществ 50 %.

После осахаривания перед фильтрацией суспензия нагревается до температуры 70—80 °С и насосом подается на фильтр-пресс для разделения на две фазы — осадок (белковый корм) и фильтрат.

Корм с массовой долей сухих веществ, равной 20 %, шнеками подается в сушилку, где высушивается до 86—87 %.

Фильтрат с фильтр-прессов направляется в сборник фильтрата и насосом подается через решоферы на выпарку, где уваривается.

Массовая доля сухих веществ уваренного гидролизата (фильтрата) составляет 50 %.

Сгущенный углеводно-белковый гидролизат разливают в предварительно подготовленные бочки. Уваренный углеводно-белковый гидролизат может быть использован в качестве биостимулятора при выращивании кормовых дрожжей на углеводородных средах как заменитель красного ржаного солода при выпечке темных сортов хлеба.

При организации производства углеводно-белкового гидролизата следует учитывать возможность использования оборудования в межсезонный период для производства концентрата квасного сусла, мальтозной патоки, пищевой глюкозы и др.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

В НПО по крахмалопродуктам были проведены исследования по разделению картофельной кашки на гидроциклонах, которые позволили определить оптимальные размеры микроциклонов для

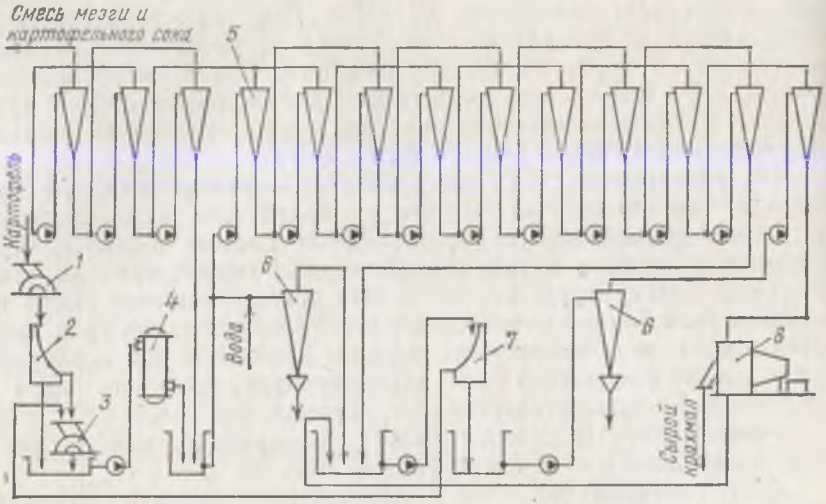


Рис. 22. Технологическая схема производства картофельного крахмала с использованием гидроциклонной установки

различных ступеней гидроциклонов, необходимое количество ступеней и оптимальное рабочее давление для получения крахмала высокого качества. На основе полученных экспериментальных данных была разработана гидроциклонная установка для разделения картофельной кашки на крахмальную суспензию и смесь мезги с картофельным соком.

Результаты промышленных испытаний и расчет продуктов позволили разработать новую технологическую схему производства картофельного крахмала с использованием дуговых сит и гидроциклонной установки для разделения картофельной кашки на крахмальную суспензию и смесь мезги с картофельным соком (рис. 22), которая внедрена на Антанавском крахмальном заводе. Эта схема обеспечивает резкое снижение расхода свежей воды.

Она предусматривает двукратное измельчение картофеля на измельчителях *1* и *3* и обработку картофельной кашки на гидроциклонной установке *5*. Установка состоит из 13 ступеней гидроциклонов, из которых 1—4 ступени являются обескрахмаливающими, а 5—13 ступени — промывными. Крахмальное молоко после 12 ступени гидроциклонов разбавляется свежей водой и поступает на дуговое рафинировальное сито *7*, а затем на 13 ступень. Расход свежей воды составляет 300—400 л на 1 т перерабатываемого картофеля. После 13 ступени крахмальное молоко с содержанием сухих веществ 37—40 % направляется для обезвоживания на центрифугу *8*. Фильтрат возвращается на дуговое рафинировальное сито *7*. В схему входят фильтр *4*, песковые гидроциклоны *6* и сито для отцеживания *2*.

Верхний сход с гидроциклонной установки представляет собой смесь мезги с картофельным соком, содержание сухих веществ в которой составляет 8—9 % в зависимости от качества перерабатываемого картофеля и количества подаваемой свежей воды в установку. С верхним сходом практически полностью удаляются весь картофельный сок и вся мезга (около 99 %), а также около 12 % крахмала, содержащегося в кашке (в том числе 8 % связанного и 4 % свободного). Количество смеси составляет около 1 т на 1 т перерабатываемого картофеля.

Коэффициент извлечения крахмала составляет 88 %. Производительность гидроциклонной установки, испытанной на Борисоглебском крахмальном заводе, — 150 т переработанного картофеля в сутки. В настоящее время разработаны и проходят промышленные испытания установки производительностью 200 и 500 т картофеля в сутки.

Разработка технологической схемы производства картофельного крахмала с использованием гидроциклонной установки для разделения картофельной кашки на крахмальную суспензию и смесь мезги с картофельным соком позволяет перейти к созданию бессточного производства картофельного крахмала.

Примерный расчет продуктов производства сырого картофельного крахмала по схеме с использованием безнапорных дуговых сит и промыванием крахмала на гидроциклонах (на 100 кг картофеля)

Исходные данные приведены ниже.

Состав картофеля, %	
крахмал	14,5
клетчатка	1,3
растворимые вещества	5,0
нерастворимые вещества	1,2
вода	78,0
Коэффициент измельчения картофеля, %	
первое измельчение	92
перетир	2
Содержание крахмала в промывной воде, г/л	0,3
Выход мезги, %	3,5
Содержание крахмала в картофельном соке, %	0,07
Неучтенные потери, %	2
Доброкачественность размытого крахмального молока, %	99,5
Содержание крахмала в фильтрате с вакуум-фильтра, %	0,7
Доброкачественность рафинированной крахмальной суспензии, %	98

Измельчение картофеля. На станцию поступает 100 кг картофеля и 1 кг воды, оставшейся на поверхности клубней после мойки.

После измельчения получается 101 кг кашки следующего состава (в кг):

Свободного крахмала	13,63	(14,5×0,94)
Связанного крахмала	0,87	
Клетчатки	1,30	
Растворимых веществ		
свободных	4,70	(5×0,94)
связанных	0,30	
Нерастворимых веществ	1,20	

Станция выделения картофельного сока. Предусматривается проводить выделение в две ступени без разбавления кашки перед подачей на первую ступень.

При измельчении высвобождается картофельного сока

$$(78 + 5)\,0{,}94 = 78{,}02 \text{ кг.}$$

Концентрация растворимых в нем веществ

$$4{,}70 \cdot 100/78{,}02 = 6{,}02\%.$$

Содержание крахмала в картофельном соке равно 0,07 %, содержание сухих веществ в картофельном соке

$$6{,}02 + 0{,}07 = 6{,}09\%.$$

Если количество сгущенной кашки (в кг), содержание сухих веществ в сгущенной кашке a, $в$ (в кг), содержание сухих веществ в сгущенной кашке 38 %, количество картофельного сока $101a$ (в кг), содержание сухих веществ в картофельном соке 6,09 %, то справедливо уравнение

$$B = 0{,}38\,a$$

$$(101 - a) - 100$$

$$(22 - в) - 6{,}09$$

$$(101 - a)\,6{,}09 = (22 - в)\,100$$

$$615{,}09 - 6{,}09\,a = 2200 - 100\,в$$

$$615{,}09 - 6{,}09\,a = 2200 - 38\,a$$

$$31{,}91\,a = 1584{,}91$$

$$a = 49{,}67 \text{ кг} \qquad в = 18{,}87 \text{ кг}$$

Количество сгущенной кашки, кг	49,67
Содержание сухих веществ в сгущенной кашке, кг	18,87
Содержание, кг картофельного сока	51,33
сухих веществ в нем	3,12
В том числе	
растворимых веществ	3,09
крахмала	0,03

После первой ступени выделения картофельного сока сгущенная кашка разводится соковой водой до содержания сухих веществ 20 % и подается на вторую ступень выделения картофельного сока.

Количество разведенного продукта, поступающего на II ступень выделения картофельного сока,

$$18{,}87 \cdot 100/20 = 94{,}35 \text{ кг.}$$

Количество соковой воды, необходимой для разбавления сгущенной кашки,

$$94{,}35 - 49{,}67 = 44{,}68 \text{ кг.}$$

При условии содержания крахмала в соковой воде 0,3 % и возврата растворимых веществ в количестве 0,35 кг содержание сухих веществ в ней составит

$$44{,}68 \cdot 0{,}3/1000 = 0{,}48 \text{ кг.}$$

Содержание растворимых веществ в поступающей кашке

$$4{,}70 - 3{,}09 + 0{,}35 = 1{,}96 \text{ кг.}$$

Их концентрация будет

$$1,96 \cdot 100/(94,35 - 18,37) = 2,59\%.$$

На I ступени выделения картофельного сока выход растворимых веществ составил

$$3,09/4,70 \cdot 100 = 66\%.$$

Примем такой же выход растворимых веществ и на II ступени. Тогда количество выделенных растворимых веществ на II ступени

$$1,96 \cdot 0,66 = 1,29 \text{ кг}.$$

Количество картофельного сока, выводимого со II ступени,

$$1,29 \cdot 100/2,59 = 49,81 \text{ кг}.$$

Содержание крахмала в картофельном соке равно 0,07 %, или 0,03 кг. Содержание сухих веществ картофельного сока, выводимого со II ступени, составит

$$1,29 + 0,03 + 0,13 = 1,45 \text{ кг}.$$

Содержание сухих веществ в картофельной кашке будет

$$19,23 - 1,32 = 17,91 \text{ кг}.$$

Количество сгущенной картофельной кашки составит

$$94,35 - 49,81 = 44,54 \text{ кг}.$$

Баланс продуктов на станции выделения картофельного сока приведен в табл. 10.

Таблица 10

Элемент баланса	СВ	Вода	Всего
Поступает			
картофельная кашка	22	79	101
соковая вода	0,48	44,20	44,68
Итого	22,48	123,20	145,68
Уходит			
картофельный сок	4,57	96,70	101,14
сгущенная кашка	17,91	26,50	44,54
Итого	22,48	123,20	145,68

Станция вымывания крахмала из кашки. Вымывание крахмала предусматривается проводить в 7 ступеней по принципу противотока на дуговых ситах.

Сгущенная кашка после станции выделения картофельного сока разводится жидким сходом I ступени станции размывки крахмала, который добавляется в количестве 210 кг с содержанием сухих веществ 2,10 кг.

Подсчитаем количество надситового продукта с VII ступени станции вымывания крахмала из кашки.

Станция выделения картофельного сока. Предусматривается проводить выделение в две ступени без разбавления кашки перед подачей на первую ступень.

При измельчении высвобождается картофельного сока

$$(78 + 5)\,0{,}94 = 78{,}02 \text{ кг.}$$

Концентрация растворимых в нем веществ

$$4{,}70 \cdot 100/78{,}02 = 6{,}02\%.$$

Содержание крахмала в картофельном соке равно 0,07 %, содержание сухих веществ в картофельном соке

$$6{,}02 + 0{,}07 = 6{,}09\%.$$

Если количество сгущенной кашки (в кг), содержание сухих веществ в сгущенной кашке a, $в$ (в кг), содержание сухих веществ в сгущенной кашке 38 %, количество картофельного сока $101a$ (в кг), содержание сухих веществ в картофельном соке 6,09 %, то справедливо уравнение

$$B = 0{,}38\,a$$

$$(101 - a) - 100$$

$$(22 - в) - 6{,}09$$

$$(101 - a)\,6{,}09 = (22 - в)\,100$$

$$615{,}09 - 6{,}09\,a = 2200 - 100\,в$$

$$615{,}09 - 6{,}09\,a = 2200 - 38\,a$$

$$31{,}91\,a = 1584{,}91$$

$$a = 49{,}67 \text{ кг} \qquad в = 18{,}87 \text{ кг}$$

Количество сгущенной кашки, кг	49,67
Содержание сухих веществ в сгущенной кашке, кг	18,87
Содержание, кг картофельного сока	51,33
сухих веществ в нем	3,12
В том числе	
растворимых веществ	3,09
крахмала	0,03

После первой ступени выделения картофельного сока сгущенная кашка разводится соковой водой до содержания сухих веществ 20 % и подается на вторую ступень выделения картофельного сока.

Количество разведенного продукта, поступающего на II ступень выделения картофельного сока,

$$18{,}87 \cdot 100/20 = 94{,}35 \text{ кг.}$$

Количество соковой воды, необходимой для разбавления сгущенной кашки,

$$94{,}35 - 49{,}67 = 44{,}68 \text{ кг.}$$

При условии содержания крахмала в соковой воде 0,3 % и возврата растворимых веществ в количестве 0,35 кг содержание сухих веществ в ней составит

$$44{,}68 \cdot 0{,}3/1000 = 0{,}48 \text{ кг.}$$

Содержание растворимых веществ в поступающей кашке

$$4{,}70 - 3{,}09 + 0{,}35 = 1{,}96 \text{ кг.}$$

Их концентрация будет

$$1,96 \cdot 100/(94,35 - 18,37) = 2,59\%.$$

На I ступени выделения картофельного сока выход растворимых веществ составил

$$3,09/4,70 \cdot 100 = 66\%.$$

Примем такой же выход растворимых веществ и на II ступени. Тогда количество выделенных растворимых веществ на II ступени

$$1,96 \cdot 0,66 = 1,29 \text{ кг}.$$

Количество картофельного сока, выводимого со II ступени,

$$1,29 \cdot 100/2,59 = 49,81 \text{ кг}.$$

Содержание крахмала в картофельном соке равно 0,07 %, или 0,03 кг. Содержание сухих веществ картофельного сока, выводимого со II ступени, составит

$$1,29 + 0,03 + 0,13 = 1,45 \text{ кг}.$$

Содержание сухих веществ в картофельной кашке будет

$$19,23 - 1,32 = 17,91 \text{ кг}.$$

Количество сгущенной картофельной кашки составит

$$94,35 - 49,81 = 44,54 \text{ кг}.$$

Баланс продуктов на станции выделения картофельного сока приведен в табл. 10.

Таблица 10

Элемент баланса	СВ	Вода	Всего
Поступает			
картофельная кашка	22	79	101
соковая вода	0,48	44,20	44,68
Итого	22,48	123,20	145,68
Уходит			
картофельный сок	4,57	96,70	101,14
сгущенная кашка	17,91	26,50	44,54
Итого	22,48	123,20	145,68

Станция вымывания крахмала из кашки. Вымывание крахмала предусматривается проводить в 7 ступеней по принципу противотока на дуговых ситах.

Сгущенная кашка после станции выделения картофельного сока разводится жидким сходом I ступени станции размывки крахмала, который добавляется в количестве 210 кг с содержанием сухих веществ 2,10 кг.

Подсчитаем количество надситового продукта с VII ступени станции вымывания крахмала из кашки.

Баланс продуктов на станции размывки крахмальной суспензии приведен в табл. 15.

Таблица 15

Элемент баланса	СВ	Вода	Всего
Поступает			
крахмальное молоко со станции рафинирования	17,34	235,37	252,71
чистая вода	—	199,89	199,89
Итого	17,34	435,26	452,60
жидкий сход I ступени	2,10	207,90	210
жидкий сход II ступени	2,06	203,94	206
сгущенный сход IV ступени	13,176	23,42	36,0
Итого	17,33	435,26	452,60

Количество крахмала в размытой крахмальной суспензии

$$13{,}63 - (0{,}29 + 0{,}06 + 0{,}12 + 0{,}05) = 13{,}11 \text{ кг.}$$

свободный крахмал в кашке; неучтенные потери; с картофельным соком; с мезгой; с соковой водой

Станция обезвоживания крахмального молока. Доброкачественность поступающей размытой крахмальной суспензии равна 99,5 %, тогда содержание сухих веществ в ней будет

$$13{,}11 \cdot 100/99{,}5 = 13{,}176 \text{ кг.}$$

Количество размытой крахмальной суспензии при концентрации 36 % составит

$$13{,}176 \cdot 100/36 = 36{,}60 \text{ кг.}$$

Если количество крахмала в фильтрате 0,7 %, то это будет

$$13{,}176 \cdot 0{,}7/100 = 0{,}09 \text{ кг.}$$

Количество фугованного крахмала 40 %-ной влажности составит

$$(13{,}176 - 0{,}09) \cdot 100/60 = 21{,}81 \text{ кг.}$$

Количество отделяемого фильтрата будет

$$36{,}60 - 21{,}81 = 14{,}79 \text{ кг.}$$

Баланс продуктов на станции обезвоживания крахмального молока приведен в табл. 16.

Таблица 16

Элемент баланса	СВ	Вода	Всего
Поступает			
размытое крахмальное молоко	13,176	23,42	36,00
Уходит			
фильтрат на станцию рафинирования	0,09	14,70	14,79
фугованный крахмал	13,086	8,72	21,81
Итого	13,176	23,42	36,00

Сводные данные продуктов по станциям производства сырого картофельного крахмала приведены в табл. 17.

Таблица 17

Станции и продукты	Содержание (в кг) на 100 кг картофеля		
	сухие вещества продукта	вода	количество продукта
Измельчение картофеля			
Поступает			
картофель	22	78	100
вода, оставшаяся на клубнях	—	1	1
Уходит			
картофельная кашка	22	79	101
Выделение картофельного сока			
Поступает			
картофельная кашка	22	79	101
соковая вода	0,48	44,20	44,68
Уходит			
картофельный сок	4,57	96,57	101,14
сгущенная кашка	17,91	26,63	44,54
Станция вымывания крахмала из кашки			
Поступает			
сгущенная кашка	17,91	26,63	44,54
мелкая мезга с рафинирования	0,44	14,35	17,79
слабое крахмальное молоко со станции обезвоживания мезги	0,14	68,95	69,09
жидкий сход с I ступени размывки крахмала	2,10	207,90	210,0
прессовая вода со станции прессования мезги	—	22,32	22,32
жидкий сход со II ступени размывки крахмала	2,06	203,94	206,0
Уходит			
мезга на станцию обезвоживания	3,72	102,57	106,29
крахмальное молоко с I и II ступеней	18,93	441,52	460,45
Станция обезвоживания мезги			
Поступает			
мезга	3,72	102,57	106,29
Уходит			
обезвоженная мезга	3,58	33,62	37,20
слабое крахмальное молоко	0,14	68,95	69,09
Станция прессования мезги			
Поступает			
обезвоженная мезга	3,58	33,62	37,20
Уходит			
прессованная мезга	3,58	11,30	14,88
прессовая вода на станцию вымывания крахмала из кашки	—	22,32	22,32

Станция и продукты	Содержание (в кг) на 100 кг картофеля		
	сухие вещества продукта	вода	количество продукта
Станция отделения соковой воды			
Поступает			
крахмальное молоко с I и II ступеней станции вымывания крахмала из кашки	18,93	441,52	460,45
Уходит			
сгущенное крахмальное молоко на склад нерафинированного крахмала	17,69	26,53	44,22
сгущенное крахмальное молоко на дальнейшую переработку	17,69	26,53	44,22
соковая вода	1,24	414,99	416,23
Станция рафинирования крахмальной суспензии			
Поступает			
сгущенное крахмальное молоко	17,69	26,53	44,22
фильтрат с вакуум-фильтра	0,09	14,70	14,79
вода со склада нерафинированного крахмала	—	208,49	208,49
Уходит			
крахмальное молоко	17,34	235,37	252,71
мелкая мезга на станцию вымывания крахмала из кашки	0,44	14,35	14,79
Станция размывки крахмальной суспензии			
Поступает			
крахмальное молоко со станции рафинирования	17,34	235,37	252,71
чистая вода	—	199,89	199,89
Уходит			
жидкий сход с I ступени	2,10	207,90	210,0
жидкий сход со II ступени	2,06	203,94	206,0
сгущенный сход с IV ступени	13,176	23,42	36,60
Станция обезвоживания крахмального молока			
Поступает			
сгущенный сход IV ступени	13,176	23,42	36,60
Уходит			
фильтрат на станцию рафинирования	0,09	14,70	14,79
фугованный крахмал	13,086	8,73	21,81

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРОГО КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА

КУКУРУЗА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛА

Кукуруза принадлежит к семейству злаковых однолетних травянистых растений. Она относится к теплолюбивым растениям, требующим достаточно влажного климата, но более засухоустойчива, чем другие зерновые культуры.

По ботаническим признакам кукуруза подразделяется на зубовидную, кремнистую, полузубовидную, восковидную, лопающуюся, сахарную и чешуйчатую. Промышленное применение имеют первые четыре типа. Кукурузу на зерно сеют главным образом на Украине, в Молдавии, на Северном Кавказе, в Закавказье, Нижнем Поволжье и в республиках Средней Азии.

Химический состав зерна созревшей кукурузы промышленных сортов колеблется в пределах (в % на абсолютно сухое вещество):

Крахмал	68,0—74,0	Клетчатка	2,0—3,0
Сырой протеин	9,0—12,0	Пентозаны	4,0—6,0
Жир	4,0—6,5	Зола	1,0—2,0
Сахара (общие)	2,0—3,0	Прочие вещества	2,5—3,5

Состав кукурузы меняется в зависимости от климатических условий, районов произрастания и промышленной агротехники.

Кукурузное зерно (рис. 23) состоит из следующих основных частей: зародыша *1*, чехлика *2*, оболочки *3*, алейронового слоя *4* и эндосперма *5*.

В зародыше сосредоточены в основном жир и зола, в оболочке — клетчатка и пентозаны, в алейроновом слое — жир и протеин, в эндосперме — крахмал, протеины, сахар и зола.

Рис. 23. Разрез кукурузного зерна

Для промышленной переработки кукурузу поставляют только в зерне. Крахмало-паточной промышленности должна поставляться кукуруза зубовидная желтая и белая (тип I и II) и полузубовидная желтая и белая (типы V и VI). Смесь типов не допускается. На предприятия поставляют также кремнистую кукурузу.

В табл. 18 приведена характеристика указанных типов кукурузы.

Кукуруза, поставляемая крах-

Таблица 18

Тип	Цвет и форма зерна	Содержание зерен или початков других типов, %, не более	Примерный перечень сортов и гибридов, относящихся к данному типу
I—Зубовидная желтая	Желтая, оранжевая, желтая с белой верхушкой. Преимущественно продолговато-удлиненная со скошенными боками и вдавленной верхушкой зерна	15,0, в том числе белой не более 5,0	Краснодарский 303ТВ, Орбита М, Краснодарский 440МВ, Одесский 50М, Краснодарская 1/49, Одесская 10, Краснодарский 334ТВ
II—Зубовидная белая	Белая, палевая, бледно-розовая. Преимущественно продолговато-удлиненная со скошенными боками и вдавленной верхушкой зерна	15,0, в том числе желтой не более 2,0	Стерлинг, Узбекская белая зубовидная, Днепропетровская 200
III—Кремнистая желтая	Желтая, оранжевая с белой верхушкой. Верхушка зерна округлая без вдавленности. Зерно блестящее	15,0, в том числе белой не более 5,0	Воронежская 80, Воронежская 76, Кремнистая желтая местная, Имеретинский гибрид, Буковинский 3ТВ, Узбекская 100
IV—Кремнистая белая	Белая, палевая, бледно-розовая. Верхушка зерна округлая без вдавленности. Зерно блестящее	15,0, в том числе желтой не более 2,0	Кремнистая белая местная (Кавказская белая)
V—Полузубовидная желтая	Желтая, оранжевая. Форма переходная от зубовидной к кремнистой со слабовдавленной верхушкой или без вдавленности	25,0, в том числе белой не более 5,0	Днепровский 320АМВ, Буковинский 11, Буковинский 3ТВ, Буковинский 2ТВ
VI—Полузубовидная белая	Белая, палевая, бледно-розовая. Форма переходная от зубовидной к кремнистой со слабовдавленной верхушкой зерна или без вдавленности	25,0, в том числе желтой не более 2,0	Днепровский 438ТВ, Днепровский 56ТВ, Абашская полузубовидная белая местная

мало-паточной промышленности, должна соответствовать следующим требованиям:

Влажность, %, не более	15,0
Влажность зерна, подвергавшегося искусственной сушке, %, не менее	13,0
Всхожесть, %, не менее	55,0
Сорная примесь и зерна культурных растений, относимые к зерновой примеси (по совокупности), %, не более	3,0
Зерна кукурузы, относимые к зерновой примеси, %, не более	7,0
В том числе зерна, поврежденные болезнями	3,0
Зараженность вредителями хлебных запасов	Не допускается, кроме зараженности клещами, но не выше II степени

ПРИЕМКА, ХРАНЕНИЕ И ОЧИСТКА КУКУРУЗЫ

Кукурузу, поставляемую на предприятия, взвешивают. От каждой партии сырья отбирают пробу для определения качества в соответствии с требованиями стандарта. Кукурузу хорошего качества закладывают на хранение, а поврежденную или с повышенной влажностью и сорной примесью передают на очистку и переработку.

По влажности (в %) кукурузу в зерне разделяют на следующие категории:

Сухое	До 14
Влажное	16—18
Сырое	Более 18

При хранении сырого и влажного зерна могут образовываться очаги самосогревания и порчи, ведущие к потере сухих веществ зерна. Влага в зерне находится в связанном и свободном состоянии.

Количество связанной влаги колеблется от 14 до 17 %. Влажность зерна 14—15 % называется критической, так как ее превышение вызывает усиление биохимических и физиологических процессов, ведущих к значительной потере сухих веществ.

Зерно, особенно его зародыш, гигроскопично. При хранении происходит влагообмен между зерном и окружающим воздухом до наступления между ними гигроскопического равновесия. Влажность зерна, соответствующая гигроскопическому равновесию, называется равновесной. Она зависит от относительной влажности воздуха:

Относительная влажность воздуха, %	60	75	90	100
Равновесная влажность зерна, %	14,5	16,8	23,1	31,2

Перед закладкой на хранение от кукурузы необходимо отделить сор, так как вследствие плохой теплопроводности зерна место скопления сора может явиться источником самосогревания.

Кукурузу в зерне хранят обычно в силосных банках на механизированных элеваторах и реже — насыпью в складах и в сапетках.

Допустимые сроки хранения кукурузного зерна в зависимости от его влажности и температуры можно приблизительно определить по диаграмме (рис. 24).

Потери кукурузы при хранении зависят от сроков и способов хранения (табл. 19).

В силосных банках и механизированных складах при обнаружении очагов самосогревания проводят перекачку сырья «на себя» с целью воз-

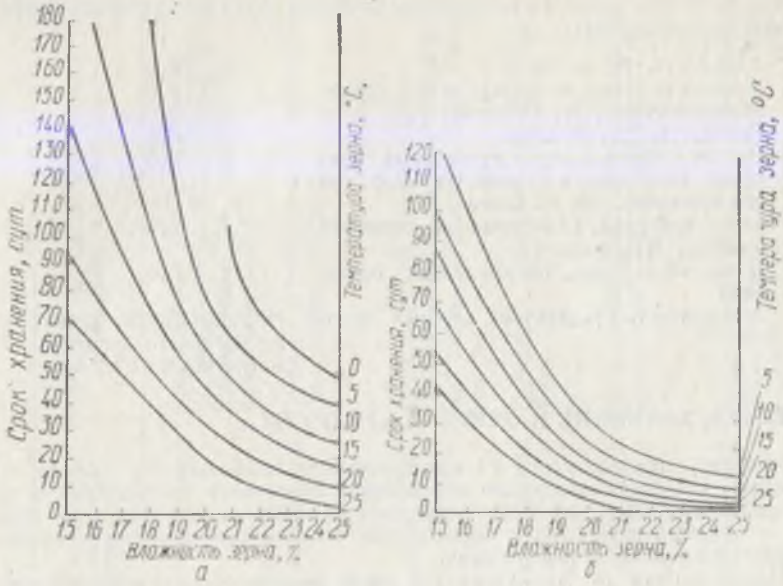


Рис. 24. Схема для определения предельно допустимых сроков хранения кукурузы:
а — в початках; *б* — в зерне

Таблица 19

Способ и срок хранения	Потери кукурузы			
	в складах		в элеваторах	на приспособленных площадках
	насыпью	в таре		
Кукуруза в зерне				
до 3 мес	0,12	0,07	0,08	0,18
» 6 »	0,16	0,10	0,12	0,22
» 1 года	0,20	0,13	0,16	—

душного охлаждения. При элеваторе обычно устанавливается оборудование для очистки зерна от примесей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ СЫРОГО КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА

Целью процесса производства сырого кукурузного крахмала является максимальное извлечение крахмала из зерна по возможности в чистом виде, эффективное выделение и подготовка к переработке других ценных составных частей зерна: зародыша, оболочек, белковых веществ и растворимых соединений.

Производство кукурузного крахмала включает следующие

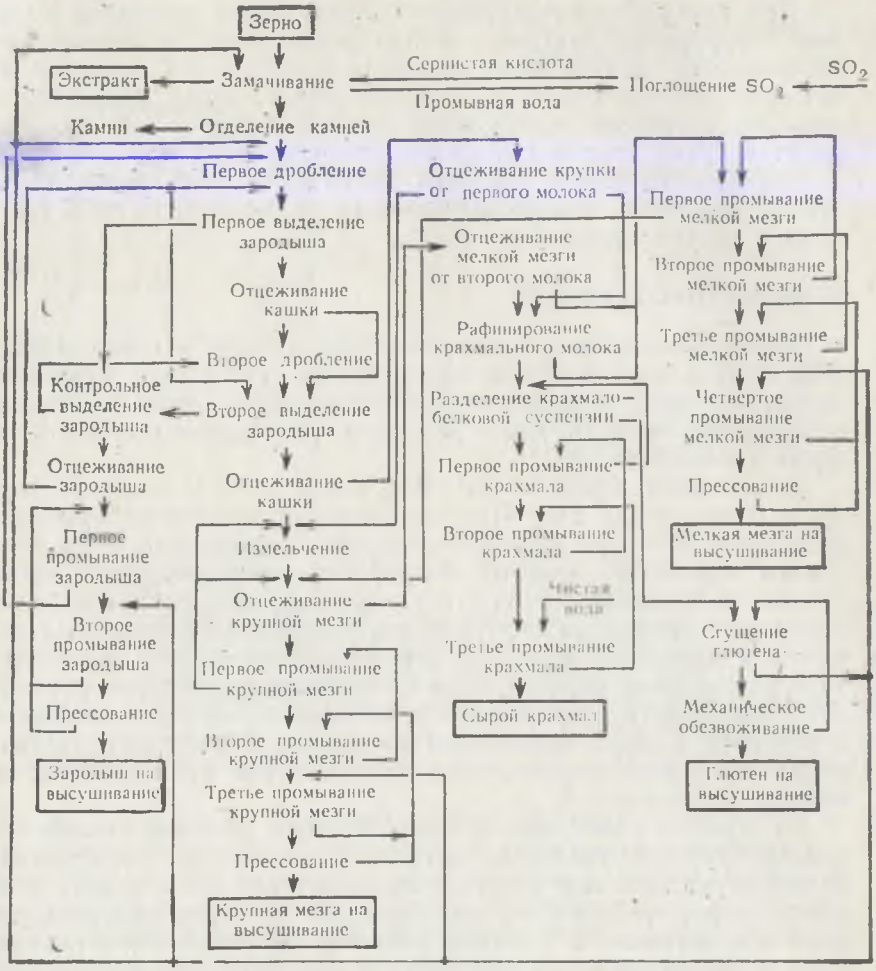


Рис. 25. Схема замкнутого процесса производства сырого кукурузного крахмала

технологические операции: замачивание зерна, дробление замоченного зерна, выделение и промывание зародыша, тонкое измельчение дробленой зерновой массы, промывание мезги от свободного крахмала, разделение крахмального молока на крахмал и белок, отделение от крахмала растворенных веществ.

Основной технологической схемой производства кукурузного крахмала является схема замкнутого процесса, показанная на рис. 25. Свежая вода вводится в процесс лишь на промывание крахмала (на вакуум-фильтрах или гидроциклонах). На все остальные операции расходуется процессовая вода (глютеновая и фильтрат).

При переработке кукурузного зерна кроме крахмала получают кукурузный экстракт, используемый после сгущения для производства антибиотиков, витамина B_{12}, дрожжей, зародыш, из которого вырабатывают кукурузное масло, мезгу (крупную и мелкую) и глютен (кукурузный белок), применяемые для выработки сухих кормов или реализуемые на корм в сыром виде.

Сырой кукурузный крахмал используют для производства сухого крахмала, модифицированных крахмалов, патоки, глюкозы и других продуктов.

ЗАМАЧИВАНИЕ КУКУРУЗЫ

Цель замачивания — разорвать или ослабить связь между оболочками, зародышем и эндоспермом, разрушить белковую прослойку зерна, удерживающую крахмальные зерна в клетках эндосперма, вывести большую часть растворимых веществ из зерна в замочную воду.

Замачивают зерно в 0,20—0,25%-ном водном растворе сернистого ангидрида SO_2. При замачивании зерна в первую очередь происходит увлажнение оболочек и зародыша. Под действием сернистой кислоты полупроницаемые оболочки зерна становятся проницаемыми, что ускоряет проникновение влаги и сернистого ангидрида внутрь зерна и переход растворимых веществ, в том числе белков, из зерна в замочную воду. В результате растворения и деструкции белков зародыша зерно утрачивает способность к прорастанию. По мере проникновения влаги и реагента в зерно происходит набухание и частичное растворение белковых веществ эндосперма, зерно увеличивается в объеме, размягчается.

На процесс замачивания зерна большое влияние оказывают температура замочной воды и продолжительность замачивания. Температура замочной воды должна быть при замачивании здорового зерна 48—50 °С, а при переработке зерна подгнившего либо высушенного в жестких термических условиях в первые 6—8 ч замачивания до 52—55 °С. Продолжительность замачивания, регулируемая в зависимости от влажности и типа зерна, приведена в табл. 20.

Таблица 20

Тип кукурузы	Влажность зерна, %			
	12	16	20	24 и более
Зубовидная	53	48	43	40
Кремнистая	55	50	45	42

При замачивании концентрация сернистой кислоты в замочной воде не остается постоянной. Сернистая кислота нестойкая.

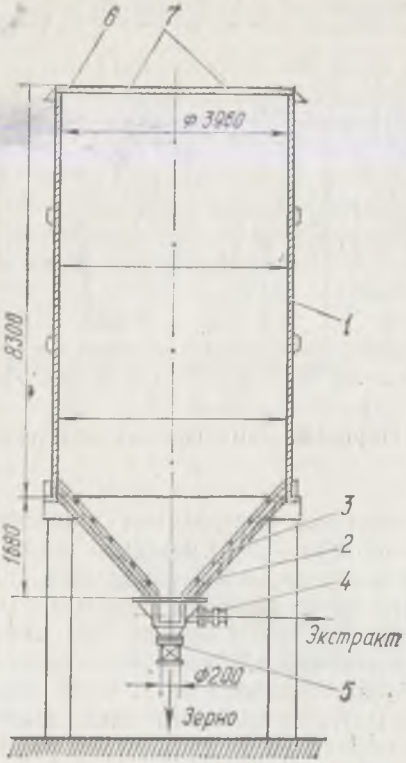


Рис. 26. Чан для замачивания зерна

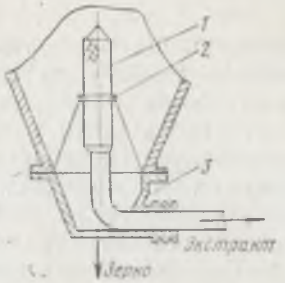


Рис. 27. Устройство для спуска замочной воды из замочного чана

При ее разложении часть сернистого ангидрида выделяется в окружающую атмосферу, некоторое количество кислоты взаимодействует с минеральными веществами и белками зерна и замочной воды, вступает в реакцию с окислителями. В результате исходная концентрация сернистой кислоты через 18—24 ч снижается от 0,20—0,25 % до 0,08—0,1 %, а через 48 ч — до 0,03—0,05 %. Это создает благоприятные условия для жизнедеятельности молочнокислых бактерий. Молочная кислота, накапливающаяся в замочной воде, способствует размягчению зерна, уменьшению накипеобразования на поверхности нагрева при сгущении экстракта.

Для замачивания зерна используют замочные чаны, изготовленные из древесины (лиственница, кипарис), алюминия, железобетона, нержавеющей стали и ряда других материалов. Замочные чаны представляют собой цилиндрические емкости, чаще всего с коническим днищем, закрытые сверху плотной крышкой, в которой имеются люки для загрузки зерна, осмотра и ремонта чана. Применяют также емкости, у которых днище имеет полусферическую форму. На рис. 26 показано устройство замочного чана с коническим днищем (угол конусности 45°). Чан состоит из цилиндрической части *1* и конического днища *2*. На кони-

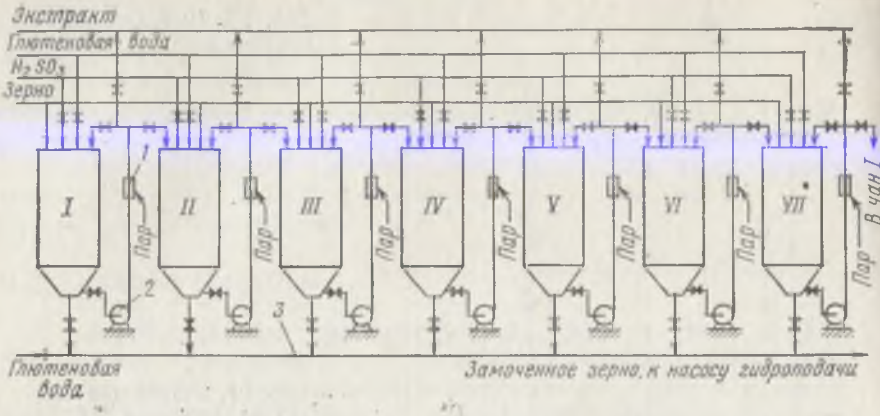


Рис. 28. Схема замочной батареи с периодическим циклом замачивания

ческое днище на деревянных брусках укладывают решетку *3* (ложное днище) из досок с продольными щелями шириной 3 мм. Зерно задерживается на решетке, а замочная вода проходит сквозь щели и через штуцер *4*, находящийся в нижней части конуса, поступает в приемную трубу насоса для циркуляции или перекачивания замочной воды. Зерно выводится из чана через штуцер *5*. Чан закрыт крышкой *6*, которая имеет люки *7* для загрузки зерна, осмотра и ремонта чана. Вместо деревянного ложного днища на передовых предприятиях используют дренажное устройство, показанное на рис. 27. Оно представляет собой цилиндр *1*, изготовленный из пробивного листа нержавеющей стали толщиной 3—4 мм с отверстиями диаметром 5 мм. Верхняя часть цилиндра закрыта конической крышкой, изготовленной из того же листа. В нижней части устройства имеется патрубок, вставленный в боковое отверстие нижнего конуса *3* чана. Дренажное устройство на специальных стойках крепится к конусу. В цилиндре для предотвращения смятия его слоем зерна устанавливают кольцо жесткости *2*.

Замочные чаны I—II соединяют трубопроводами в замочные батареи, как показано на рис. 28. Обычно батареи включают 8—14 чанов (в зависимости от вместимости чанов и производительности завода). Сухое, очищенное и взвешенное зерно подают в чаны различными способами: ленточным транспортером, гидравлическим способом и другими видами транспортирующих устройств.

Замочная вода циркулирует в чане и перекачивается по чанам батареи с помощью центробежных насосов *2*. Для подогрева замочной воды на циркуляционной линии устанавливают подогреватели *1*. На переработку замоченное зерно с помощью центробежных насосов подается по коллектору *3*.

Методы замачивания зерна. Замачивание зерна осущест-

вляют стационарным или противоточным (диффузионным) методами.

При стационарном методе замачивания каждый чан работает самостоятельно. Свежую кукурузу заливают 0,20—0,25%-ным раствором сернистой кислоты и циркулируют его в чане «на себя» до конца процесса замачивания. В процессе циркуляции замочная вода подогревается паром до температуры 48—55 °С. По достижении концентрации сухих веществ 5—6,0 % замочную воду (экстракт) спускают из чана и заливают зерно промывной глютеновой водой температурой 48—50 °С. Содержание SO_2 в спускаемом экстракте 0,06—0,1 %, молочной кислоты 0,3—0,6 %.

При промывании зерна промывную воду циркулируют, как и замочную, «на себя» в течение 3—6 ч, после чего скачивают ее на станцию приготовления сернистой кислоты для замачивания. Промытое зерно подают на переработку.

При противоточном методе замачивания замочная батарея работает следующим образом (см. рис. 28). В чан *II*, освободившийся после выработки замоченного зерна, подают замочную воду из чана *I*, ранее загруженного свежим зерном. В чан *II* одновременно загружают свежее зерно. При этом в чан *I* перекачивают замочную воду из чана *VII*, в чан *VII* — из чана *VI*, в чан *VI* — из чана *V*, ранее загруженных зерном. В чане *V* процесс замачивания зерна завершается. В этот чан подают сернистую кислоту с сернистых башен. После заполнения всех чанов батареи замочная вода циркулирует в каждом «на себя» в течение 3—6 ч. Из чана *III* зерно вырабатывают, в чане *IV* — промывают. После циркуляции из чана *II* скачивают экстракт на станцию сгущения. После скачивания в чан *II* снова подают замочную воду из чана *I*, в чан *I* — из чана *VII* и т. д. В чан *V* подают сернистую кислоту. После циркуляции «на себя» из чана *II* замочную воду скачивают в чан *III*, который освободился после выработки из него замоченного зерна и в который теперь загружают свежее зерно. После его загрузки и циркуляции замочной воды «на себя» из этого чана скачивают экстракт на станцию сгущения. Из чана *IV* вырабатывают замоченное зерно, в чане *V* зерно промывают, в чан *VI* подают H_2SO_3. После выработки зерна из чана *IV* начинают вырабатывать зерно из чана *V*, а в чане *VI* промывают зерно. Сернистую кислоту подают в чан *VII*. Экстракт содержит 7—9 % СВ, 0,03—0,05 % SO_2 и 0,8—1,2 % молочной кислоты.

Таким образом, при противоточном методе замачивания сернистая кислота в батарее движется противоточно движению зерна. Чан, в который загружают свежее зерно и из которого скачивают экстракт, называют головным, чан, в который подают сернистую кислоту, — хвостовым.

Противоточный метод замачивания более рационален, так как он обеспечивает более полное извлечение растворимых веществ из зерна и позволяет получать экстракт более высокой концен-

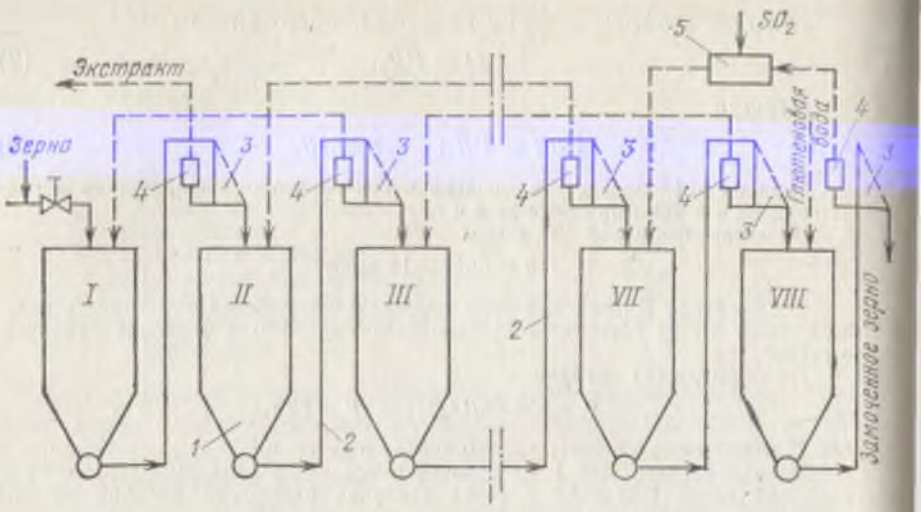


Рис. 29. Схема станции (батареи) замочных чанов, работающих в непрерывном режиме

образом зерно и замочная вода перемещаются по другим чанам. В предпоследний чан с сернистых башен *5* подается сернистая кислота, в последний, из которого проводится выработка зерна, постоянно поступает глютеновая вода, с помощью которой зерно транспортируется на сито для отцеживания перед его дроблением. Вода с сита отцеживания направляется на башни для приготовления сернистой кислоты.

Таким образом осуществляется непрерывное противоточное движение зерна и воды в батарее замочных чанов. Перекачивание зерно-водяной смеси по чанам осуществляется эрлифтными подъемниками *2*, представляющими собой заключенные в кожух участки труб с отверстиями. Воздух компрессором подается в кожух и через отверстия вдувается в трубу, аэрируя находящуюся в ней зерноводяную смесь. Последняя поднимается вверх, увлекая новые порции замачиваемого зерна и замочной воды. С помощью распределительного конуса, смонтированного в нижней части чана, обеспечивается равномерное опускание зерна по всей площади чана.

Замочная вода, отделяемая на ситах *3*, подогревается в теплообменниках *4*.

Непрерывное движение зернового и жидкостного потоков позволяет обойтись без запорной арматуры; количество трубопроводов снижается почти в 3 раза. Это облегчает обслуживание станций. Отсутствие центробежных циркуляционных насосов позволяет сократить расход электроэнергии. При непрерывной подаче зерноводяной смеси зерно свободно перемещается в воде, вследствие чего в нем ускоряются и проходят более полно фи-

зико-химические процессы. При одинаковой продолжительности замачивания содержание связанного крахмала в мезге на 2—3 % ниже, чем при периодическом процессе.

Приготовление сернистой кислоты. На крахмало-паточных предприятиях сернистую кислоту получают сжиганием серы во вращающихся барабанных печах *5* с последующим поглощением образующегося сернистого газа водой в вертикальных полочных адсорберах (башнях) *1, 2* (рис. 30). Обычно устанавливают две башни последовательно. Сверху в них подается вода, в нижнюю часть вводится газ из печей. Кислота отводится из нижней части башни. Газ из печи *5* через сублиматор *4* и трубопровод *3* поступает в первую башню *2*. Непоглотившаяся часть газа переходит из верхней части первой башни в нижнюю часть второй башни *1*. Воздух с примесью непоглотившегося во второй башне SO_2 выбрасывается в атмосферу через патрубок в верхней части второй башни. С целью создания разрежения башни устанавливают выше печи на 20—25 м.

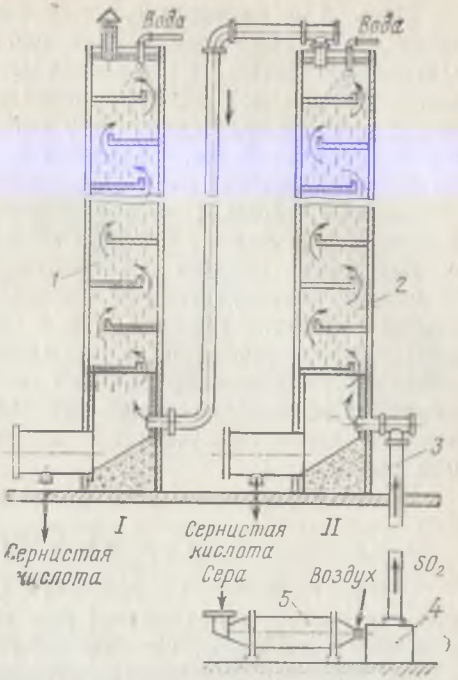


Рис. 30. Схема приготовления сернистой кислоты

Башни имеют цилиндрическую форму; диаметр их 0,8—1,2 м, высота 8—10 м. Изготавливают их из дерева или нержавеющей стали. Внутри них на расстоянии 700 мм одна от другой расположены 10 полочек с отверстиями диаметром 7 мм (в первой башне) и 13 мм (во второй). Полочки делают в виде неполных кругов, не доходящих до стенки на 250 мм.

Печь для сжигания серы состоит из загрузочного бункера, барабана и смесительной камеры *4*. Загрузочный бункер имеет в нижней части шнек, непрерывно подающий серу в печь. У передней части печи имеется розетка для регулирования количества воздуха, поступающего в печь. В конце барабана, у места сопряжения с печью, также имеется регулировочное приспособление для дополнительной подачи воздуха в смесительную камеру. Камера разделена не доходящей до дна перегородкой на два отделения, через которые последовательно проходит газ для улавливания золы и пыли.

Печь *5* и газоход *3* перед сжиганием серы должны быть разогреты путем сжигания в печи дров или другого горючего материала. Затем из печи удаляют золу, при помощи шнекового питателя или лопаткой вручную загружают в нее серу и приводят печь во вращение. Серу перед подачей в печь измельчают до размера 2—3 см. Во время работы печь должна быть раскалена так, чтобы сера находилась в ней в жидкой и легкоподвижной форме. При чрезмерном разогреве печи расплавленная сера загустевает и плохо сгорает. Слой расплавленной серы в барабане должен находиться немного ниже горловины. С целью интенсификации процесса горения серы во вращающемся барабане вдоль оси и у стен радиально устанавливают насадки, увеличивающие зеркало горения серы. Количество воздуха, подаваемого в печь и смесительную камеру, регулируют так, чтобы содержание SO_2 в газе было максимальным, а в газе после смесительной камеры не оставалось бы возогнанной серы.

Процесс горения протекает с выделением теплоты.

$$S + O_2 = SO_2 + 297 \text{ кДж/(г·моль)}.$$

Современные сернистые печи укомплектовывают трубчатым сублиматором, работающим при остаточном давлении 0,4 МПа или под давлением. Стенки сублиматора охлаждают холодной водой для конденсации возогнанной серы, которая оседает в сублиматоре. Недопустимо попадание возогнанной серы в газоходы, так как, оседая, она может закупорить их. Газоходы для подачи газа в башни следует монтировать вертикально, избегая горизонтальных участков. На горизонтальных участках нужно устанавливать ревизии для очистки трубопроводов от возогнанной серы или золы.

На ряде предприятий сернистый газ в башни подают с помощью вентилятора или осуществляют отсос газа из башни в атмосферу вентилятором. В этих случаях башни могут быть установлены на одной отметке с сернистыми печами или немного выше их.

Содержание сернистого ангидрида в газе, поступающем из сернистой печи, должно быть 10—12 %, а в газе, выбрасываемом из верхней части второй башни в атмосферу, — не более 0,3 %. Концентрация сернистой кислоты после первой башни составляет 0,4—0,5 %, после второй — 0,20—0,30 %. Поддержание требуемой концентрации кислоты обеспечивают регулированием количества сжигаемой серы и воды, подаваемой на башни. Расход серы на 1 т кукурузы составляет 3—4 кг.

ДРОБЛЕНИЕ ЗАМОЧЕННОГО ЗЕРНА И ВЫДЕЛЕНИЕ ЗАРОДЫША

В процессе замачивания зародыш становится эластичным, связи его с эндоспермом и оболочками разрываются или ослабевают, что облегчает выделение зародыша из зерна.

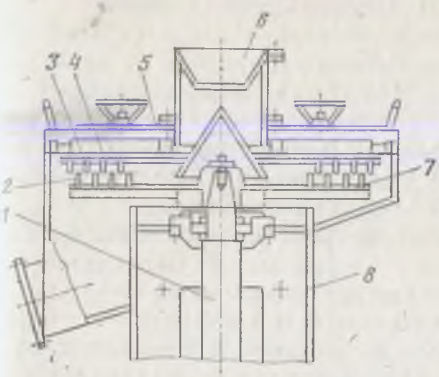


Рис. 31. Дробилка марки РЗ-ПДК-100

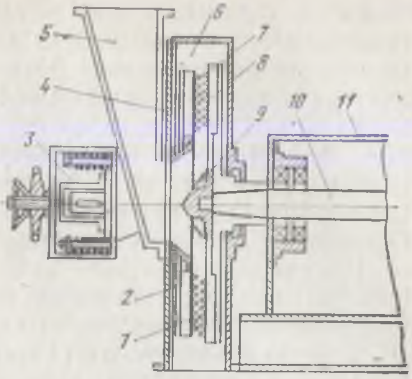


Рис. 32. Дробилка марки РЗ-ПДК-200

Назначение процесса дробления — разрушить зерно на несколько частей с целью высвобождения из него зародыша.

Дробление зерна осуществляют на дробилках ударного действия различной производительности (РЗ-ПДК-100, РЗ-ПДК-250, РЗ-ПДК-400).

На рис. 31 схематично показано устройство дробилки РЗ-ПДК-100. Основным рабочим органом является горизонтальный ротор *7*, закрепленный на верхнем коническом конце вертикального вала *1*. Ротор состоит из планшайбы и приворачиваемого к ней рабочего диска с четырьмя рядами концентрически расположенных сменных измельчающих элементов — пальцев *2*. Последние удерживаются на диске кольцом, прижимаемым к нему болтами.

К съемной крышке крепится неподвижный диск *4* с установленными на нем концентрически расположенными четырьмя рядами пальцев *3*. Ряды неподвижных пальцев диска в собранной дробилке находятся между рядами пальцев вращающегося ротора. На крышке *5* дробилки установлена воронка *6* с распределительным конусом для подачи зерна или кашки в центр ротора. Вал дробилки, расположенный в корпусе *8* на подшипниках качения, приводится в действие от электродвигателя клиноременной передачей.

Замоченная кукуруза подается через воронку в центр ротора, под действием центробежной силы проходит между ротором и неподвижным диском к периферии, встречая на своем пути движущиеся и неподвижные пальцы. В результате взаимодействия зерен с пальцами зерна измельчаются.

Дробилки РЗ-ПДК-250 (рис. 32), РЗ-ПДК-400 имеют горизонтальный вал *10*, на коническом конце которого закреплен ротор *8*, удерживаемый на нем гайкой с радиальными лопатками *9*. Ротор имеет несущий и рабочий диски. На рабочем диске расположены концентрически семь рядов ударных эле-

ментов *7* пирамидальной формы. Рабочий диск крепится к несущему диску болтами. Вал дробилки установлен в корпусе *11* на подшипниках качения и приводится во вращение от электродвигателя через упругую муфту. На откидной крышке камеры дробления *6* на четырех тягах установлен невращающийся диск *2*, на рабочей части которого по концентрическим окружностям также расположены семь рядов пирамидальных зубьев *1*, размещающихся при сборке и сближении неподвижного и вращающегося дисков в межрядном пространстве зубьев последнего. Невращающийся диск вместе с тягами может перемещаться в осевом направлении по направляющим с помощью механизма регулирования *3* зазора, выполненного в виде винтовой пары. Диск устанавливают в требуемом положении, обеспечивая необходимый для работы зазор, с помощью пружин, преодолевающих давление на диск со стороны измельчаемого продукта, находящегося между рабочими дисками. При увеличении давления продукта пружины неподвижного диска сжимаются и расстояние между дисками увеличивается до уравновешивания сил, действующих на ротор: сил давления продукта и сил упругости пружины. Пружины предохраняют зубья от поломок при попадании с зерном твердых предметов.

Зерно в сопровождении крахмальной суспензии поступает в питающую воронку *5*, закрепленную на крышке *4*, и затем на направляющие лопатки центральной гайки. Под действием центробежной силы зерно поступает в зазор между дисками, измельчается и отбрасывается в приемную камеру для измельченного зерна. По мере износа зубьев, а также при изменении производительности дробилки зазор между дисками изменяют регулирующим механизмом.

Описанные дробилки снабжены дозаторами шлюзового типа с индивидуальным приводом, которые устанавливаются непосредственно над дробилками. Подача продукта в приемную воронку дробилок осуществляется самотеком. Дробление зерна производят двукратно с промежуточным выделением зародыша из дробленой массы.

Замоченное зерно из замочных чанов на первое дробление чаще всего подают гидравлическим насосом. Замоченное зерно из чана в смеси с гидротранспортерной водой (соотношение 1 : 2,5÷3) поступает в трубопровод, имеющий уклон 1 : 100 в сторону насоса гидроподачи. По нему смесь подается на центробежный насос. Для гидроподачи зерна пригодны центробежные насосы, предназначенные для перекачивания жидкостей с большим количеством взвесей, например фекальные насосы.

С целью защиты рабочих органов дробилок на нагнетательной линии гидроподачи устанавливают гидроциклоны-камнеуловители ГМП-2 для отделения тяжелых примесей от замочного зерна. Диаметр верхнего основания конуса гидроциклона составляет 500, а нижнего — 170 мм. Высота цилиндрической части — 650, конической части — 800 мм.

Принцип работы гидроциклонов описан в главе «Технология картофельного крахмала». Зерноводяная смесь насосом подается в цилиндрическую часть циклона. Под действием центробежной силы тяжелые примеси прижимаются к стенкам циклона, теряют скорость и постепенно опускаются в нижнюю часть циклона, из которой затем выводятся в сборник-накопитель. Зерноводяная смесь поступает в верхнюю камеру цилиндрической части циклона и через патрубок выводится на сито для отцеживания и отделения транспортерной воды от замоченного зерна.

Для отцеживания чаще всего используют безнапорные дуговые сита, в которых в качестве ситовой поверхности применяют колосникообразную щелевидную сетку со щелями шириной 2—2,5 мм, например сита Р3-ПСВ-400. Они имеют радиус кривизны 1300 мм, центральный угол 60°, длину дуги 1300 мм. Ширина ситовой поверхности 1010 мм. Производительность по перерабатываемой кукурузе 17,5 т/ч.

Принцип устройства дугового сита аналогичен устройству сит, описанных в гл. 1. Отделенное на сите зерно поступает в бункер над дробилками, а гидротранспортерная вода возвращается в вырабатываемый чан и в начало трубопровода-коллектора транспортировки зерна из замочных чанов. При многократном использовании в гидротранспортерной воде накапливаются мелкие частицы зерна, зерна крахмала и экстрактивные вещества. Поэтому часть гидротранспортерной воды постоянно заменяют глютеновой водой. Выводимую из линии гидроподачи гидротранспортерную воду отстаивают в сборнике с коническим днищем с целью ее осветления. Осветленную воду из верхней части сборника направляют в сернистые башни, а осадок из нижней части сборника направляют в сборник кашки после первого дробления.

На первое дробление зерно из бункера подается в сопровождении крахмальной суспензии с первого промывания зародыша. Избыток этой крахмальной суспензии подается в сборник кашки после первого дробления. Сюда же вводится часть крахмальной суспензии с сит отцеживания зародыша.

Кашка после первого дробления подается на первое выделение из нее зародыша, после чего она подвергается второму дроблению. Перед вторым дроблением от нее отделяют часть крахмальной суспензии (отцеживают кашку) с целью создания необходимой консистенции продукта. Отцеживание кашки производят на безнапорных ситах марки Ш5-ПСД-2. В качестве ситовой поверхности используют сетку щелевидную колосниковообразную со щелями шириной 1,8—2,5 мм.

Крахмальная суспензия с сита поступает в сборник кашки после второго дробления, а отцеженная кашка — на второе дробление и далее — в сборник кашки после второго дробления. В этот сборник вводят также часть крахмальной суспензии с сит отцеживания зародыша. Кашка из сборника подается на второе

Рис. 33. Схема двукратного дробления кукурузы и двукратного выделения зародыша с его контрольной очисткой

выделение зародыша, после чего поступает на отцеживание перед тонким измельчением.

Зародыш, выделенный при первом и втором выделении его из кашки, на большинстве предприятий подается на контрольную очистку, как показано на рис. 33.

Очищенный от кашки зародыш в смеси с крахмальной суспензией подается на сита отцеживания, а кашка возвращается на второе дробление.

Выделение зародыша из кашки и его очистку от нее осуществляют на гидроциклонных установках. На предприятиях разной производительности применяют гидроциклоны различных типов и размеров с диаметром цилиндрической части от 200 до 550 мм. Наиболее широко применяются гидроциклоны с диаметром цилиндрической части 200—250 мм и углом конусности 16°, обеспечивающие производительность предприятия 100—150 т товарной кукурузы в сутки (рис. 34). Гидроциклон закреплен на стойке *9*, имеющей опорную плиту. Цилиндрическая часть с входным соплом *8* прикреплена к конической части *4* на фланцах. Камера верхнего схода *7*, соединенная с цилиндрической частью, заканчивается патрубком для вывода верхнего схода *6*. Насадка верхнего схода *5* привернута к днищу камеры верхнего схода *6*. Насадка нижнего схода *3* зажата между фланцем конической части гидроциклона и фланцем патрубка для выхода нижнего схода *2*. Нижний сход из гидроциклона поступает в приемную воронку *1*, а оттуда на следующую технологическую операцию.

Кашку из сборника после дробилок центробежным насосом

под давлением 0,2—0,25 МПа подают в гидроциклон, где она получает вращательное движение по спирали, ось которой совпадает с осью гидроциклона. В результате вращения частицы, находящиеся в кашке, в зависимости от их плотности, размера и формы подвергаются разделению под действием образующихся центробежных сил.

Верхний сход состоит из зародыша, крахмальной суспензии и мелких частиц оболочек зерна, нижний сход — из частиц эндосперма, оболочек и крахмальной суспензии.

Для обеспечения эффективности работы дробилок и гидроциклонов необходимо соблюдать оптимальные параметры их работы, приведенные в табл. 21.

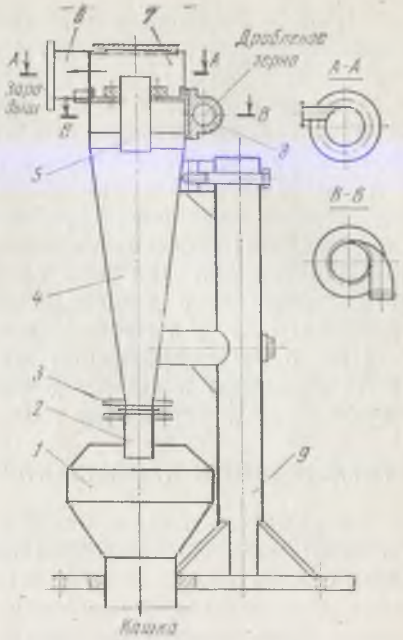


Рис. 34. Гидроциклон для выделения зародыша

На качество дробления зерна влияет ряд факторов. При дроблении твердого, плохо замоченного зерна из-за низкой эластичности зародыш подвергается измельчению. Чрезмерный износ ударных рабочих элементов снижает качество дробления и производительность дробилок.

При низкой консистенции продукт быстро проходит дробилку и плохо дробится. При этом повышается расход электроэнергии на 1 т перерабатываемого зерна. При очень высокой консистенции продукт, в том числе и зародыш, очень сильно измельчается. При неравномерной подаче продукта на дробление может быть перегрузка дробилок продуктом, что значительно ухудшает качество дробления.

Таблица 21

Показатели	Параметры работы дробилок и гидроциклонов				
	дробление		выделение зародыша		
	первое	второе	первое	второе	контрольное
Консистенция кашки, г сухих веществ в 1 л	250—300	250—300	Не более 70	Не более 70	Не более 40
Концентрация крахмальной суспензии, % *СВ*	—	—	12—13	13—14	10—12
Температура продукта, °С	33—35	33—35	33—35	33—35	33—35

Процесс выделения зародыша зависит от давления питания, концентрации и температуры крахмальной суспензии, консистенции продукта. При правильном ведении процесса дробления и выделения зародыша на первом дроблении зерно делится на 4—6 частей, на втором — на 10—12 частей. Содержание целых зерен в кашке после первого дробления не должно превышать 1 %, после второго — наличие целых зерен не допускается. Среди выделенных зародышей дробленых не должно быть выше 10 %. Содержание пелевы и эндосперма в зародыше после контрольной очистки должно быть не выше 15 %. Содержание связанного зародыша в кашке после второго дробления не должно превышать 0,3 % к массе отцеженной кашки.

При первом дроблении из кукурузы выделяется до 85 % всего зародыша и 15—20 % вводимого с зерном крахмала; при втором — 15 % зародыша и 10—15 % крахмала.

ОТЦЕЖИВАНИЕ И ПРОМЫВАНИЕ ЗАРОДЫША

Зародыш из гидроциклонов контрольной очистки уходит с большим количеством крахмальной суспензии, которую необходимо отделить для получения как можно более чистого зародыша и максимального выхода крахмала. Отделение (отцеживание) крахмальной суспензии от зародыша осуществляют на безнапорных дуговых ситах Ш5-ПСД-2, оснащенных щелевидной колосниковообразной сеткой со щелями шириной 1,6—1,8 мм. Отцеженную крахмальную суспензию концентрацией 12—14 % *СВ* направляют в сборники кашки после первого и второго дробления для создания необходимой консистенции кашки и концентрации крахмальной суспензии.

Зародыш с сит отцеживания подвергают двукратному промыванию на ситах Ш5-ПСД-2 по принципу противотока, как показано на рис. 32. Глютеновую воду, нагретую до 40—55 °С, подают в сборник зародыша после сит первого промывания или непосредственно в приемник надситового продукта сита первого промывания зародыша. Смесь зародыша и глютеновой воды подают насосом или самотеком на сито второго промывания зародыша. Зародыш по ситовой поверхности сходит в приемник сита, из которого поступает на шнек-пресс для механического обезвоживания. Суспензия, содержащая крахмальные зерна, мелкие частицы зародыша, мезги и эндосперма, а также белок, проходит через щели ситовой поверхности и направляется в сборник зародыша после сита отцеживания или в приемник надситового продукта сита отцеживания.

Смесь зародыша и крахмальной суспензии подают на сито первого промывания зародыша, надситовый продукт с которого в смеси с глютеновой водой поступает на второе промывание, а крахмальная суспензия — на сопровождение замоченного зерна на первое дробление.

Для отцеживания и промывания зародыша рекомендуется

использовать блочные станции дуговых сит РЗ-ПСЗ-200, которые включают четыре дуговых сита *3, 5, 7, 12* (одно — для отцеживания, три — для промывания зародыша), насосы *2, 8, 11, 15,* сборники-приемники продуктов *1, 4, 6, 9, 10, 14,* трубопроводы, регулирующую и контролирующую аппаратуру, площадки обслуживания (рис. 35). Три аппарата—сито отцеживания и сита первого и второго промывания *3, 5, 7* смонтированы один над другим, четвертое сито (сито третьего промывания) *12* может быть установлено непосредственно над шнек-прессами *13* для отцеживания промытого зародыша в другом цехе.

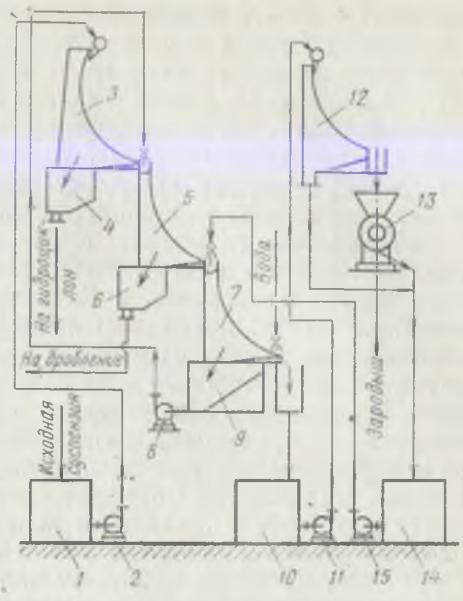


Рис. 35. Схема станций дуговых сит для отцеживания, промывания и обезвоживания зародыша

Сито отцеживания и сита первого и второго промывания зародыша имеют в нижней части, в зоне схода надрешетного продукта, поперечные желоба — кататакты с установленными над ними сопловыми оросителями. В этих устройствах обеспечивается интенсивное перемешивание надрешетных сходов с промывной жидкостью, что улучшает вымывание крахмала.

Промывание зародыша на станции осуществляется по принципу противотока, как при применении отдельных дуговых сит.

Суточная производительность станции составляет около 300 т кукурузы товарной влажности в сутки. Станция компактна и удобна в обслуживании.

Расход глютеновой воды на промывание зародыша, полученного из 100 кг абсолютно сухой кукурузы, составляет 160—180 л. Содержание общего крахмала в промытом зародыше не должно превышать 10 %, свободного крахмала — 1,0 %. Концентрация крахмальной суспензии, получаемой при отцеживании зародыша, составляет 12—14 %, при первом промывании 3—4, при втором 1,2—1,5 %.

ТОНКОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ КАШКИ

Кашка после второго выделения зародыша подается на дуговые сита Ш5-ПСД-2 для отцеживания от части крахмальной суспензии перед тонким измельчением. На большинстве пред-

приятий эти сита оснащаются сеткой щелевидной колосниковообразной со щелями шириной 1,2—1,6 мм. Полученная на них крахмальная суспензия (первое крахмальное молоко) содержит 25—28 г/л крупки (мелких частиц эндосперма) и мелких частиц оболочки. Для их отделения крахмальную суспензию обрабатывают на дуговых ситах, оснащенных капроновыми ситами № 43—49. Отделенную крупку вместе с кашкой с сит отцеживания направляют на тонкое измельчение.

Такая схема громоздка. Кроме того, с крупкой в измельчающие машины поступает много крахмальной суспензии, перегружая их. На Бендерском и Климовском заводах сито для отцеживания кашки перед измельчителями оснащается сеткой из моноволокна прямого плетения с отверстиями 0,3×0,3 мм либо капроновыми ситами № 35—43 с ячейками 219—165 мкм. При этом в крахмальной суспензии содержание крупки и частиц оболочек не превышает 2 г/л и ее направляют непосредственно на контрольное рафинирование, минуя сита первого крахмального молока. Надрешетный продукт с сита отцеживания кашки имеет более устойчивые показатели консистенции и влажности.

Содержание свободного крахмала в отцеженной кашке, поступающей на измельчение, не должно превышать 10 %, содержание общего крахмала составляет 70—74 % в пересчете на сухие вещества кашки. Консистенция кашки должна составлять 420—480 г продукта, обезвоженного на воронке Бюхнера, в 1 л кашки. Влажность кашки 75—79 %. Регулирование консистенции кашки производится путем добавления в нее части крахмальной суспензии с первого промывания мелкой и крупной мезги, а также путем применения сеток с ячейками различного размера. На измельчение поступает 62—68 % сухих веществ зерна. Кашка состоит из оболочек зерна, частичек эндосперма, в которых содержится связанный крахмал. а также свободного крахмала и белка. Цель измельчения кашки — разорвать клетки, содержащие связанный крахмал, и отделить крахмал от некрахмальной части зерна. Измельчение следует вести таким образом, чтобы не раздробить чрезмерно оболочки, так как отмывание свободного крахмала от мелких частиц оболочек труднее, чем от крупных.

Измельчение кашки осуществляют на измельчителях ударного действия. Продукт в них измельчают в основном ударом. Поэтому не происходит значительного измельчения оболочек.

Измельчающая машина ударного действия марки РЗ-ПМ2-К-150 схематично показана на рис. 36.

Основными рабочими органами этой машины являются ударный ротор *2* и концентрически расположенный внутри него центробежный (разгонный) ротор *3* с лопастями. Ударный ротор состоит из несущего диска и кольца, между которыми установлен с определенным шагом один ряд измельчающих элементов — пальцев *6* с диаметром 22 мм. Диск и кольцо стягивают болтами, защищенными от износа втулками того же диаметра,

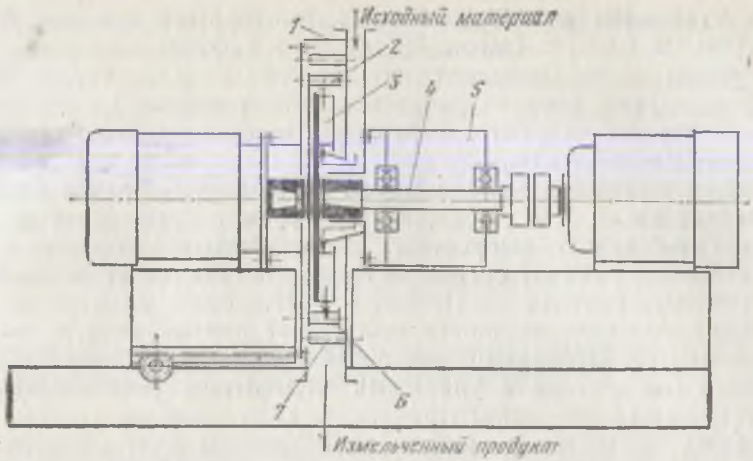


Рис. 36. Измельчающая машина марки РЗ-ПМ2-К-150

что и пальцы. Общее количество пальцев и втулок на роторе 72. Частота вращения ударного ротора, укрепленного на валу электродвигателя мощностью 100 кВт, 1460 об/мин.

Центробежный ротор *3* состоит из двух дисков, между которыми установлены 36 радиальных лопастей. Диски стягивают болтами, защищенными от износа втулками. Лопасти вставляют в пазы дисков и после предельно допустимого износа заменяют новыми. Ротор крепят на коническом конце вала *4* промежуточной опоры, установленного на подшипниках качения в корпусе *5*. Он приводится во вращение от электродвигателя мощностью 100 кВт через упругую муфту. Частота вращения центробежного ротора 2960 об/мин. Оба ротора помещены в камеру с отверстиями для ввода исходного и вывода измельченного продукта. Для обеспечения доступа к рабочим органам электродвигатель, приводящий в движение ударный ротор, установлен на подвижной станине, которая вместе с двигателем, ротором и крышкой корпуса может перемещаться по общей раме с помощью реечного механизма.

Из питателя-перемешивателя кашка поступает в центральную часть центробежного ротора, где ее подхватывают лопасти и отбрасывают на пальцы ударного ротора. Расстояние между пальцами (шаг) подобрано таким образом, чтобы исключить возможное прохождение частиц между ними без удара. Это позволяет получить более однородный по степени измельчения продукт. При встрече с пальцами под действием сильного удара частицы эндосперма подвергаются измельчению, что обеспечивает разрушение стенок клеток белковой матрицы и высвобождение зерен крахмала.

В корпусе *1* против роторных ударных пальцев концентрично

им установлен ряд неподвижных (статорных) пальцев 7 диаметром 22 мм и с шагом 32 мм. Эти рабочие элементы предназначены для дополнительного измельчения частиц эндосперма. Кроме того, встречаясь с неподвижными пальцами, частицы теряют скорость, в результате чего уменьшается износ стенки измельчителя.

Измельчающая машина марки РЗ-ПМ2-К-150 имеет производительность до 150 т товарной кукурузы в сутки. Для заводов малой мощности выпускают измельчающую машину марки РЗ-ПМК-50, рабочие органы которой отличаются от рабочих органов измельчителя РЗ-ПМ5-К-150 меньшими размерами. Для заводов большой мощности выпускают измельчающую машину РЗ-ПМШ-10. Основными рабочими органами этой машины являются два ротора с ударными элементами (пальцами), расположенными по концентрическим окружностям, причем шаг ударных элементов в каждом последующем ряду по мере удаления от оси вращения к периферии уменьшается. Один из роторов (приемный) имеет центральное отверстие для подачи исходного продукта в пространство между роторами. Он оснащен четырьмя рядами пальцев и состоит из планшайбы, соединенной перфорированной обечайкой с несущим диском, на котором с помощью прижимного диска крепятся пальцы. Ротор крепится на коническом конце вала промежуточной опоры. Привод его осуществляется от электродвигателя мощностью 110 кВт.

Второй ротор имеет три ряда пальцев и состоит из несущего и прижимного дисков. В кольцевом пространстве между перфорированной обечайкой и первым рядом пальцев на несущем диске закреплена предохранительная решетка, представляющая собой параллельно расположенные по оси ротора кольцевые диски, между которыми находятся распорные втулки. Привод второго ротора осуществляется от электродвигателя мощностью 110 кВт.

Частота вращения двух роторов 1460 об/мин. Кашка подается через воронку в отверстие приемного ротора и через щели в перфорированной обечайке выбрасывается на вращающуюся в противоположном направлении предохранительную решетку. При этом дробленое зерно проходит через отверстия решетки, попадает на пальцы и измельчается. Инородные предметы, способные вызвать поломку пальцев, остаются на решетке, вызывают повышенную вибрацию машины, которая должна быть остановлена.

По сравнению с машиной РЗ-ПМ2-К-150 машина РЗ-ПМШ-10 обеспечивает лучшее измельчение кашки (содержание связанного крахмала 12—15 %) и имеет более низкую удельную энергоемкость.

Качество измельчения кашки характеризуется величиной содержания связанного крахмала и соотношения крупной и мелкой мезги.

Частицы измельченной кашки более 0,6 мм называют крупной мезгой, менее 0,6 мм — мелкой мезгой.

Крупная мезга образуется при измельчении наружной оболочки зерна, мелкая мезга — в основном при измельчении внутренних клеток эндосперма зерна.

Хорошее измельчение продукта характеризуется следующими показателями: соотношение крупной и мелкой мезги в измельченном продукте должно быть не менее 2,5 : 1; содержание связанного крахмала (% к сухим веществам): кашки не более 20, крупной мезги не более 9, мелкой — не более 35.

ОТДЕЛЕНИЕ СВОБОДНОГО КРАХМАЛА ОТ КЛЕТЧАТКИ, РАФИНИРОВАНИЕ КРАХМАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ

Тонкоизмельченная кашка состоит из крупной и мелкой мезги и крахмальной суспензии, в состав сухих веществ которой входит крахмал, белок, жир и ряд других веществ.

Последующие производственные операции направлены на выделение из кашки свободного крахмала. Выделение из кашки крупной и мелкой мезги производят путем ее ситования на дуговых ситах (отцеживания кашки). С целью получения максимального выхода крахмала выделенную из кашки мезгу промывают на дуговых ситах глютеновой водой, нагретой до 50—55 °С, по принципу противотока. Крупную мезгу промывают 2—3 раза, мелкую мезгу — 4—5 раз.

Крахмальную суспензию с сита отцеживания тонкоизмельченной кашки (второе крахмальное молоко) направляют на сита отделения от нее мелкой мезги, а крупную мезгу — на сита промывания крупной мезги. Первое крахмальное молоко после сит отделения от него крупки и второе крахмальное молоко после сит отделения от него мелкой мезги объединяют и подают на сита рафинирования для окончательной очистки от частиц мелкой мезги и крупки, некоторых случайных примесей. Надситовый продукт с сит отделения мелкой мезги от второго крахмального молока и сит рафинирования крахмальной суспензии подается на сита промывания мелкой мезги. Крахмальная суспензия с сит первого промывания мелкой мезги подается в сборник кашки после тонкого измельчения. Часть этой суспензии используется при необходимости для разбавления кашки перед измельчителями. Крахмальная суспензия с сит первого промывания крупной мезги подается в сборник кашки после тонкого измельчения. Описанная схема станции раздельного промывания мезги и рафинирования крахмальной суспензии показана на рис. 37.

Отцеживание кашки перед тонким ее измельчением и после него производят на дуговых ситах марки Ш5-ПСД-2, техническая характеристика которых приведена выше. Отделение крупки от первого крахмального молока, мелкой мезги от вто-

Рис. 37. Схема ситовой станции с раздельным промыванием крупной и мелкой мезги

рого крахмального молока, рафинирование крахмальной суспензии осуществляются на дуговых ситах марки Ш5-ПРД-1.

Сита отцеживания кашки перед тонким измельчением оснащают сеткой щелевидной колосниковообразной со щелями шириной 1,2—1,6 мм, сита отцеживания кашки после тонкого измельчения — сеткой щелевидной колосниковообразной со щелями шириной 0,6—0,8 мм, сита промывания мелкой мезги, сита отделения крупки от первого крахмального молока и сита отделения мелкой мезги от второго крахмального молока — капроном № 43—49 с отверстиями размером 165—143 мкм, сита рафинирования крахмальной суспензии — капроном № 67—73 с отверстиями размером 99—87 мкм.

Схема устройства дуговых сит Ш5-ПСД-2 и Ш5-ПРД-1 такая же, как на рис. 11.

Сита различаются величиной радиуса кривизны, величиной центрального угла, шириной ситовой поверхности, а также способом ввода обрабатываемого продукта на ситовую поверхность.

Концентрация крахмальной суспензии с сит (в % СВ) приведена ниже.

Отцеживание кашки перед измельчением	16—18
Отцеживание кашки после измельчения	10—12
Промывание крупной мезги	
первое	3,5—4,5
второе	2,5—3,5
третье	1,0—1,5
Промывание мелкой мезги	
первое	5,0—7,0
второе	3,5—4,5
третье	2,0—3,0
четвертое	1,6—2,0
Отцеживание мелкой мезги от 2-го крахмального молока	9,0—11,0
Рафинирование крахмального молока	12—14

Содержание свободного крахмала в мезге, в % СВ:

крупной	Не более 1,5
мелкой	Не более 4,5

Содержание сухой мелкой мезги в 1 л рафинированной крахмальной суспензии не должно превышать 0,1 г.

В последние годы все более широкое распространение получает схема ситовой станции с совместным промыванием крупной и мелкой мезги. На рис. 38 показана схема блочной станции малонапорных дуговых сит (Ш5-ПСД-2 или Ш5-ПРД-1) для промывания смеси крупной и мелкой мезги, внедренной на ряде предприятий. Станция включает семь ступеней дуговых сит (*1, 2, 3, 4, 5, 6, 7*): первую ступень — для отцеживания кашки от крахмальной суспензии и шесть ступеней — для отмывания крахмала от мезги; семь сборников *10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,* соединенных между собой трубопроводом диаметром 250—300 мм (показано пунктиром) таким образом, чтобы продукт мог пере-

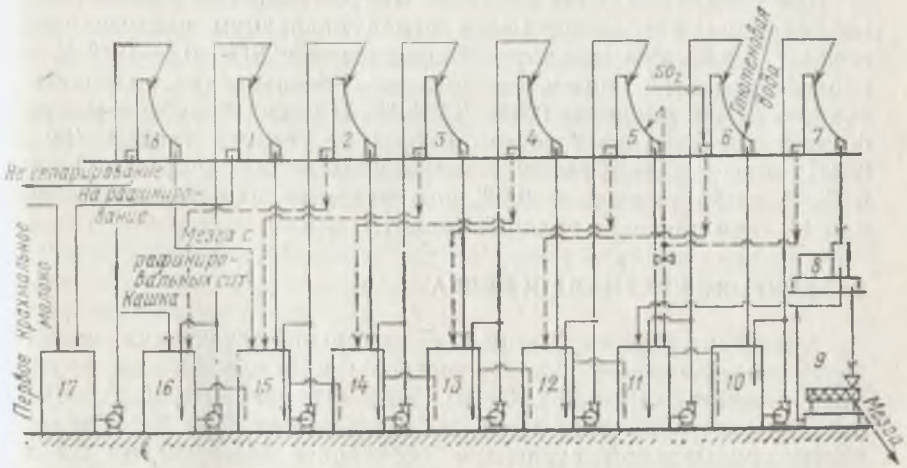


Рис. 38. Технологическая схема станции безнапорных дуговых сит для совместного промывания крупной и мелкой мезги

ливаться из каждого последующего сборника, начиная с последнего, в предыдущий. Промывание мезги осуществляют по принципу противотока глютеновой водой, нагретой до 50—55 °С. Крахмальная суспензия с сита *1* содержит от 0,5 до 1,5 г/л мезги. Она поступает в сборник *17*, из которого подается в смеси с первым крахмальным молоком на сита *18* контрольной очистки и далее — на сепарирование. Промытую мезгу обрабатывают на центробежно-лопастном сите *8* и затем обезвоживают на шнек-прессах *9*.

На первой ступени промывания мезги применяют капроновые сетки № 38—43, на второй — четвертой ступенях — капроновые сетки № 49, на пятой и шестой — № 43, на седьмой — № 38; на ситах для контрольной очистки крахмальной суспензии — капроновые сетки № 67—73.

Станция занимает сравнительно мало производственной площади, легко управляема. Она рекомендуется для заводов, перерабатывающих до 200 т кукурузы товарной влажности в сутки, в связи с небольшой производительностью малонапорных сит. На зарубежных предприятиях большой производительности применяют блочные станции напорных дуговых сит (давление продукта на входе на сито 0,25 МПа). Сита оснащены специальными щелевидными колосниковообразными сетками со щелями шириной 50 и 75 мкм. Производительность таких станций в 3—4 раза выше блочных станций малонапорных сит. Полученная с первой ступени сит крахмальная суспензия не требует рафинирования.

Расход воды при раздельном промывании крупной и мелкой мезги на 100 кг сухих веществ зерна составляет (в л): для промывания крупной мезги 170—200, мелкой мезги 90—100; при совместном промывании — 280—290.

Для предупреждения развития микрофлоры при работе ситовой станции в сборник мезги перед последним промыванием подают сернистую кислоту концентрацией SO_2 0,4—0,45 % с первой сернистой башни в количестве, обеспечивающем концентрацию SO_2 в продукте 0,02—0,025 %. В целях борьбы с микрофлорой все сита необходимо промывать струей теплой (50—55 °С) воды 2 раза в смену, а капроновые — периодически (1 раз в 5—7 дней) стирать в 0,2%-ном растворе каустической соды или 1%-ном растворе соляной кислоты.

РАЗДЕЛЕНИЕ КРАХМАЛА И БЕЛКА

В состав рафинированной крахмальной суспензии входят (в % на абсолютно сухое вещество): крахмал 88—92, азотистые вещества (N·6,25) 6—10, жир экстрагируемый 0,5—1,0, растворимые вещества, в основном азотистые, 2,5—3,0. Кислотность крахмальной суспензии составляет 145—200 мл 0,1 н. раствора гидроксида натрия на 100 г СВ при индикаторе фенолфталеине; pH 3,9—4,3.

Назначение процесса разделения крахмальной суспензии — выделение из крахмальной суспензии крахмала с наименьшим содержанием примесей и получение глютена с минимальным содержанием крахмала.

Разделение крахмала и белка основано на различии их плотности, а также поверхностных свойств, которые обусловливают разную скорость осаждения или способность к флотированию компонентов.

Рафинированная крахмальная суспензия представляет собой дисперсную систему, дисперсная фаза которой представлена зернами крахмала и частицами глютена. Дисперсной средой является водный раствор низкомолекулярных азотистых, углеводных и минеральных веществ.

Глютен представляет собой некрахмальную часть взвешенных веществ крахмальной суспензии. Белковый компонент глютена представлен частицами диаметром 1—2 мкм, склонными к самопроизвольному слипанию (флокуляции) в водной среде. Плотность безводного белка составляет около 1,18 г/см^3, но в водной среде его частицы из-за большой гидрофильности имеют плотность около 1,07 г/см^3.

Зерна крахмала имеют размер от 1 до 25 мкм, в среднем около 15 мкм. В процессе разделения крахмальной суспензии зерна крахмала размером менее 5 мкм полностью переходят в глютен. Плотность безводного крахмала составляет 1,59—1,63, воздушно-сухого крахмала — 1,53 г/см^3. С учетом заключенной в порах воды плотность зерен крахмала как физических единиц в водной среде составляет около 1,5 г/см^3.

В настоящее время разделение крахмальной суспензии на крахмал и глютен производят на центробежных сепараторах-разделителях. Для этой цели применяют также гидроциклоны и флотационные машины.

Для сгущения глютеновой суспензии используют центробежные сепараторы-концентраторы и флотационные камеры.

Процесс разделения крахмальной суспензии на сепараторах осуществляется по многостадийной противоточной схеме, обеспечивающей 4—6-кратную обработку крахмальной суспензии. Промывная вода при этом подается на последнюю ступень сепараторов и затем используется противоточно движению крахмальной суспензии на всей станции.

Наряду с центробежными сепараторами станция разделения крахмальной суспензии может включать также гидроциклоны и флотационные машины.

Устройство сепараторов-разделителей. Для разделения крахмальной суспензии применяют сепараторы отечественного производства марки ПРН, Ж5-ПРТ. ПСА-4, а также сепараторы шведского производства марки ТХ-212-31-SH и ТХ-412S-31H-60.

Сепараторы ПРН и Ж5-ПРТ — сепараторы полузакрытого типа с центробежной непрерывной выгрузкой густого схода через сопла. Легкая фракция удаляется из сепаратора по закрытому

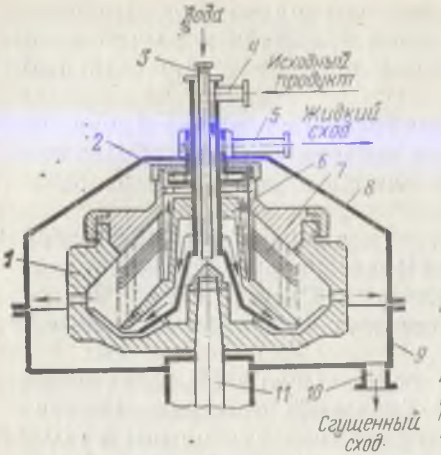


Рис. 39. Схема барабана сепаратора модели ПРН

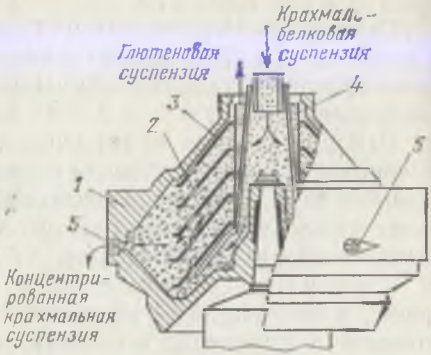


Рис. 40. Схема процесса разделения крахмало-белковой суспензии в барабане с тарельчатой вставкой

трубопроводу с помощью неподвижного направляющего аппарата — напорного диска, в котором кинетическая энергия вращающейся жидкости используется для создания гидравлического напора.

Устройство сепаратора ПРН схематично показано на рис. 39. Основными узлами сепаратора являются: барабан *1*, напорный диск *2*, трубка для подачи промывной воды *3*, трубопровод подачи в сепаратор исходного продукта *4*, патрубок вывода жидкого схода *5*, тарелкодержатель *6*, пакет тарелок *7*, крышка *8*, чаша приема сгущенного схода *9*, патрубок для вывода сгущенного схода *10*, веретено *11*.

Промывную воду в сепаратор подают по трубке *3* в нижнюю часть тарелкодержателя, откуда она по изогнутым трубкам поступает к соплам, где во время работы сепаратора находится суспензия крахмала наиболее высокой концентрации. За счет этой воды снижается содержание растворимых веществ в крахмале.

Сепаратор Ж5-ПРТ имеет такое же устройство, как ПРН, но барабан его изготовлен из титана. Так как сепаратор Ж5-ПРТ имеет пониженную по сравнению с сепаратором ПРН частоту вращения барабана и укомплектовывается соплами большего диаметра, он надежнее и долговечнее в работе, имеет более высокую производительность, чем сепаратор ПРН.

Тепаратор ПСА-4 — машина открытого типа с центробежной непрерывной выгрузкой густого схода через сопла. Легкая фракция свободно выходит в специальную камеру неподвижного корпуса и вытекает из него в отводные воронки. Сепаратор не имеет подвода промывной воды; она подается в сборник исходного

продукта. В остальном устройство сепаратора ПСА-4 не отличается от устройства сепаратора ПРН. В зависимости от места установки сепараторов в технологической схеме используют сменные сопла различного диаметра, позволяющие получать необходимую концентрацию крахмальной суспензии.

Принцип действия центробежных сепараторов-разделителей. Основной рабочей частью центробежного сепаратора является быстровращающийся барабан с тарельчатой вставкой (пакет тарелок, набранный на тарелкодержателе, с определенным зазором между ними). Схематически процесс разделения крахмальной суспензии в барабане показан на рис. 40. При работе сепаратора крахмальная суспензия непрерывно поступает на тарелкодержатель, откуда по каналам, образованным отверстиями в тарелках *2*, распределяется между тарелками *3* параллельными тонкими слоями. Под действием центробежного поля крахмальные зерна, как более тяжелый компонент дисперсной фазы, прижимаются к внутренней поверхности каждой тарелки *3*, по наклонной плоскости сползают в периферийную зону барабана *1* и вместе с частью дисперсной среды направляются к соплам, расположенным на периферии барабана *5*. В сепараторе ПРН одновременно к соплам по трубкам распределителя подводится промывная вода, которая служит для насыщения дюз и для отмывки крахмальных зерен от азотистых примесей. Частицы глютена, как более легкие, как бы всплывают в сгущенном крахмальном молоке, прижимаются к наружной поверхности каждой тарелки и под действием давления новых порций поступающего в ротор продукта вытесняются к центру ротора и вместе с большей частью дисперсной среды (около 70 % общего количества исходного продукта) по наружным каналам тарелкодержателя *4* и отверстиям в перемычке крышки барабана в виде крахмально-белковой (глютеновой) суспензии выводятся из сепаратора в производственные коммуникации для дальнейшей обработки.

Факторы, влияющие на качество разделения крахмальной суспензии. В результате разделения крахмальной суспензии необходимо получить крахмал с содержанием азотистых веществ не более 0,8 % и глютен с содержанием крахмала не более 20 %.

В зависимости от условий работы сепараторов эти показатели могут колебаться в широких пределах. Основными факторами, оказывающими влияние на качество разделения крахмальной суспензии, являются: фактор разделения сепаратора, размер сопел, кратность обработки суспензии, количество сухих веществ крахмальной суспензии, подаваемой на сепаратор, температура, концентрация сухих веществ и величина pH обрабатываемой суспензии, а также содержание в ней взвешенных азотистых веществ.

Для получения крахмала с возможно низким содержанием азотистых веществ концентрацию сухих веществ в густом сходе

поддерживают на более высоком уровне. Концентрацию густого схода практически повышают путем увеличения подачи в сепаратор исходной крахмальной суспензии. При этом вместе с концентрацией густого схода увеличивается концентрация и жидкого. Однако это увеличение ограничено. При повышении нагрузки, приводящей к росту взвешенных веществ в жидком сходе до 10 % и более, наблюдается даже некоторое снижение концентрации густого схода. При этом качество разделения крахмальной суспензии снижается.

Концентрация сухих веществ в обрабатываемой суспензии должна составлять 12—20 % в зависимости от стадий сепарирования, концентрация жидких сходов — 4—6, на первой стадии (предварительное концентрирование крахмальной суспензии) — не более 2 %. Концентрация сухих веществ в нижнем сходе колеблется от 20 до 35 % в зависимости от стадий сепарирования.

Оптимальной температурой обрабатываемой суспензии является 30—35 °С. Крахмальная суспензия с более низкой температурой имеет повышенную вязкость, которая ухудшает процесс разделения.

Величина pH обрабатываемой на сепараторах крахмальной суспензии должна составлять 3,8—4,2. При повышении pH разделение ухудшается из-за увеличения степени пептизации белков и уменьшения степени их коагуляции.

Эффективность разделения крахмальной суспензии повышается при противоточной ее обработке. Противоточная обработка позволяет уменьшить расход воды для промывания крахмала, что немаловажно для замыкания процесса производства сырого кукурузного крахмала. Кроме того, повышается эффект выделения глютена из крахмальной суспензии с высоким содержанием взвешенных азотистых веществ на первых стадиях сепарирования.

Разделение крахмальной суспензии флотационным методом. В белковых веществах крахмальной суспензии содержится до 10 % жира, примерно 22 % которого представлены свободными жирными кислотами. Глютен на своей поверхности способен сорбировать часть этих жировых веществ, в результате чего при аэрации крахмальной суспензии глютеновые частицы прилипают к пузырькам газа или воздуха и увлекаются ими на поверхность, образуя слой пены. Крахмал с пузырьками не взаимодействует. Процесс всплывания в жидкой среде частиц дисперсной фазы с прилипшими к ним пузырьками газа или воздуха называют флотацией, а основанный на этом принципе способ разделения жидких неоднородных систем — пенной флотацией.

Аэрация крахмальной суспензии может осуществляться путем введения в нее мелких пузырьков воздуха или другого газа или созданием их в системе, например, путем электролиза воды. Для разделения крахмальной суспензии применяют флотацион-

ные машины, оснащенные импеллерными установками, имеющими лопастной ротор для засасывания и диспергирования воздуха, а также смешивания его пузырьков с обрабатываемой суспензией.

Схема устройства и работы флотационной машины типа Механобр-5В-Ш (марка ФМР-2К) представлена на рис. 41. Основными рабочими узлами машины являются неподвижные отбойники *1*, установленные на дне корпуса машины и предназначенные для гашения вращательного движения суспензий в камере *2*, трубка *4* для подвода воздуха в статор импеллера *5*, вращающиеся лопасти для съема пены *6*, статор импеллера *7*, ротор импеллера *8*, закрепленный на валу *3*, надимпеллерный стакан *9*, карман для приема суспензии *10*, карман *11* для регулирования уровня суспензии в камере и вывода обработанного продукта.

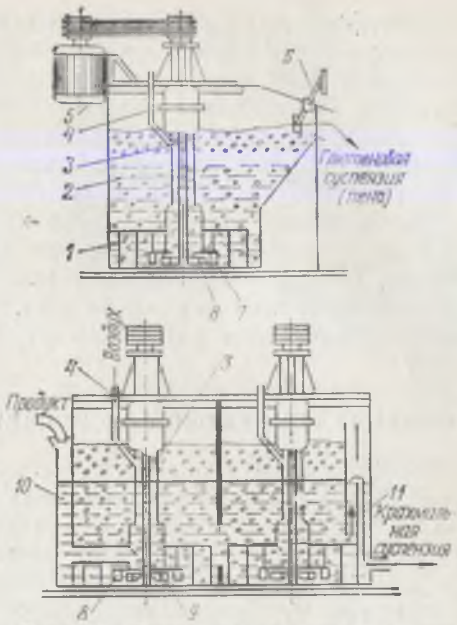


Рис. 41. Схема флотационной двухкамерной установки

Флотационная машина работает следующим образом. Суспензия поступает в приемный карман *10*, а из него через питающую трубку в надимпеллерный стакан. При частоте вращения импеллера 330 об/мин суспензия интенсивно перемешивается с воздухом, поступающим в статор через трубку *4* в количестве 1 м³ на 1 м² поверхности суспензии. Смесь крахмальной суспензии и воздуха проходит через щелевой зазор между статором и лопастями ротора импеллера. В результате механического воздействия при работе импеллера происходит диспергирование воздуха в суспензии с образованием пузырьков размером 5—30 мм. Белковые вещества закрепляются на границе раздела жидкость — воздух и вместе с пузырьками воздуха поднимаются вверх, образуя устойчивую пену над суспензией. При обработке крахмальной суспензии на флотационных машинах удается выделить 30—40 % белка и 60—70 % жира. Оптимальная продолжительность обработки крахмального молока составляет 12—15 мин. Содержание в пенном сходе (в % к сухим веществам): крахмала 10—30, жира 10 и более.

Уровень продукта в камере должен быть на 100—120 мм ниже уровня перелива пены, при этом лопасти пеносъемника при работе не должны погружаться в крахмальную суспензию.

Флотационные машины рекомендуется устанавливать на операциях последней контрольной очистки крахмала от белка, т. е. после последней стадии центробежных сепараторов или гидроциклонов. Пенный сход с флотационной машины возвращают на повторную обработку на сепараторах. Обработка крахмальной суспензии на флотационных машинах позволяет стабилизировать качество крахмала по содержанию в нем белка и жира.

Флотационные машины ФМР-2К выпускают с числом камер от 2 до 20 с полезным объемом камеры 1 м³, диаметром импеллера 500 мм и частотой его вращения 330 об/мин. Мощность электродвигателей импеллера 4,5 кВт, привода пеногона 1,1 кВт, производительность одной камеры 4—5 м³/ч по исходному продукту.

СГУЩЕНИЕ ГЛЮТЕНОВОЙ СУСПЕНЗИИ

По принятым в производстве кукурузного крахмала схемам сепараторных станций глютеновая суспензия в виде жидкого схода выводится с первой стадии разделения крахмальной суспензии. Содержание сухих веществ в ней составляет 1,5—2.5 %. Полученную глютеновую суспензию необходимо сгустить. Сгущенную суспензию используют для получения сырых кормов либо после дополнительного механического обезвоживания на фильтр-прессах или вакуум-фильтрах — для производства сухих кормов. Глютеновую воду, отделенную от глютеновой суспензии при ее концентрировании, направляют в замочное или мельнично-ситовое отделение.

Сгущение глютеновой суспензии проводят на центробежных сепараторах-концентраторах с центробежной непрерывной выгрузкой осадка через сопла. Применяют сепараторы марки Ж5-ПРП отечественного производства, а также сепараторы QX-312 шведского производства.

Сепаратор Ж5-ПРП — аппарат полузакрытого типа. По принципу действия, конструкции этот сепаратор аналогичен сепаратору ПРН. В отличие от сепаратора ПРН сепараторы-концентраторы оснащаются пеногасящими насосами для рециркуляции сгущенного схода. Основным рабочим органом сепаратора ПРП является барабан, в котором происходит процесс сгущения глютеновой суспензии. Глютеновая суспензия подается во внутреннюю полость тарелкодержателя, откуда по каналам, образованным отверстиями в тарелках, распределяется между тарелками параллельными тонкими слоями. При этом взвешенные белковые частицы и крахмальные зерна под действием центробежной силы устремляются к периферии барабана и через сопла вместе с частью дисперсной среды выводятся из барабана. Далее сгущенная суспензия поступает в приемный бачок пеногасящего насоса, откуда часть ее выводится в производственные коммуникации для дальнейшей обработки, а другая часть направляется обратно в сепаратор. Благодаря такой ре-

циркуляции достигается максимальное сгущение суспензии и смыв со стенок барабана частиц, отложившихся в процессе сепарирования. Осветленная от взвешенных частиц глютеновая вода направляется к оси вращающегося барабана и посредством напорного диска отводится в производственные коммуникации.

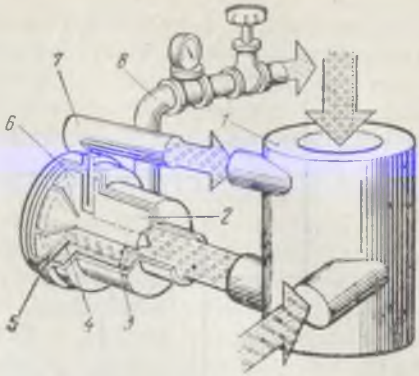


Рис. 42. Схема пеногасящего насоса

Пеногасящий насос способствует выделению из продукта пузырьков воздуха, одновременно транспортируя сгущенный продукт на последующую операцию и возвращая часть его в барабан сепаратора. Устройство пеногасящего насоса схематически показано на рис. 42. Сгущенный глютен из сепаратора поступает в приемный бачок *1* центробежного насоса и в результате вращения крыльчатки *2* засасывается в камеру *3*. При работе насоса в этой камере происходит разделение продукта, причем более тяжелая фракция отбрасывается к периферии и через патрубок *8* одна ее часть выводится на рециркуляцию в сепаратор, другая направляется на дальнейшую переработку. Легкая фракция суспензии, насыщенная пузырьками воздуха, собирается у вала насоса и через кольцевую щель в диафрагме *4* попадает во вторую камеру *5* насоса, где крыльчатка *6* создает некоторое разрежение.

Здесь пузырьки воздуха лопаются, пена гасится и глютеновая суспензия с воздухом через патрубок *7* возвращается в питательный бачок.

Для сгущения глютеновой суспензии и осветления глютеновой воды наряду с сепараторами-концентраторами используют флотационные камеры. При этом так же, как при разделении крахмальной суспензии на флотационной машине, используют способность белковых веществ закрепляться на поверхности пузырьков воздуха и образовывать вместе с ним достаточно устойчивый пенный слой.

В результате обработки глютеновой суспензии получают пенный сход концентрацией сухих веществ 2,5—3,5 % и осветленную глютеновую воду с содержанием 0,12—0,15 % взвешенных веществ.

Пенный сход подается для дополнительного сгущения на сепараторы-концентраторы глютена, а глютеновая вода — на замачивание зерна, промывание мезги и др. Флотационные камеры используют также для дополнительного осветления глютеновой воды, получаемой при сгущении глютеновой суспензии на сепараторах-концентраторах.

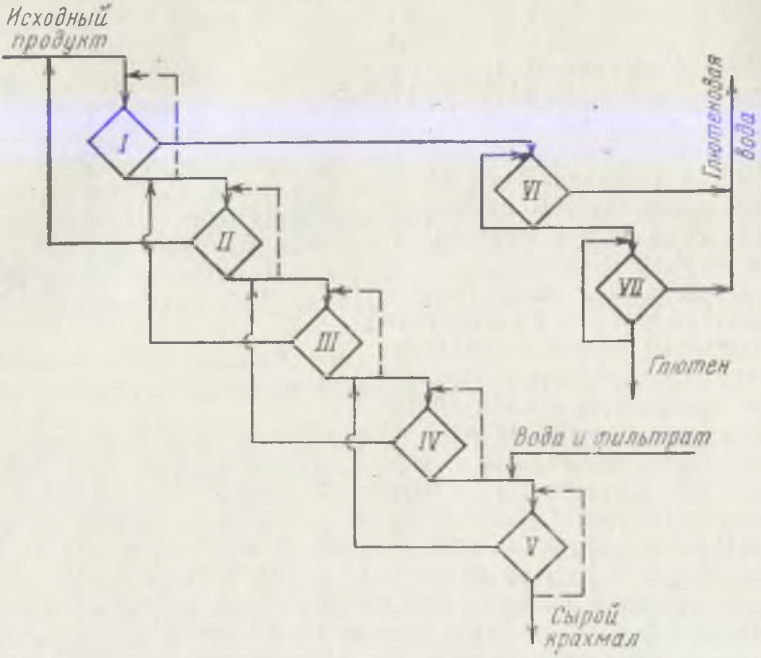


Рис. 43. Схема сепараторной станции для заводов производительностью до 200 т кукурузы в сутки

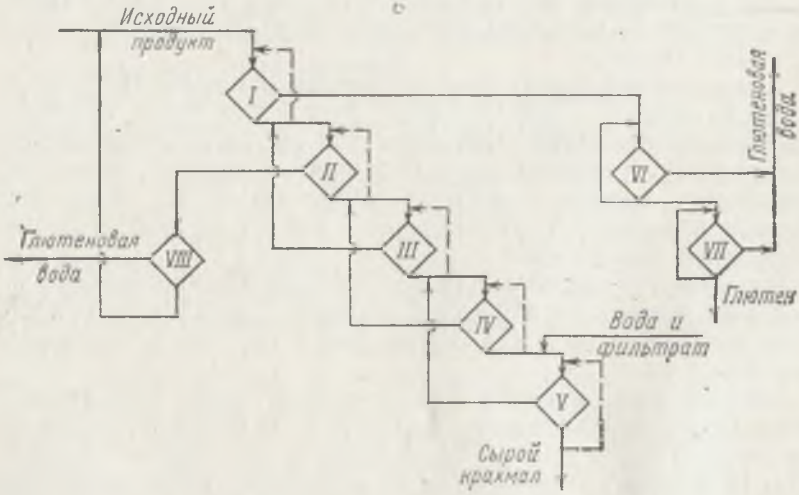


Рис. 44. Схема сепараторной станции для заводов производительностью свыше 200 т кукурузы в сутки

Схемы разделения крахмальной суспензии и сгущения глютена. На рис. 43 показана принципиальная схема сепараторной станции для заводов производительностью до 200 т кукурузы в сутки, на рис. 44 — для заводов производительностью свыше 200 т кукурузы в сутки. Рафинированная крахмальная суспензия последовательно обрабатывается на *V—VI* стадиях сепараторов-разделителей. Верхний сход с сепараторов *I* стадии подается на две последовательные стадии сепараторов-концентраторов *VI* и *VII*. Верхний сход с этих сепараторов (глютеновую воду) после подогрева в специальных сборниках до 50—55 °С направляют в замочное и мельнично-ситовое отделение. Жидкие сходы с сепараторов *II—V* стадий возвращаются на соответствующие предыдущие стадии сепарирования. На заводах производительностью свыше 200 т кукурузы в сутки жидкий сход со *II* стадии сепараторов подается на сепараторы-концентраторы *VIII* стадии для отделения от него части жидкой фазы. Выделенная глютеновая вода подается в производственный процесс, а сгущенный продукт направляется в сборник исходной крахмальной суспензии перед *I* стадией сепараторов. Для поддержания необходимой концентрации сухих веществ в крахмальной суспензии часть густого схода сепараторов-разделителей возвращается «на себя», т. е. рециркулирует. Крахмальная суспензия перед последней группой сепараторов-разделителей разводится фильтратом и промывной водой со станции промывания крахмала на вакуум-фильтрах либо чистой теплой водой.

Технологический режим работы станции сепараторов для заводов разной производительности приведен в табл. 22.

Содержание взвешенных веществ в жидких сходах с VI—VIII стадий сепараторов (в глютеновой воде) не должно превышать 0,15 %. Содержание крахмала в глютене не должно быть более 20 %, содержание белка в крахмале 0,8 %.

Температура крахмальной суспензии по стадиям сепарирования должна составлять 30—35 °С, температура глютеновой суспензии перед II стадией сепараторов-концентраторов (VII) 50—60 °С.

Таблица 22

Стадия сепараторов	Тип сепараторов	Концентрация продуктов, % СВ		
		Исходный	Жидкий сход	Густой сход
I	ПРН	9—12	1,2—2,0	20—24
II	ПРН	12—16	3—4	30—35
III	ПРН	18—20	4—6	32—35
IV	ПРН	18—20	4—6	33—35
V	ПРН	17—18	4—6	33—35
VI	ПРП	1,2—2,0	0,5—0,8	3
VII	ПРП	3	0,5—0,8	Не менее 8
VIII	ПРП	3—4	0,5—0,8	9—12

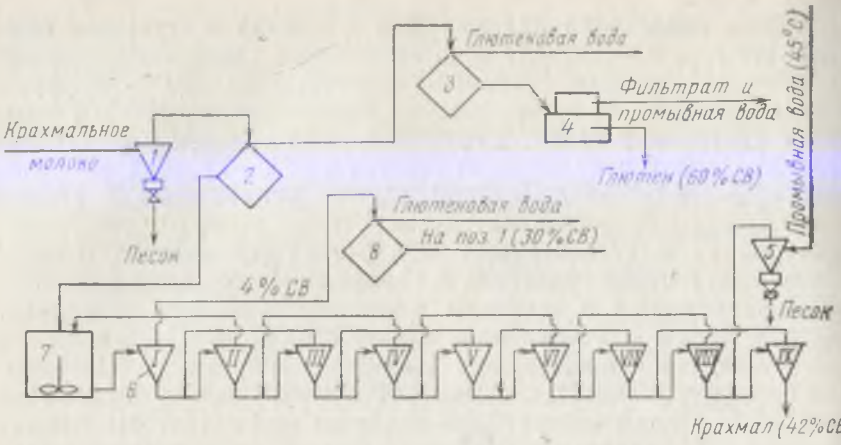


Рис. 45. Схема разделения крахмало-белковой суспензии и промывания крахмала на гидроциклонах в сочетании с центробежными сепараторами

На многих предприятиях для улучшения качества крахмала крахмальную суспензию после сепараторов-разделителей последней стадии направляют на флотационные машины. Пенный сход с них направляют на последнюю стадию сепараторов-разделителей.

Для повышения степени очистки глютеновой воды от взвешенных веществ на ряде отечественных и зарубежных предприятий ее дополнительно обрабатывают во флотационных камерах, устройство и принцип действия которых описаны выше. Осветленную глютеновую воду направляют в производство крахмала, а глютеновую суспензию — на сепараторы-концентраторы.

РАЗДЕЛЕНИЕ КРАХМАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ГИДРОЦИКЛОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕНРОБЕЖНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Обработка крахмальной суспензии на станции гидроциклонов в сочетании с центробежными сепараторами позволяет отделять от крахмала наряду с глютеном также и растворимые вещества. При этом отпадает необходимость в обработке крахмальной суспензии на вакуум-фильтрах.

На рис. 45 приведена схема разделения крахмальной суспензии и промывания крахмала на гидроциклонах в сочетании с центробежными сепараторами, применяемая на ряде зарубежных предприятий. Рафинированная крахмальная суспензия, очищенная от песка на гидроциклоне *1*, поступает на центробежный сепаратор *2* для отделения от него основной части глютена. Густой сход с сепаратора *2* разводится в сборнике *7* жидким сходом с гидроциклонов II ступени и затем подается на гидроциклоны I ступени. Жидкий сход с гидроциклонов I ступени поступает на сепаратор-концентратор *8*, где полу-

чается осветленная глютеновая вода, идущая в производство, и сгущенная крахмальная суспензия, которая затем направляется на гидроциклон для выделения песка *1*.

Батарея гидроциклонов *6* может включать 9 и более ступеней гидроциклонов (I—IX); она работает по принципу противотока. Крахмальная суспензия движется от гидроциклонов I ступени к гидроциклонам IX ступени, а жидкий сход — наоборот. Промывная вода, очищенная от песка на гидроциклонах *5*, подается в суспензию перед гидроциклонами IX ступени, а жидкий сход — на разбавление густого схода с гидроциклонов VII ступени. Жидкий сход с сепаратора *2* обрабатывается на сепараторе *3*. Получаемый сгущенный глютен обезвоживается на вакуум-фильтре *4*, а глютеновая вода направляется в производство.

Содержание азотистых веществ (N·6,25) в крахмале после гидроциклонов не превышает 0,40 %, содержание растворимых азотистых веществ составляет 0,04—0,06 %, содержание азотистых веществ в глютене — не менее 65 %.

Концентрация крахмальной суспензии с сепаратора *2* составляет 30—33 % СВ, концентрация крахмальной суспензии, поступающей на гидроциклоны всех ступеней, — 16—18 % СВ, концентрация крахмальной суспензии после гидроциклонов IX ступени — 42—44 % СВ, концентрация верхнего схода с гидроциклонов I ступени — 4—6 % СВ. Расход промывной воды температурой 50 °С должен составлять на станции гидроциклонов 200—230 кг на 100 кг сухой кукурузы.

ПРОМЫВАНИЕ КРАХМАЛА НА ВАКУУМ-ФИЛЬТРАХ

Промывание крахмала на вакуум-фильтрах производится при разделении крахмальной суспензии на центробежных сепараторах с использованием или без использования флотационных машин. При разделении крахмальной суспензии на гидроциклонах в сочетании с центробежными сепараторами промывание крахмала на вакуум-фильтрах не производится.

Назначение операции — отделить от крахмала растворимые вещества и уплотнить крахмальную суспензию.

Примерный состав растворимых веществ следующий (%): азотистые вещества — 40, растворимые углеводы — 25, минеральные вещества — 25, прочие — 10.

Кратность промывания крахмала зависит от качества поступающей крахмальной суспензии и от назначения получаемого крахмала. Для производства сухого крахмала и патоки его промывают 1—2 раза, для производства глюкозы — 2—3 раза.

Вакуум-фильтровальная станция должна работать по принципу противотока. Для разведения и промывания крахмала на последнюю группу вакуум-фильтров подают барометрическую или чистую воду, нагретую до 65—70 °С. При этом в системе промывания устанавливается температура 45—50 °С.

Разрежение на вакуум-фильтрах должно быть не менее 66,6 кПа. Давление воздуха в воздуходувке 20—30 кПа.

При промывании крахмала удаляется 35—55 % растворимых азотистых веществ.

Концентрация крахмальной суспензии, поступающей на вакуум-фильтры, должна быть 28—32 % СВ. Влажность снимаемого с барабанов вакуум-фильтра крахмала 50—47 %.

Производительность вакуум-фильтра зависит от продолжительности его полезной работы. Затраты времени на отдельные операции составляют (мин): надевание полотна на барабан 50—60; наполнение корыта суспензией 5—10; спуск суспензии 5, снятие полотна 40—50.

В табл. 23 приведены показатели качества крахмала до и

Таблица 23

Показатели	Крахмал до промывания	Крахмал после промывания		
		I	II	III
Растворимые вещества, % к СВ				
общие	0,4—0,7	0,3—0,5	0,2—0,3	0,07—0,15
в том числе растворимые азотистые вещества	0,16—0,28			0,005—0,01
Зола, % к СВ	0,4—0,6	0,3—0,5	0,2—0,3	0,1—0,15
Содержание сернистого ангидрида, %	0,015—0,02	0,01—0,015	0,007—0,01	0,004—0,007
Жир гидролизный	0,5—0,55			0,5—0,55
Жир экстрагируемый	0,1—0,15			0,1—0,15
Кислотность, мл 0,1 н. раствора NaOH на 100 г сухого крахмала	30—35			Не более 25

после промывания его на вакуум-фильтрах, а в табл. 24 — содержание сухих веществ в фильтрате и промывной воде.

Схема устройства и принцип действия вакуум-фильтров. Барабанные вакуум-фильтры относятся к оборудованию непрерывного действия.

Таблица 24

Процесс	Концентрация сухих веществ, %	
	фильтрат	промывная вода
Промывание		
первое	0,5—0,6	0,4—0,5
второе	0,2—0,3	0,2—0,25
третье	0,15—0,2	0,1—0,15

Барабан установлен горизонтально в двух подшипниках скольжения, закрепленных на боковых стенках металлического корыта (рис. 46).

Цилиндрическая стенка барабана имеет круглые или овальные отверстия. Часть барабана погружена в корыто *6*, заполняемое при работе до постоянного уровня крахмальной суспензией, поступающей на очистку. Для перемешивания суспензии в корыте вакуум-фильтра предусмотрено устройство *7*.

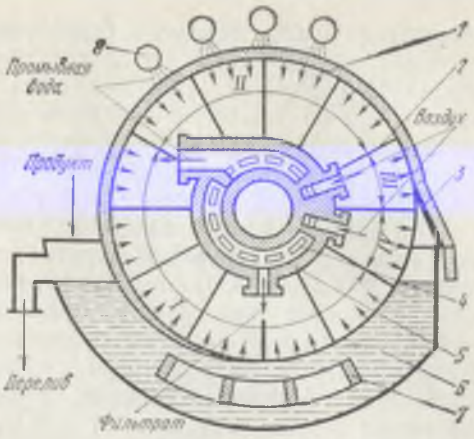


Рис. 46. Схема барабанного вакуум-фильтра

При подготовке вакуум-фильтра к работе на перфорированную поверхность барабана натягивают фильтровальную ткань. Край ткани закрепляют на барабане, и барабан по ткани обматывают проволокой с расстоянием между витками до 200 мм.

Барабан *1* вакуум-фильтра разделен радиальными перегородками *2* на 12—24 секции (на рисунке показано 12), каждая из которых имеет свое выходное отверстие (окна *4*) на торцевой части ступицы. Последняя плотно прилегает к неподвижной распределительной головке *5* вакуум-фильтра, разделенной на четыре неравные секции. Через самую большую секцию I насосом отсасывают воздух и фильтрат, из секции II — воздух и промывную воду. В секцию III подают воздух для отдувки полотна, что ломает осадок крахмала и облегчает его съем ножом *3*. Через секцию IV подают воздух для регенерации фильтровальной ткани. Снятый ножом *3* сырой крахмал поступает в шнек-перемешиватель, где его размешивают с горячей водой и передают затем в цехи производства из него патоки, глюкозы и других крахмалопродуктов.

Над верхней частью барабана установлены оросители *8* для подачи горячей воды на отфильтрованный слой крахмала. Подачу воды осуществляют через разбрызгивающие форсунки.

Принцип действия барабанного вакуум-фильтра следующий. После подготовки оборудования фильтрационной установки к работе включают электродвигатели привода барабана и мешального устройства *7*, корыто *6* заполняют суспензией крахмала до перелива, открывают вентили, соединяющие распределительную головку с трубопроводами, находящимися под разрежением и под давлением. Барабан вакуум-фильтра погружен в суспензию примерно на $^1/_3$; частота его вращения около 1 об/мин. За один оборот каждая секция барабана проходит

следующие фазы процесса фильтрации: фильтрация суспензии с целью образования на поверхности фильтровальной ткани осадка крахмала и удаления фильтрата, просушивание крахмала с целью удаления остатков фильтрата; промывание слоя крахмала водой; сушка промытого крахмала; отдувка полотна и снятие осадка крахмала ножом; подготовка фильтровальной ткани к следующему циклу работы.

При непрерывном вращении барабана в суспензию входит та его часть, на фильтрующей перегородке которой нет осадка, т. е. участки барабана с чистой фильтровальной тканью. В момент, когда выходное окно секции барабана попадает в зону секции I распределительной головки, соответствующий участок барабана оказывается под разрежением и через ткань начинается фильтрация жидкой фазы суспензии, а на поверхности фильтровальной ткани откладывается слой крахмала. По мере перемещения барабана в суспензии толщина слоя крахмала на ткани возрастает. Жидкая фаза вместе с отсосанным воздухом попадает через окна секций барабана в распределительную головку, а оттуда — в ресивер.

После выхода барабана с осадком крахмала из суспензии отсос жидкой фазы продолжается, что приводит к подсушиванию крахмала. Для более полного удаления растворимых веществ из крахмального слоя его промывают чистой горячей водой через оросители *8*.

Секции барабана, находящиеся в зоне промывания крахмала и последующего его подсушивания, соединены окнами с секцией II распределительной головки, находящейся под разрежением. Отфильтрованная промывная вода попадает в неподвижную головку и может быть отведена отдельно через специальный штуцер либо объединена с фильтратом.

При дальнейшем вращении барабана секции с промытым и подсушенным крахмалом попадают в зону избыточного давления, создаваемую подачей сжатого воздуха в секцию III распределительной головки. Здесь ткань отходит от поверхности барабана. При этом крахмальный осадок растрескивается и разламывается. Затем он снимается с помощью ножевого устройства *3*. После снятия осадка поверхность фильтра еще некоторое время продувается сжатым воздухом, поступающим в секции барабана через штуцер IV секции распределительной головки. Продувание обеспечивает частичную регенерацию фильтровальной ткани. Для предотвращения осаждения крахмала в корыте при работе вакуум-фильтра суспензию перемешивают с помощью мешального устройства, выполненного в виде качающейся рамы.

Схема двукратного противоточного промывания крахмала на вакуум-фильтровальной установке. Вакуум-фильтровальная установка (рис. 47) включает вакуум-фильтры *2* и *4*, сборники для крахмальной суспензии *1* и *10*, ресиверы для разделения фильтрата и воздуха *3* и *5*, барометрические сборники *8* и *12*,

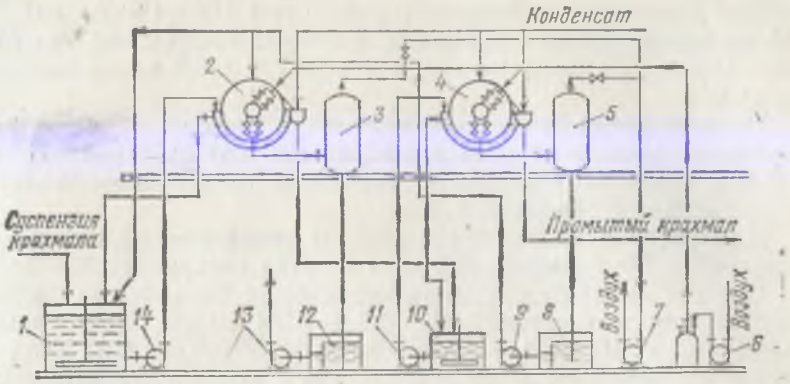


Рис. 47. Схема вакуум-фильтровой установки

центробежные насосы *9*, *11*, *13* и *14*, вакуум-насосы *7*, воздуходувки *6*.

Противоточное промывание крахмала на вакуум-фильтрах осуществляется следующим образом. Крахмальную суспензию, очищенную от глютена, концентрацией сухих веществ 35—38 % разбавляют фильтратом с вакуум-фильтров группы II до концентрации сухих веществ 28—32 % и подают в корыто вакуум-фильтра *2* для первого промывания крахмала. В качестве промывной жидкости используют смесь фильтрата и промывной воды, получаемую при втором промывании крахмала. Фильтрат и промывная вода в смеси с воздухом из распределительной головки фильтра *2* поступают в вакуум-сборник *3*, откуда смесь фильтрата и промывной воды стекает в сборник *12*. Насосом *13* ее откачивают в сборник крахмальной суспензии перед последней стадией сепараторов.

Крахмал, снятый ножевым устройством с фильтра, размешивают с конденсатом или чистой водой, нагретыми до 65—75 °С, до концентрации сухих веществ 28—32 % и направляют в сборник *10*. Полученную крахмальную суспензию насосом *11* подают в корыто вакуум-фильтра *4* для второго промывания. На орошение лепешки крахмала используют конденсат или чистую воду температурой 65—75 °С. Фильтрат и промывную воду направляют в ресивер *5* для отделения воздуха. Из ресивера смесь фильтрата и промывной воды поступает в сборник *8*, из которого насосом *9* перекачивают на вакуум-фильтры первой ступени. Воздух из ресивера откачивают водокольцевым вакуумным насосом *7*. Для отдувки полотна перед ножевым съемом осадка крахмала используют сжатый воздух от воздуходувки *6*.

Смена фильтровальной ткани на вакуум-фильтрах производится примерно 1 раз в сутки. Снятую с вакуум-фильтра ткань замачивают в течение 1 ч в 1%-ном растворе соляной кислоты или 0,5%-ном растворе гидроокиси натрия, а затем ополаскивают в горячей воде. Выстиранную ткань высушивают.

При промывании крахмала расходуют 150—170 кг воды на 100 кг сухих веществ крахмала. Из этого количества 50—70 кг используют для промывания и около 100 кг — для разведения крахмала.

Производительность вакуум-фильтра зависит от качества и состояния фильтровальной ткани, концентрации, температуры и состава суспензии крахмала, величины остаточного давления, полноты съема осадка и т. д.

При условии ежесуточной замены ткани продолжительность полезной работы вакуум-фильтра в сутки составляет 22—22,5 ч.

При промывании крахмала используют барабанные кислотостойкие фильтры марки БОК 10-2,6, БОК 20-2,6 (2,6 — диаметр барабана, м; 10 и 20 — поверхность фильтрации, м^2). Угол погружения барабана в суспензию 149°. Корыта фильтров вмещают соответственно 3,5 и 4,2 м^3 суспензии крахмала.

Подбор вакуум-насоса производят из расчета отсасывания 1 м^3/мин через 1 м^2 зоны фильтра, находящейся под разрежением. Воздуходувка должна обеспечить 0,3 м^3/мин воздуха на 1 м^2 продуваемой поверхности фильтра.

РАСХОД ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПАРА, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВОДЫ

При производстве сырого кукурузного крахмала используют следующие вспомогательные материалы (на 1 т сухих веществ кукурузы):

Сера комовая, кг	3,7—4,2
Сетка щелевидная колосниковообразная, м^2	0,006
Кислота соляная, кг	0,06
Сода каустическая, кг	0,05
Проволока стальная, кг	0,008
Фильтр-диагональ, м^2	0,04
Капроновая ткань для сит, м^2	0,023

В производстве кукурузного крахмала пар используют на замачивание зерна, подогрев осветленной глютеновой и свежей воды.

Расход пара (в кг на 1 т сухих веществ перерабатываемой кукурузы) при давлении 0,3 МПа на указанные технологические операции составляет:

Замачивание кукурузного зерна	149
Подогрев осветленной глютеновой воды	476
Подогрев свежей воды	133
Стирка и сушка сит и полотен (фильтрационной ткани)	15
Итого	773

Расход электроэнергии составляет 220 кВт·ч/т.

Установлены следующие нормы потребления свежей и оборотной воды по станциям производства сырого кукурузного крахмала (табл. 25).

Таблица 25

Операция	Количество потребляемой воды на 1 т сухих веществ перерабатываемой кукурузы	
	свежая вода	возвратная вода
Гидротранспортирование сухого зерна и его замачивание	—	1,4—1,5
Дробление зерна	—	0,7—0,9
Промывание		
замоченного зерна	—	1,0—1,2
зародыша	—	1,0—1,2
смеси крупной и мелкой мезги	—	2,6—2,9
крахмала	1,8—1,9	—
Пуск и остановка сепараторов, мойка сепараторных тарелок	—	0,7—0,9

С учетом неравномерности потребления воды установлены укрупненные нормы расхода воды на 1 т сухого зерна: 2,5 м³ свежей и 8,6 — возвратной. Сброс воды на очистные сооружения не должен превышать 0,5 м³ на 1 т сухих веществ перерабатываемого сырья.

РАСЧЕТ ПРОДУКТОВ КУКУРУЗОКРАХМАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

На основании практических данных принимается следующий состав зерна, поступающего на переработку (в % на сухое вещество): крахмал 69,5, зародыш 6,5, крупная мезга 5,4, мелкая мезга 2,6, экстракт 7,5, глютен 8,5.

При переработке зерна часть его некрахмальных компонентов переходит в крахмал (1,5—1,8 %), а часть крахмала выводится из производства с некрахмальными компонентами.

При работе предприятий по замкнутому процессу всегда имеются потери сухого вещества зерна в размере 1—1,5 % к его массе.

В табл. 26 приведен расчет продуктов по станциям производства при замкнутом процессе для технологической схемы, включающей замачивание зерна, двукратное дробление и двукратное выделение зародыша, двукратное промывание его с последующим механическим обезвоживанием, семь ступеней совместного промывания крупной и мелкой мезги, механическое обезвоживание ее, пять стадий сепарирования крахмального молока, контрольное отделение белка от крахмала, две стадии сгущения глютеновой суспензии, трехступенчатое промывание крахмала на вакуум-фильтрах, обезвоживание глютеновой суспензии на вакуум-фильтрах со сходящим полотном или фильтр-прессах.

Задаваясь содержанием некрахмала в крахмале и содержанием крахмала в некрахмалистых компонентах, а также величиной потерь сухих веществ, составляем таблицу распределения сухих веществ кукурузы по продуктам при замкнутом процессе производства (табл. 27).

Таблица 26

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Замачивание				
Поступило				
кукурузное зерно	83,0	0,65	100,0	120,48
сернистая кислота (0,25 % SO_2)	1,25	1,00	1,64	131,10
конденсат	—	—	—	20,0
Всего			101,64	271,58
Ушло				
экстракт	7,4	1,03	7,34	99,19
испаряемая вода	—	—	—	4,00
замоченное зерно	56,0	0,8	94,30	168,39
Всего			101,64	271,58
Первое дробление				
Поступило				
замоченное зерно	56,0	0,8	94,30	168,39
крахмальное молоко с первого промывания зародыша	3,04	1,01	4,07	133,91
глютеновая вода	1,03	1,00	0,98	94,90
Всего			99,35	397,20
Ушло				
кашка на первое выделение зародыша	25,02	1,2	99,35	397,20
Первое выделение зародыша				
Поступило				
кашка после первого дробления	25,02	—	99,35	397,20
крахмальное молоко с отцеживания зародыша	13,9	1,06	97,95	703,25
Всего			197,30	1100,45
Ушло				
зародыш на отцеживание	18,1	1,07	110,77	612,46
кашка на отцеживание перед дроблением	17,69	1,08	86,53	488,00
Всего			197,30	1100,46

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Второе выделение зародыша				
Поступило				
кашка после второго дробления	17,69	1,08	86,53	488,00
крахмальное молоко с отцеживания зародыша	13,9	1,067	74,62	536,08
Всего			161,15	1024,08
Отцеживание зародыша				
Поступило				
зародыш с первого выделения	18,1	1,07	110,77	612,46
зародыш со второго выделения	10,7	1,05	72,06	673,12
Всего			182,83	1285,58
Ушло				
крахмальное молоко на первое и второе выделение зародыша	13,9	1,05	172,57	1239,33
зародыш на первое промывание	22,2	1,02	10,26	46,25
Всего			182,83	1285,58
Первое промывание зародыша				
Поступило				
зародыш с сит отцеживания	22,2	1,02	10,26	46,25
крахмальное молоко со второго промывания зародыша	1,1	1,005	1,35	121,95
Всего			11,61	168,20
Ушло				
зародыш на второе промывание	22,0	1,00	7,54	34,29
крахмальное молоко на первое дробление	3,04	1,01	4,07	133,91
Всего			11,61	168,20
Второе промывание зародыша				
Поступило				
зародыш с первого промывания	22,0	1,00	7,54	34,29
глютеновая вода	0,85	—	0,88	103,33
сернистая кислота	—	—	—	2,00
фильтрат со шнек-прессов	—	—	—	10,46
Всего			8,42	150,08

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Ушло				
зародыш на прессование	25,13	0,50	7,07	28,13
крахмальное молоко на первое промывание зародыша	1,1	1,01	1,35	121,95
Всего			8,42	150,08
Прессование зародыша				
Поступило				
зародыш со второго промывания	25,13	0,50	7,07	28,13
Ушло				
зародыш 60 %-ной влажности	39,4	0,40	6,97	17,67
фильтрат	—	1,00	0,10	10,46
Всего			7,07	28,13
Отцеживание кашки перед измельчением				
Поступило				
кашка со второго выделения зародыша	25,4	1,09	89,09	350,96
Ушло				
первое крахмальное молоко	17,9	1,07	26,86	150,50
кашка на измельчение	31,0	1,09	62,23	200,46
Всего			89,09	350,96
Станция совместного промывания крупной и мелкой мезги				
Отцеживание				
Поступило				
кашка после измельчителя	31,0	1,09	62,23	200,46
крахмальное молоко с первого промывания	4,2	1,01	25,88	623,30
Всего			88,11	823,76
Ушло				
мезга на первое промывание	16,7	1,05	28,36	170,02
второе крахмальное молоко на рафинирование	9,1	1,04	59,75	653,74
Всего			88,11	823,76
Первое промывание				
Поступило				
мезга с сит отцеживания	16,7	1,05	28,36	170,02
крахмальное молоко со второго промывания	2,6	1,00	16,74	640,94

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
мелкая мезга с рафинировальных сит	12,4	1,02	5,68	45,68
Всего			50,78	856,64
Ушло				
мезга на второе промывание	10,7	1,02	24,90	233,34
крахмальное молоко на отцежи-вание	4,2	1,01	25,88	623,30
Всего			50,78	856,64
Второе промывание				
Поступило				
мезга с первого промывания	10,7	1,02	24,90	233,34
крахмальное молоко с третьего промывания	2,0	1,00	12,04	613,94
Всего			36,94	847,28
Ушло				
мезга на третье промывание	9,8	1,02	20,20	206,34
крахмальное молоко на первое промывание	2,6	1,00	16,74	640,94
Всего			36,94	847,28
Третье промывание				
Поступило				
мезга со второго промывания	9,8	1,02	20,20	206,34
крахмальное молоко с четвертого промывания	1,4	1,00	8,24	570,94
Всего			28,44	777,28
Ушло				
мезга на четвертое промывание	10,0	1,02	16,40	163,34
крахмальное молоко на второе промывание	2,0	1,0	12,04	613,94
Всего			28,44	777,28
Четвертое промывание				
Поступило				
мезга с третьего промывания	10,0	1,02	16,40	163,34
крахмальное молоко с пятого промывания	0,9	1,00	4,74	544,94
Всего			21,14	708,28

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Ушло				
мезга на пятое промывание	9,4	1,01	12,90	137,34
крахмальное молоко на третье промывание	1,4	1,00	8,24	570,94
Всего			21,14	708,28
Пятое промывание				
Поступило				
мезга с четвертого промывания	9,4	1,01	12,90	137,43
крахмальное молокс с шестого промывания	0,6	1,00	3,24	522,60
Всего			16,14	660,03
Ушло				
мезга на шестое промывание	9,9	1,01	11,40	115,09
крахмальное молоко на четвертое промывание	0,9	1,00	4,74	544,94
Всего			16,14	660,03
Шестое промывание				
Поступило				
мезга с пятого промывания	9,9	1,01	11,40	115,09
глютеновая вода	0,4	—	1,64	390,30
сернистая кислота	0,4	—	0,20	45,00
фильтрат с шнек-прессов	—	—	—	89,64
Всего			13,24	639,94
Ушло				
крахмальное молоко на пятое промывание	0,6	1,00	3,24	522,60
мезга на прессование	8,5	0,90	10,00	117,34
Всего			13,24	639,94
Прессование мезги				
Поступило				
мезга с шестого промывания	8,5	0,90	10,00	117,34
Ушло				
прессованная мезга влажностью 65 %	36,0	0,7	10,00	27,70
фильтрат на седьмое промывание				89,64
Всего			10,00	117,34

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта стандартной влажности
Рафинирование крахмального молока				
Поступило				
крахмальное молоко с отцеживания кашки после измельчения	9,1	1,04	59,75	653,74
крахмальное молоко с сит отцеживания кашки перед измельчением	17,9	1,07	26,86	150,50
Всего			86,61	804,24
Ушло				
рафинированное крахмальное молоко на сепараторы	10,7	1,05	81,32	758,56
мелкая мезга на первое промывание	11,6	1,02	5,29	45,68
Всего			86,61	804,24
Первая стадия сепарирования крахмального молока				
Поступило				
крахмальное молоко после рафинирования	10,7	1,04	81,32	758,56
верхний сход со второй стадии сепараторов после его сгущения	9,4	1,04	18,00	192,00
сернистая кислота (конц. SO_2 0,4 %)	—	—	—	40,00
глютеновая вода на пуск и остановку сепараторов, мойку роторов сепараторов и т. д.	—	—	0,36	64,00
Всего			99,68	1054,56
Ушло				
нижний сход на вторую стадию	22,1	1,09	85,87	387,80
верхний сход на первое сгущение глютена	2,1	1,01	13,81	666,76
Всего			99,68	1054,56

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Вторая стадия сепарирования				
Поступило				
крахмальное молоко с первой стадии	22,1	1,09	85,87	387,80
верхний сход с третьей стадии	5,2	1,02	15,00	287,33
рециркуляция нижнего схода			8,00	23,50
Всего			108,87	698,63
Ушло				
крахмальное молоко на третью стадию	34,4	1,15	80,87	235,00
нижний сход на рециркуляцию			8,00	23,50
верхний сход на сгущение	4,5	1,02	20,00	440,13
Всего			108,87	698,63
Третья стадия сепарирования				
Поступило				
крахмальное молоко со 2-й стадии	34,4	1,15	80,87	235,00
верхний сход с четвертой стадии	5,2	1,02	15,00	287,33
рециркуляция нижнего схода			8,00	23,50
Всего			103,87	545,83
Ушло				
крахмальное молоко на четвертую стадию	34,4	1,15	80,87	235,00
нижний сход на рециркуляцию			8,00	23,50
верхний сход на вторую стадию	5,2	1,02	15,00	287,33
Всего			103,87	545,83
Четвертая стадия сепарирования				
Поступило				
нижний сход с третьей стадии	34,4	1,15	80,87	235,00
верхний сход с пятой стадии	4,0	1,02	9,81	244,05
рециркуляция нижнего схода			7,55	22,00
фильтрат с первой группы вакуум-фильтров			0,13	24,88
Всего			98,36	525,93
Ушло				
крахмальное молоко на пятую стадию	35,0	1,15	75,81	216,60
верхний схед на третью стадию	5,2	1,02	15,00	287,33
рециркуляция нижнего схода			7,55	22,00
Всего			98,36	525,93

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Пятая стадия сепарирования				
Поступило				
нижний сход с четвертой стадии	35,0	1,15	75,81	216,60
пенный сход флотомашин	31,8	1,10	6,50	20,45
рециркуляция нижнего схода			5,00	14,27
промывная вода с первой группы вакуум-фильтров			0,32	70,32
фильтрат с первой и второй групп вакуум-фильтров			0,57	140,15
барометрическая или чистая вода				8,05
Всего			88,20	469,84
Ушло				
нижний сход на флотомашину	34,7	1,15	73,39	211,52
верхний сход на четвертую стадию	4,0	1,02	9,81	244,05
нижний сход на рециркуляцию			5,00	14,27
Всего			88,20	469,84
Флотомашина				
Поступило				
нижний сход с сепараторов пятой стадии	34,7	1,15	73,39	211,52
Ушло				
нижний сход на вакуум-фильтры	35,0	1,15	66,89	191,07
пенный сход на пятую стадию	31,8	1,00	6,50	20,45
Всего			73,39	211,52
Сгущение верхнего схода сепараторов второй стадии				
Поступило				
верхний сход со второй стадии	4,5	1,01	20,00	440,13
Ушло				
нижний сход на первую стадию	9,4	1,04	18,00	192,00
глютеновая вода			2,00	248,13
Всего			20,00	440,13

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Первое сгущение глютена				
Поступило				
верхний сход с первой стадии	2,1	1,01	13,81	666,76
Ушло				
нижний сход на второе сгущение	3,5	1,01	11,39	329,46
глютеновая вода			2,40	337,30
Всего			13,81	666,76
Второе сгущение глютена				
Поступило				
нижний сход с первого сгущения	3,5	1,01	11,39	329,46
Ушло				
глютен на обезвоживание	9,0	1,02	10,22	114,11
глютеновая вода			1,17	215,35
Всего			11,39	329,46
Обезвоживание глютеновой суспензии				
Поступило				
глютеновая суспензия со второго сгущения глютена	9,0	1,02	10,22	114,11
Ушло				
обезвоженный глютен в смеситель сырого корма	37,8	1,15	10,22	27,0
фильтрат на промывку мезги				87,11
Всего			10,22	114,11
Промывание крахмала на вакуум-фильтрах				
Первое промывание				
Поступило				
крахмальное молоко с флотомашин	35,0	1,15	66,89	191,07
промывная вода со второго промывания			0,15	70,15
фильтрат со второго промывания			0,10	40,00
Всего			67,14	301,22
Ушло				
крахмальное молоко на второе промывание	49,7	1,23	65,92	132,58
фильтрат в сепараторное отделение			0,80	98,09
промывная вода в сепараторное отделение			0,42	70,55
Всего			67,14	301,22

Продолжение

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Второе промывание				
Поступило				
крахмальное молоко с первого промывания	49,7	1,23	65,92	132,58
промывная вода с третьего промывания			0,11	70,11
фильтрат с третьего промывания			0,19	106,79
Всего			66,22	309,48
Ушло				
крахмальное молоко на третье промывание	49,7	1,23	65,80	132,34
промывная вода на первое промывание			0,15	70,15
фильтрат на первое промывание и в сепараторное отделение			0,27	106,99
Всего			66,22	309,48
Третье промывание				
Поступило				
крахмальное молоко со второго промывания	49,7	1,23	65,80	132,34
вода на разведение крахмала				106,30
вода на промывание крахмала				70,00
Всего			65,80	308,64
Ушло				
крахмал в производство	49,7	1,23	65,50	131,74
фильтрат на второе промывание			0,19	106,79
промывная вода на второе промывание			0,11	70,11
Всего			65,80	308,64

Станция производства и продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, кг/л	Количество на 100 кг безводного зерна, кг	
			сухих веществ	продукта товарной влажности
Баланс чистой воды в производстве				
Поступило				
с кукурузным зерном на замачивание				17,64
на промывание и разведение крахмала на вакуум-фильтрах				176,30
на разведение крахмала перед сепараторами третьей группы				8,05
Всего				201,99
Ушло				
с крахмалом вакуум-фильтров третьей группы				65,87
с глютеном на сушку кормов				14,55
с мезгой на сушку кормов				18,03
с зародышем на сушку				10,53
с экстрактом				89,01
при испарении во время замачивания				4,00
Всего				201,99
Баланс глютеновой воды				
Получено, кг				
В сепараторном отделении 337,30+ +215,35+248,13				800,80
В вакуум-фильтровом отделении для глютена				87,11
Всего	800,80+87,11=887,91			887,91
Израсходовано, кг				
на замачивание (при применении для подогрева замочной воды теплообменников) 131,1+20				151,1
на дробление зерна				94,90
на промывание зародыша				103,3
на приготовление сернистой кислоты для мельнично-ситового и сепараторного отделения				84,31
на промывание мезги				390,30
на пуск, остановку сепараторов, мойку роторов и др.				64,00
Всего				887,91

Таблица 27

Продукт	Содержание в зерне, %	Получение товарного продукта без учета потерь, кг	Потери, кг		Количество полученного товарного продукта с учетом потерь, кг	Содержание крахмала в продуктах, %	Содержание в товарном продукте, кг	
			общие	в том числе крахмала			крахмала	некрахмала
Крахмал	69,5	65,50	—	—	65,50	98,4	64,45	1,05
Зародыш	6,5	6,97	0,12	0,01	6,85	12,0	0,82	6,03
Крупная мезга	5,4	6,17	0,10	0,01	6,07	11,0	0,67	5,40
Мелкая мезга	2,6	3,80	0,12	0,05	3,68	38,0	1,40	2,28
Глютен	8,5	10,22	0,32	0,08	9,90	20,0	1,98	7,92
Экстракт	7,5	7,34	0,34	—	7,00	0,5	0,03	6,97
Итого	100,0	100,0	1,00	0,15	99,0		69,35	29,65
Потери					1,0		0,15	0,85
Всего					100,0		69,50	30,50

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СМЕШАННОГО КОРМА, КУКУРУЗНОГО ЭКСТРАКТА И КУКУРУЗНОГО МАСЛА

ПОЛУЧЕНИЕ СУХИХ КУКУРУЗНЫХ КОРМОВ

Сырьем для производства сухих кукурузных кормов являются отходы сырокрахмального производства — глютен, мелкая и крупная мезга, экстракт и отходы производства масла — жмых, а также кизельгуровая, угольная грязь паточного производства и отходы, получаемые в элеваторе. Химический состав этих продуктов (в % на абсолютно сухое вещество) приведен в табл. 28.

Из 100 кг сухой кукурузы получается следующее примерное количество побочных продуктов (в кг):

Экстракт	5,0—7,0
Глютен	8,0—10,0
Крупная мезга	6,0—8,0
Мелкая мезга	3,0—4,0
Жмых	2,5—3,0
Пелева	0,5—1,0
Всего	25,0—33

Белковую ценность корма определяют глютен и жмых. Мезга и пелева, содержащие значительное количество клетчатки, способствуют рыхлости корма, что повышает его усвояемость. Добавление кизельгуровой и угольной грязи не снижает ценности корма, так как количество ее обычно не превышает 2—4,0 % общего количества корма. Мезга, глютен и жмых обладают высокой питательной ценностью, количество переваримого белка в них колеблется от 12 до 23 %. Сухой кукурузный корм применяется для приго-

Таблица 28

Продукт	Крахмал	Белок	Жир	Зола
Крупная мезга	6—8	7—10	3—6	0,4—0,8
Мелкая мезга	25—40	15—20	3—6	0,6—1,2
Глютен	15—25	60—70	5—10	1—1,8
Экстракт	До 0,5	35—50	1—3	15—23
Жмых	12—20	24—30	8,0—15	1,4—2,2
Пелева	10—18	12—15	8—16	0,6—1,2
Кизельгуровая грязь	—	18—30	15—30	22—40
Угольная грязь	—	8—12	1—3	2—4

Продолжение табл. 28

Продукт	Клетчатка	Растворимые углеводы	Пентозаны	Прочие вещества
Крупная мезга	40—55	3—5	5—12	3—6
Мелкая мезга	15—25	4—7	5—10	2—5
Глютен	2—4	0,5—2	3—6	4—6
Экстракт	—	20—25	0,5—1	4—7
Жмых	15—22	5—10	5—10	2—4
Пелева	15—25	2—5	4—8	8—12
Кизельгуровая грязь	—	10—20	—	7—10
Угольная грязь	—	8—20	—	2—4

товления комбикормов, где он используется как составная часть или непосредственно для скармливания животным в смеси с другими кормами.

Схема производства сухих кормов. Схема производства смешанного кукурузного корма приведена на рис. 48.

Крупная и мелкая мезга при совместном промывании на дуговых ситах отцеживаются на центробежно-лопастных ситах типа ЦЛС до содержания 15—18 % СВ в цехе получения сырого крахмала, после чего поступает на обезвоживание — непрерывнодействующие пресса ВПНД-10. Кукурузный глютен концентрируют на центробежных сепараторах до содержания 8—14 % СВ, после чего обезвоживают на вакуум-фильтрах или фильтрах-прессах. Жидкий экстракт предварительно сгущают в выпарных установках до концентрации 35—40 %.

Предварительно обезвоженные компоненты корма через шнек-смеситель подают в питатель сушилки. В смесители вводят также фильтрационные осадки паточного и глюкозного производства, содержащие 35—36 % СВ, а также измельченный жмых и пелеву.

После смешивания этих компонентов влажность их должна быть не более 65 %. За счет рециркуляции части высушенного корма влажность сырого корма снижают до 55 %. При высушивании корма в пневматических сушилках одновременно происходит его измельчение в рыхлителе. Кукурузный корм после просеивания от крупных комков пневмотранспортом через магнитный сепаратор направляется в склад для временного хранения.

Принцип действия и устройство двухшнекового пресса ВПНД-10. Вал электродвигателя мощностью 10 кВт через редуктор или клиноременную передачу приводит во вращение наружный и внутренний валы, вращающиеся в противоположных направлениях вместе с насаженными на них шнеками, прессующими продукт, с частотой последних 3—6 об/мин.

Мезга поступает в бункер и перемешивается шнеками к выходному отверстию пресса; здесь установлен конус, с помощью которого регулиру-

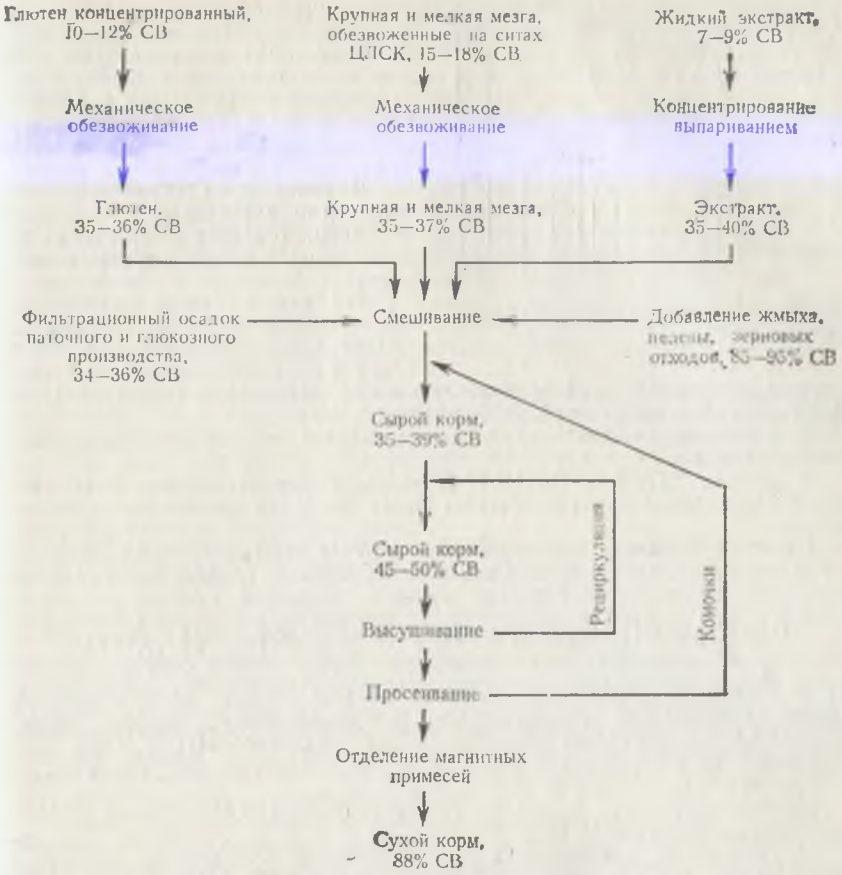


Рис. 48. Схема производства кукурузных кормов

ется зазор для выхода отпрессованной мезги. Величина зазора определяет давление, создаваемое в прессующей камере, ограниченной с одной стороны последним витком шнека, а с другой — конусом. Шнеки имеют наружный диаметр 520 мм и находятся в неподвижном перфорированном цилиндре (барабан). Отверстия в цилиндре имеют размер 1,5—3,0 мм. Зазор между цилиндром и наружным диаметром витков шнека 1,5 мм. Снаружи цилиндр накрыт кожухом. Максимальное давление, создаваемое в прессующей камере, 1,4 МПа.

Отпрессованная мезга выходит из камеры давления через зазор между конусом и цилиндром.

В зависимости от характера процессов, протекающих в рабочем пространстве шнекового пресса, можно выделить три зоны (рис. 49): загрузочную зону *А;* зону *Б,* в которой повышается давление; зону *В,* где снижается давление.

Схема пресса непрерывного действия. В загрузочной зоне пресса мезга перемешивается и выделяется значительное количество жидкости за счет сил трения мезги о шнек и бункерную часть пресса, а также возникает первоначальное давление P_0 за счет сил внутреннего трения, под которым мезга подается в следующую зону пресса. Здесь происходит более интен-

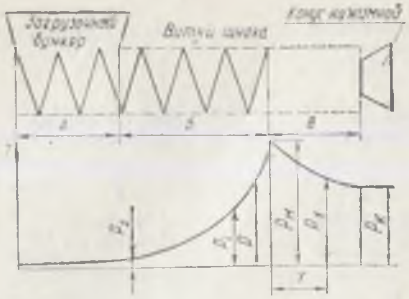


Рис. 49. Схема пресса непрерывного действия

сивное наращивание давления, которое продолжается до конца шнека. Прессуемая мезга обладает значительным предельным напряжением сдвига; она передвигается в каналах пресса в виде сплошного тела, испытывая трение о шнек и цилиндр пресса.

В конце зоны повышения давления, где заканчивается шнековый механизм, градиент давления по длине канала выше, чем на средних витках.

Так как в начале зоны повышения давления смесь крупной и мелкой мезги содержит до 75 % влаги и механические характеристики ее низки, давление в этой зоне увеличивается медленно и такого давления недостаточно для нормальной работы пресса.

Для увеличения давления в начале канала используют специальные устройства.

В прессах ВПНД-5, ВПНД-10 установлен дополнительный шнек, последний виток которого способствует более быстрому увеличению давления вначале.

Производительность шнековых прессов G (в кг/с) зависит от геометрической производительности шнекового механизма и коэффициента подачи:

$$G = \left(D_1^2 - D_2^2\right)\omega S \varphi \rho / 8 \quad \text{или} \quad G = F v \varphi \rho = \frac{\pi}{4}\left(D_1^2 - D_2^2\right)\frac{nS}{60}\varphi\rho,$$

где F — площадь поперечного сечения первого витка, м²; v — скорость осевого перемещения продукта, м/с; φ — коэффициент подачи пресса ($\varphi = 0{,}3 \div 0{,}8$); ω — угловая скорость шнека, рад/с (об/мин); S — шаг первого витка, м; ρ — плотность мезги, кг/м³; D_1 — диаметр выступа витка, м; D_2 — диаметр вала шнека, м.

Производительность пресса по сухим веществам 0,45—0,55 т/ч. Мощность электродвигателя 10 кВт.

На некоторых предприятиях при раздельном промывании крупной и мелкой мезги для механического обезвоживания мелкой мезги используют фильтр-прессы и вакуум-фильтры.

В вакуум-фильтрах используют тонкую фильтровальную капроновую ткань с отверстиями размером 0,1×0,1 мм, под которую подкладывают сетку с размером ячеек 1×1 мм. Для съема осадка применяют капроновые шнуры, размещая их на расстоянии 15 мм один от другого. Обезвоженная мезга имеет влажность до 65 %. Часовая производительность вакуум-фильтра при разрежении 40 КПа составляет 15 кг/м² по сухому веществу.

Механическое обезвоживание глютена. После концентрирования на сепараторах ПРП в две стадии кукурузный глютен поступает на обезвоживание в виде суспензии, содержащей 12—14 % СВ при содержании крахмала до 15—25 %.

Обезвоживание производят на вакуум-фильтрах или на фильтр-прессах в смеси с мелкой мезгой. Применяют вакуум-фильтры со сбегающим полотном, со шнуровым съемом осадка и со съемом осадка резиновым валиком, с которого глютен снимается ножом.

Продолжительность работы полотна от 16 до 32 ч (в среднем 22 ч/сут). Фильтрат концентрацией 0,6—1,0 % с вакуум-фильтров возвращается в цех сырого крахмала.

Производительность вакуум-фильтров с таким съемом осадка составляет 20—22 кг/м² сухих веществ глютена. Влажность лепешки 65—68 %.

Обезвоживание глютена успешно проводят на вакуум-фильтрах со сбегающим полотном, имеющих больший угол погружения барабана и мень-

шую частоту вращения (около 10,0 об/ч). Бесконечно сбегающее полотно, направленное движение которого осуществляется с помощью гуммированных натяжных валиков, пропускается через устройство для регенерации поверхности фильтрации водой. Часовая производительность вакуум-фильтра 25—30 кг/м² по сухим веществам глютена.

На некоторых предприятиях механическое обезвоживание глютена производится на фильтр-прессах совместно с мелкой мезгой. Соотношение глютена и мелкой мезги 1 : 4.

Влажность продукта после обезвоживания 65—68 %. Производительность 3—4 кг/м². Режим работы: фильтрация 3 ч, разгрузка 10 мин, сборка 10 мин, полный оборот 3 ч 20 мин. Обезвоживание мезги и глютена на фильтр-прессах можно заметно улучшить при фильтрации их в смеси с кизельгуровой и норитной грязью паточно-глюкозного производства.

Сушка кормов. Согласно техническим требованиям влажность кормов не должна превышать 12 %; при этом они хорошо транспортируются пневматическим транспортом, не слеживаются и довольно стойки при хранении.

Режим сушки следует вести так, чтобы не допускать подгорания корма, загрязнения его взвешенными веществами несгоревшего топлива. Пары жидкости выделяются с поверхности влажного твердого вещества, причем в начале влага испаряется с поверхности продукта, а из внутренних слоев она как бы подтягивается к поверхности.

По мере подсыхания продукта образуется корочка, которая затрудняет испарение влаги из внутренних слоев.

Для ускорения сушки высушиваемый продукт необходимо перемешивать, что достигается вращением сушильного барабана, внутри которого находятся лопатки (насадки). Лопатки устроены так, что они все время поднимают высушиваемый продукт и постепенно продвигают его к выходу. В результате поверхность высушиваемого материала увеличивается, что ускоряет процесс сушки. Сушка ускоряется также движением воздуха над высушиваемым продуктом вследствие того, что движущийся воздух уносит с собой выделяющиеся из влажного воздуха пары. Это достигается при помощи вентилятора, который просасывает обогревающие газы через сушильный барабан и удаляет влагу, выделившуюся из высушиваемого продукта. Скорость воздуха 3 м/с. Температура входящих газов 400—450 °С, выходящих 80—90 °С, разрежение 294—392 кПа.

Сушку кормов обычно производят по двум основным схемам: одноступенчатой и двухступенчатой. Наиболее рациональным является двухступенчатое высушивание — на двух последовательно работающих сушилках. При этом в первой сушилке корм подсушивается до влажности 25—30 % и выше в зависимости от распределения продуктов на первых и вторых сушилках, от температурных условий сушки и от производительности сушилок первой и второй групп; затем он подается для окончательной сушки во вторую сушилку. При двухступенчатой сушке коэффициент использования сушилки больше, чем при одноступенчатой.

Сушильная установка (рис. 50) состоит из шнека-питателя *1*, подающего сырой корм, сушильного барабана *2*, установленного на роликах с помощью двух бондажей *3*, камеры *4* для ввода сухого продукта, шнека *5* для отвода сухого продукта, вентилятора *6* и циклона (пылеуловителя) *7*.

Для измерения температуры входящих и отходящих газов устанавливают термометры, для контроля разрежения — тягомер.

Во избежание заноса в сушилку наружного воздуха шнек для отвода сухого продукта должен быть снабжен в конце разгрузочным клапаном.

На основе практических испытаний барабанов определены их основные параметры, которые приведены в табл. 29.

Пневматические сушилки для кукурузных кормов. Барабанные сушилки для высушивания корма имеют следующие недостатки: требуются большие производственные площади, продолжительный (60 мин) процесс высушивания корма, много транспортирующих механизмов, в условиях эксплуатации барабаны имеют неплотности в головной и хвостовых частях установки, происходит засасывание холодного воздуха из помещения и, следователь-

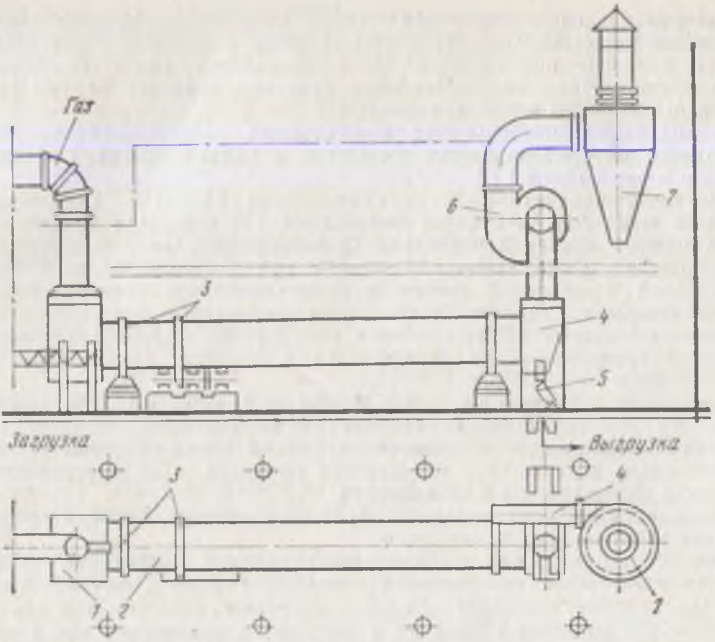


Рис. 50. Установка для сушки кормов

но, понижается температура воздуха на входе и выходе сушилки, в результате чего нарушается режим сгорания топлива в топках.

Отмеченные недостатки барабанных сушилок устраняются при эксплуатации пневматических сушилок.

Устройство пневматической сушилки ПСГ-50А для сушки кормов схематично показано на рис. 51. Высушивание корма осуществляется в одну ступень с рециркуляцией (возврат) до 50 % сухого корма.

Таблица 29

Параметры	Ступень сушки	
	I	II
Влажность материала, %		
до сушки	62—65	25—30
после сушки	25—30	11—13
Производительность сушилки, кг/ч		
по поступающему в сушилку материалу	2500—3000	2900—3000
по выходящему из сушилки материалу	1400—1500	2300—2500
Съем влаги в час, кг/ч	1100—1300	900—1000
Температура газов, °С		
на входе в сушилку	400—420	400—450
на выходе из сушилки	90—110	130—140
Удельный вес газов, приходящихся на 1 кг испаренной влаги, кг	11,5—11,7	14,0—15,0
Разрежение перед сушильным барабаном, Па	245	245

Основные узлы сушилки ПСГ-50А: смеситель-питатель *1* объемом 6—8 м³; ротор-рыхлитель *2* с электродвигателем мощностью 55 кВт (частота вращения 750 об/мин); сушильная труба *3* диаметром 1200 мм; циклоны *4* и *5* диаметром 1000 мм — 6 шт., бункера *6* с шлюзовыми затворами *7* и *8*—*2* шт.; дымосос *9* № 15,5 с электродвигателем мощностью 75 кВт; n= =730 об/мин; Q=63000 м³/ч.

На бункерах имеются противовзрывные клапаны *10*. Сушка кормов происходит следующим образом.

Газы температурой 420—450 °С и сырой корм влажностью 50 % (после рециркуляции) поступают в рыхлитель, и в сушильной трубе происходит активный контакт измельченного сырого корма с теплоносителем газом. Скорость воздуха в трубе около 15 см/с. Сухой корм отделяется от корма в шести циклонах, газ отводится в атмосферу дымососом.

Сухой корм поступает в два бункера: из одного возвращается в смеситель сушилки, из другого — на просеивание.

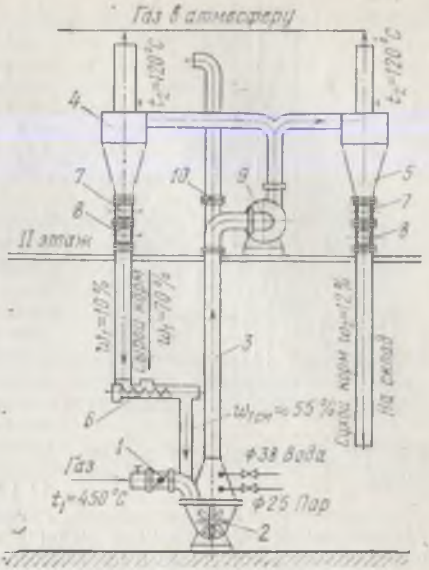


Рис. 51. Схема пневматической сушильной установки для сушки кукурузного корма с высокой начальной влажностью

Технологические параметры пневматической сушилки для кормов типа ПСГ-50А приведены ниже.

Производительность	
по товарному корму, т/сут	50
по испаренной влаге, кг/ч	4200
Температура газов, °С	
перед сушилкой	400—450
отходящих	150—180
Влажность корма, %	
сырого	70
после питателя	50—55
товарного	16—12

Для предотвращения возникновения взрыва пыли в момент пуска и остановки сушилки в корпус рыхлителя подведены пар и вода.

Пневматические сушилки хорошо разрыхляют корм, высушивают в одну ступень; непрерывность позволяет автоматизировать технологический процесс.

Измельчение корма. Измельчение корма производят на молотковых дробилках (рис. 52). В чугунном корпусе *1* вращается барабан *2*. Последний по ширине имеет несколько секций, образуемых дисками. Между этими дисками на стальные шпильки надеты пластинки (молотки) *3*, которые могут свободно вращаться. В нижней части чугунного корпуса *1* имеется решетка *4*, а в верхней части — рифленая рубашка *5*. Корм поступает в дробилку через воронку *6* и, проходя между вращающимися пластинками и рифленой поверхностью, измельчается. Измельчение корма в дробилках такого типа происходит в результате удара молотков по частицам и удара частиц, приобретающих скорость под действием центробежной силы, о рифленую поверхность.

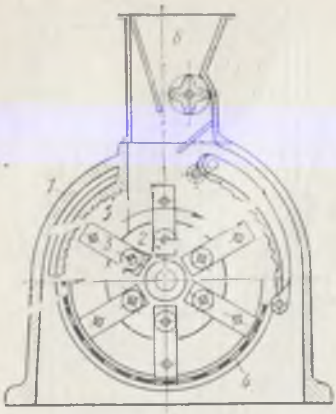


Рис. 52. Дробилка для сухого корма

Частицы, имеющие размер менее 5 мм, проходят через отверстия решетки, затем их направляют на просеивание. Просеивание кормов осуществляют на центробежных буратах. Бурат заключают в металлический корпус, присоединенный к аспирации для отсоса пыли, и обтягивают сеткой с отверстиями диаметром 5 мм.

Транспортирование, хранение и упаковка кормов. В пределах завода транспортирование производится обычными или скребковыми транспортерами, шнеками и элеваторами. Подача корма в склады, расположенные за пределами завода, осуществляется нагнетательным или всасывающим пневмотранспортом. Преимущество этого вида транспорта заключается в том, что он позволяет подавать корма на значительные расстояния, кроме того, дополнительно подсушивает их на 1,5—2 %, что позволяет производить сушки до 13,5—14,4 %. Это повышает производительность сушилок корма. Применение всасывающего пневмотранспорта устраняет излишнее пылеобразование в цехе, создает необходимые санитарные и противовзрывные условия работы.

При применении всасывающего пневмотранспорта сухой корм непосредственно из бурата по приемной воронке засасывается в воздухопровод, воздушно-кормовая смесь попадает в циклон, установленный над складом. Из циклона корм поступает в силос, а пыль и воздух вентилятором направляются в пылевую камеру.

К недостаткам описанного вида пневмотранспорта относится нерациональный расход воздуха при подаче корма (200 м³ на 10 т корма), т. е. большие затраты для последующего улавливания пыли (объем пылевой камеры не менее 80 м³).

Более целесообразно применение пневмотранспорта, работающего под давлением в закрытой системе, где сухой просеянный корм через шлюзовой затвор вместимостью до 15 л поступает в трубопровод, в который подается сжатый воздух давлением 0,2 атм. Через циклоны корм транспортируется в силосные банки.

Расход воздуха около 3000 м³ на 1 т сухого корма и электроэнергии до 0,3 кВт на 1 г корма при диаметре трубопровода 75—100 мм и скорости движения смеси в трубопроводе 10—15 м/с.

Корм может храниться на складе или в специальных силосах, реже в мешках. Хранить корм насыпью рационально в силосах элеваторного типа, в хранилищах, оборудованных транспортными приспособлениями для механизированной погрузки корма. Следует предусматривать возможность перекачивания корма в случае необходимости из банки в банку. Корм из банки самотеком поступает в расположенные ниже шнеки, которые подают его в нории. Нория направляет корм на магнитный сепаратор для выделения посторонних примесей в виде ржавчины, окалины, отскочивших мелких металлических частиц. Согласно нормам в 1 т корма ферромагнитных примесей не должно быть более 50 г. На небольших предприятиях применяют подковообразные постоянные магниты, устанавливаемые в цехе перед буратом. Лучшее отделение железных примесей производится на непрерывнодействующих электромагнитных сепараторах.

Рис. 53. Электромагнитный сепаратор

Изображенный на рис. 53 электромагнитный сепаратор является одновременно и ведущим

барабаном ленточного транспортера, перемещающего корма. Этот барабан состоит из четырех катушек *1* и пяти стальных дисков *2*, которые поочередно закреплены на валу с приводным шкивом *4*, причем катушки снаружи покрыты латунными кольцами. Концы проводов катушек соединены последовательно и выведены наружу через полый вал к контактным кольцам, подключенным к сети постоянного тока напряжением 120В. Ток в катушках имеет такое направление, что стороны соседних катушек, обращенные одна к одной, имеют одинаковую полярность. Стальные диски при этом хорошо намагничиваются и притягивают через прорезиненную ленту *3* стальные предметы, которые при выходе из магнитного поля сваливаются в сторону от перемещаемого материала. Частота вращения барабана 35—40 об/мин, длина барабана 0,6 м, диаметр 0,3 м. Мощность 1,7 кВт. Производительность по корму до 6 т/ч.

Корм, отделенный от железных примесей, поступает в вагон или автомашину.

Сухой кукурузный корм применяется для приготовления комбикормов на комбикормовых заводах или же непосредственно скармливается скоту. Качественные показатели вырабатываемых сухих кукурузных кормов должны соответствовать требованиям ОСТ-18-291—76.

По внешнему виду корм представляет собой серую или серо-желтую рассыпчатую массу, неплесневелую, без посторонних примесей. Он не должен иметь плесневелого или другого запаха.

Согласно техническим условиям корма должны иметь показатели, приведенные в табл. 30.

Таблица 30

Показатели	Корм	
	без экстракта	с экстрактом
Влажность, %, не более	12,0	12,0
Содержание сырого протеина, %, не менее	18,0	19,0
Кислотность по водной вытяжке, град, не более	6,0	5,6
Содержание песка, %, не более	0,7	0,7
Содержание металлопримеси, мг/кг (г на 1 т кормов), не более	50	50

Кукурузные корма кроме белковых веществ включают 18—25 % крахмала, 7—9 % жира, 1—4 % золы и другие компоненты.

При производстве корма расходуется следующее количество вспомогательных материалов на 1 т сухих веществ: фильтр-прессная ткань типа диагонали или плотная мешковина — 0,3—0,35 м², ткань для вакуум-фильтров типа бязи — 0,2 м², сетка джутовая для вакуум фильтров — 0,05 м², проволока — 0,003 кг, сода кальцинированная для мытья салфеток — 2,0 м³. Расход электроэнергии до 100 кВт·ч условного топлива.

ПОЛУЧЕНИЕ КУКУРУЗНОГО ЭКСТРАКТА

Жидкий экстракт концентрируют под разрежением на выпарных установках до содержания 30—40 % СВ и используют в качестве компонента при производстве кормов, а при реализации потребителю (дрожжевой, микробиологической, медицинской промышленности) уваривают его до содержания 48—50 % СВ.

Выпаривание экстракта производят в двух- или трехкорпусных установках, работающих под разрежением.

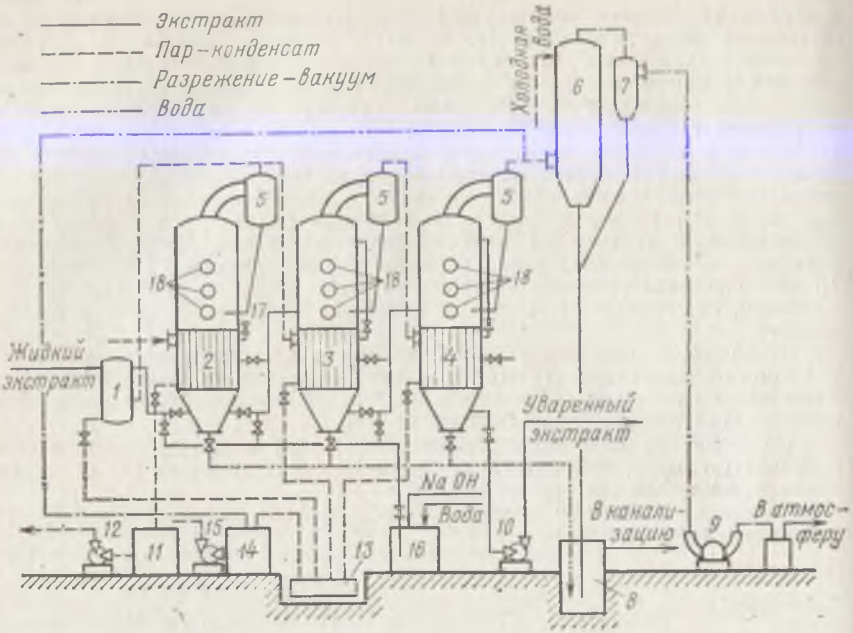


Рис. 54. Схема трехкорпусной выпарной установки

На предприятиях для концентрации экстракта широко распространены выпарные установки, укомплектованные аппаратами типа ВВ.

Выпарная станция состоит из нескольких выпарных аппаратов и вспомогательного оборудования: конденсатора, насосов продуктовых, циркуляционных водяных, воздушных, различных сборников, конденсатоотводчиков и предварительных подогревателей. Схема работы выпарной станции определяется несколькими показателями, из которых основными являются производительность по упаренной влаге из экстракта в единицу времени, параметры греющего пара, конструкция нагревательной камеры аппаратов, экономия в расходе пара, воды и электроэнергии.

Чистка поверхности нагрева выпарных аппаратов часто занимает много рабочего времени. Поэтому схема монтажа выпарной установки должна обеспечить возможность выключения на чистку любого корпуса установки без прекращения ее работы.

Схема трехкорпусной выпарной установки приведена на рис. 54.

Как видно из схемы, жидкий экстракт после декантации поступает в подогреватель *1*, обогреваемый экстрапаром с I корпуса выпарной установки *2*. Конденсат из подогревателя удаляется в коллектор сокового конденсата *13*, а затем в сборник *14* и насосом *15* перекачивается в цех сырого крахмала. Подогретый до 80—85 °С жидкий экстракт передается в I корпус выпарки *2*, затем во II корпус *3* и далее в III корпус *4*, из которого насосом *10* окончательно уваренный экстракт направляется в сборник готового уваренного экстракта. I корпус выпарной установки обогревается паром давлением (избыточным) 0,1—0,2 МПа. Образующийся конденсат поступает в коллектор сокового конденсата *13*, затем в котельную. Полученный в I корпусе при кипении экстракта пар, пройдя зонт-отражатель для улавливания крупных частиц неуваренного экстракта, расположенный внутри верхней части надсокового пространства, направляется затем по трубе в специальную ловушку *5* для мелких частиц экстракта, которые далее возвращаются из нее в среднюю часть I корпуса выпарной установки. Наблюдение за

процессом уваривания экстракта производится через смотровые стекла *18*. Образующийся в паровой камере воздух удаляется через оттяжку *17* в атмосферу.

Пар I корпуса используется в качестве теплоносителя II корпуса *3*, часть его (экстрапар) используется для подогрева жидкого экстракта в подогревателе *1*. Соковый пар II корпуса выпарной установки поступает в паровую камеру III корпуса *4*, а конденсат удаляется в коллектор сокового конденсата *13*.

Соковый пар III корпуса выпарной установки направляется в барометрический конденсатор *6*, где смешивается с холодной водой. Барометрическая вода собирается в сборнике *8*, находящемся ниже уровня конденсатора не менее чем на 11 м, а затем насосом подается на градирни для охлаждения.

Охлажденную воду повторно используют на конденсаторе выпарной установки.

Воздух, содержащийся в воде и паре, из конденсатора *6*, пройдя ловушку *7*, выкачивается вакуум-насосом *9* и удаляется в атмосферу.

Строго по графику производится химическая чистка выпарной установки. Для этого в сборник *16* задают необходимую каустическую соду и чистую воду, которые разрежением засасываются в соответствующие корпуса выпарной установки.

Основные параметры, выдерживаемые по отдельным корпусам выпарной установки, приведены в табл. 31.

Таблица 31

Параметры	Корпус выпарной установки		
	I	II	III
Температура, °С	90—95	75—80	55—60
Остаточное давление, МПа	0,08—0,09	0,04—0,05	0,05—0,06
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)	2050	1350	560

Химическая чистка поверхностей нагрева осуществляется в следующем порядке: после спуска экстракта проводят кипячение водой при разрежении в течение 1—2 ч (в случае необходимости повторяют кипячение); затем проводят кипячение 2,5 %-ным раствором едкого натра, контролируя его содержание индикатором, и в случае необходимости добавляют в выпарную установку свежие порции едкого натра. Выварку проводят в течение 2—3 ч. По окончании варки с едким натром раствор удаляют и проводят выварку выпарки с водой.

Перед пуском выпарной установки в работу открывают оттяжки на II и III корпусах, создают разрежение во всех корпусах и заполняют выпарную установку жидким экстрактом. Во время работы выпарной установки необходимо следить за разрежением (поверхности нагрева должны быть заполнены экстрактом), подачей пара, отводом конденсата и отводом уваренного экстракта.

При выпаривании экстракта на 1 т товарного экстракта 50 %-ной влажности расходуется 40 %-ной каустической соды для выварки 1—1,5 кг, пара для уваривания 12—13 т, воды на конденсатор и хозяйственные нужды 150—200 м³, электроэнергии 110—130 кВт·ч.

Основные данные выпарных аппаратов следующие: диаметр корпуса от 600 до 2000 мм, длина трубок от 2500 до 3600 мм, площадь поверхности нагрева от 25 до 250 м². Сечение трубок 38×35 мм. Высота надсокового пространства от 600 до 4000 мм.

По внешнему виду готовый экстракт имеет желто-коричневый цвет, содержание сухих веществ в нем не менее 48 %, азотистых веществ — не

менее 30 %, золы — не более 24 %, сернистого газа — не более 0,5 %, в пересчете на молочную кислоту в % к сухому веществу экстракта не более 17.

ПОЛУЧЕНИЕ КУКУРУЗНОГО МАСЛА

Сырьем для получения масла является зародыш, полученный в сыркрахмальном цехе. Зародыш, поступающий на выработку масла, имеет следующий химический состав (в %): жира 50—55, белка 13—18, углеводов около 10, золы около 1,5, клетчатки 15—18, растворимых веществ около 2. Зародыш должен удовлетворять требованиям, которые приведены в табл. 32.

Таблица 32

Показатели	Зародыш	
	сырой	сухой
Влажность, %, не более	65	6,0
Содержание мелевы и кашки, %, не более	18,0	10,0
Количество дробленого зародыша, %, не более	25,0	15,0
Количество испорченного зародыша, %, не более	—	2,0
Содержание жира в сухом веществе, %, не менее	48,0	48,0

Сушка зародыша. Зародыш в цехе сырого крахмала после трехкратной промывки на дуговых ситах обезвоживается на механических прессах ВПНД-10. Производительность пресса до 5 т/ч по зародышу, влажность входящего зародыша 80, выходящего — 55—60 %. Высушивание зародыша производится на барабанных сушилках или ленточных типа ПКС-45, ПКС-90.

Основным условием сушки зародыша является температура его при выходе из сушилки, которая не должна превышать 90 °С. При более высокой температуре зародыша повышается кислотность масла, что ухудшает его качество, а также его извлечение.

Сушилка ПКС-90 имеет сварной металлический корпус, внутри которого расположены пять ленточных транспортеров один над другим.

Зародыш загружается транспортером на верхнюю ленту, последовательно перемещается с одной ленты на другую сверху вниз и выходит с нижней ленты со стороны, противоположной месту поступления продукта в сушилку. Для подогрева воздуха между лентами транспортеров установлены воздухоподогреватели, каждый из которых имеет свой подвод пара и отвод конденсата. Воздух поступает под нижнюю ленту, а затем последовательно проходит через воздухоподогреватели и через все выше расположенные ленты. Влажный воздух удаляется через аспирационные камеры. Пятиленточная сушилка ПКС-90, выпускаемая Щебекинским машиностроительным заводом, имеет производительность по сухому зародышу 0,05 кг/с (5 т в сутки).

Достоинствами ленточной сушилки ПКС-90 является возможность изменять режим сушки в зависимости от условий работы.

Барабанные сушилки длиной 8,0 м и диаметром 1,6 м имеют привод с электродвигателем мощностью 7,0 кВт. Частота вращения барабана сушилки 1,6—2,0 об/мин. Влагонапряжение сушильного пространства до 60 кг/(м^3·ч).

В качестве теплоносителя в газовых сушилках используют дымовые газы, получаемые при сжигании мазута или природного газа. Сушку проводят в две ступени. Температура газов, поступающих в сушилку, не превышает 400 °С. В первой сушилке зародыш высушивается до 15—20 % влажности, а во второй — до 1,5—2,5.

Во время высушивания в циклон уносится часть легких оболочек лепестка (от 3 до 10 % от массы зародыша). Если лепесток имеет больше 8 % масла, его следует добавлять к зародышу перед вальцовкой.

Количество лепестка в зародыше является очень важным фактором, влияющим на извлечение масла на маслопрессах.

Количество лепестка, %	1	2	3	5	6,5	9,0	10,5
Содержание масла, %	13,46	9,54	8,78	8,14	6,98	8,58	9,9

Наиболее благоприятно протекает работа маслопресса при содержании лепестка 6,5 %. Меньшее и большее содержание пелевы увеличивает потери масла. Это объясняется тем, что при прессовании лепесток является дренажем и оптимальное количество его составляет 6,5—7 % лепестка; при увеличении количества теряется много масла с самим лепестком.

За рубежом используют паровые трубчатые вращающиеся сушилки. Производительность паровой сушилки при площади поверхности нагрева 350 м² составляет 250 т/сут по перерабатываемому зерну товарной влажности.

Зародыш высушенный должен иметь следующий химический состав: (по сухому веществу зародыша) (в %): жир — 55, азотистые вещества 12—19, крахмал 8—12, зола 0,7—1,2, клетчатка 15—18, пентозаны 6—8, прочие вещества 2—3.

Очистка и измельчение зародыша. Высушенный зародыш из сушилки подается на сотрясательное сито или призматические бураты, обтянутые сеткой с ячейками, диаметром около 7 мм, для отделения крупных примесей.

Примеси с бурата направляются в корма. Зародыш после бурата поступает в бункер через весы, проходит магнитный сепаратор для отделения ферропримесей и направляется для измельчения на вальцы. При этом должно быть разрушено примерно 80 % клеток.

Вальцовый станок представляет собой станину, на которой один над другим установлены пять валков. Валки, изготовленные из специального чугуна, насажены на стальные оси. На концах первой, третьей, пятой осей имеются звездочки. Подшипники верхнего валка прижимаются пружинами, которые регулируют силу нажатия. Привод нижнего валка осуществляется от электродвигателя через редуктор.

Производительность такого станка по сухому зародышу свыше 35 т/сут. Мощность электродвигателя 28 кВт. Частота вращения валков 150 об/мин. Цель измельчения зародыша — разрушить оболочки маслосодержащих клеток для более успешного в дальнейшем увлажнения и подогрева мятки, что способствует повышению выхода масла. Обычно разрушают около 80 % клеток, создавая средний помол, при котором через сито с отверстиями диаметром 1 мм проходит 50 %. Мелкий и крупный помолы снижают извлечение масла. Зародыш поступает в воронку и рифленым питательным валиком равномерно подается по фартуку в промежуток между валками. Далее масса поступает в пространство между следующей парой валков и т. д. Для предупреждения прилипания массы к валкам устанавливаются ножи.

Работа вальцового станка зависит от равномерности подачи массы и качества обработки поверхности валков, а от этого в свою очередь зависит величина угла трения по их рабочей поверхности. Например, для чугунных гладких полированных валков угол трения 12°, для матовых — 15°. Поэтому состояние поверхности валков необходимо периодически проверять и через 2—3 мес работы шлифовать валки.

Подготовка мятки к прессованию и извлечению масла. Мятку увлажняют и подогревают. Практика работы на маслопрессах показала, что оптимальная температура мятки должна быть 95—105 °С, а влажность 2,5—3 %. Часть белковых веществ под влиянием нагрева и увлажнения денатурируется, что позволяет получать масло, менее загрязненное белками. Сами же белковые вещества под влиянием давления спрессовываются и выводятся со жмыхом.

Подготовка мятки для первого прессования производится в специальной вертикальной шестичанной жаровне, устанавливаемой непосредственно над маслопрессами.

Чаны жаровни расположены один над другим, их днища и боковые стенки снабжены паровой рубашкой.

Жаровня устроена следующим образом. Через все чаны проходит вал, на котором закреплены ножи мешалки. Продукт подают в жаровню через шнек. Обработанную мятку выводят из нижнего чана жаровни через выходное отверстие. Частота вращения вертикального вала с мешалками 26 об/мин.

Каждый чан снабжен лазом для осмотра, перепускным клапаном, карманом для отвода паров воды, вводом пара и отводом конденсата. В верхнем чане имеется вспрыск воды для увлажнения мятки до влажности 7—8 %. Выпарную влагу удаляют из чанов с помощью аспирации. После жаровни мятка влажностью 4,5—5,5 % при температуре 85—90 °С направляется на форпресс для предварительного отжатия масла, где отделяется до 75 % общего количества масла; жмых с него уходит с содержанием 20—25 % жира.

Полученный жмых шнеком и элеватором подается в бункер, из него на дробилку и далее на вальцовый станок для измельчения. Масло поступает в сборник, из которого перекачивается насосом на вибрационное сито (фузоотделитель).

Для отделения от масла взвешенных частиц может быть использована осадительная шнековая центрифуга с непрерывной выгрузкой осадка марки ОГШ. При производительности около 2 т/ч такая центрифуга обеспечивает снижение содержания отстоя в отрабатываемом масле с 18,5 до 1,2 %.

Частично очищенное масло поступает в сборник. Из него перекачивается насосом в фильтр-пресс для первой фильтрации.

В отфильтрованном масле количество отстоя не должно превышать 0,2 %.

По желобу фильтрованное масло поступает в сборник. Затем насосом подается в холодильник. Охлажденное масло поступает на фильтр-пресс для вторичной фильтрации.

На вторую фильтрацию подают до 1 % к количеству масла фильтрующего порошка (кизельгура, перлита), который перед началом фильтрации наносится на ткань. После завершения цикла работы фильтра-пресса осадок продувают воздухом и пресс разгружают, а фильтрационный осадок реализуют в качестве корма. Потери масла с осадком составляют 0,3—0,4 % общего количества масла.

Продолжительнсть цикла работы пресса 7—8 ч. Избыточное давление на прессе не более 0,4 МПа.

Измельченный жмых, пройдя электромагнитный сепаратор, шнеками подается в жаровни шнек-прессов типа ЕП ЕТП-20. Приготовленный материал прессуется.

Агрегат состоит из шестичанной жаровни и шнек-пресса. Обработка материала в верхнем чане производится пароводяной смесью. Шнек-пресс ЕП, как и форпресс ФП, имеет четырехступенчатый вал и такой же зеерный барабан. Изменена только ширина зазоров по ступеням: на первой — 0,7, на второй — 0,35, на третьей — 0,25, на четвертой — 0,15 мм. Мощность электродвигателя агрегата ЕП—14,5 кВт при частоте вращения 960 об/мин.

Пресс приводится в действие через клиновые ремни. Частота вращения шнека 5 об/мин. Давление внутри пресса 40 МПа.

Отжатое масло вторичного прессования поступает в бак-сборник, из которого перекачивается на вибрационное сито, а затем на очистку. Профильтрованное масло, пройдя счетчик, перекачивается насосом на склад в баки для хранения.

Качество нерафинированного кукурузного масла. Качество нерафинированного кукурузного масла регламентируется ГОСТ 8808—73. Отгружаемое на предприятия масло-жировой промышленности масло должно удовлетворять следующим требованиям стандарта:

Запах и вкус	Свойственный маслу
Прозрачность — масло над отстоем после отстаивания в течение 24 ч при 20° С	Прозрачное
Цветность, мг йода на 100 мл раствора, не более	100
Кислотность, мг КОН, не более	5,0
Влага и летучие вещества, %. не более	0,3
Отстой, % к массе, не более	0,2
Количество фосфатидов, %, не более	1,0
Неомыляемые вещества, %, не более	186—198
Число омыления	111—133
Йодное число	918—927

Кукурузное масло с кислотным числом выше 5 направляют для переработки на гидрогенизационные заводы, а масло, соответствующее стандарту, — на рафинационные заводы для производства пищевого кукурузного масла.

Расход вспомогательных материалов, пара, воды и электроэнергии. На производство 1 т нерафинированного масла расходуется следующее количество их:

Вода на увлажнение зародыша, мойку салфеток, холодильник и хозяйственные нужды, м³	1,8
Пар для подогрева мятки, т	0,4
Топливо для сушки зародыша, т условного топлива	1,4
Электроэнергия, кВт·ч	130—140
Ткань фильтрования, м²	0,7
Сода кальцинированная для мойки салфеток, кг	0,4
Бязь льняная, м²	0,5

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО КРАХМАЛА

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Технологическая схема производства сухого крахмала включает следующие производственные процессы: очистку сырого крахмала от посторонних примесей, механическое обезвоживание на центрифугах или вакуум-фильтрах, высушивание, охлаждение, просеивание, упаковку, взвешивание, маркировку и складирование его.

Перед сушкой привозной картофельный крахмал подвергают дополнительной тщательной очистке. Схема очистки включает приготовление крахмальной суспензии, ситование ее с целью отделения грубых примесей, рафинирование, удаление песка на песковых гидроциклонах и концентрирование суспензии на осадительных центрифугах. Очищенная таким образом крахмальная суспензия направляется на механическое обезвоживание и далее — на сушку.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ КРАХМАЛА

Обезвоживание крахмала до стандартной влажности, т. е. картофельного до 20 %, а кукурузного до 13 %, производится последовательно двумя способами: механическим и тепловым.

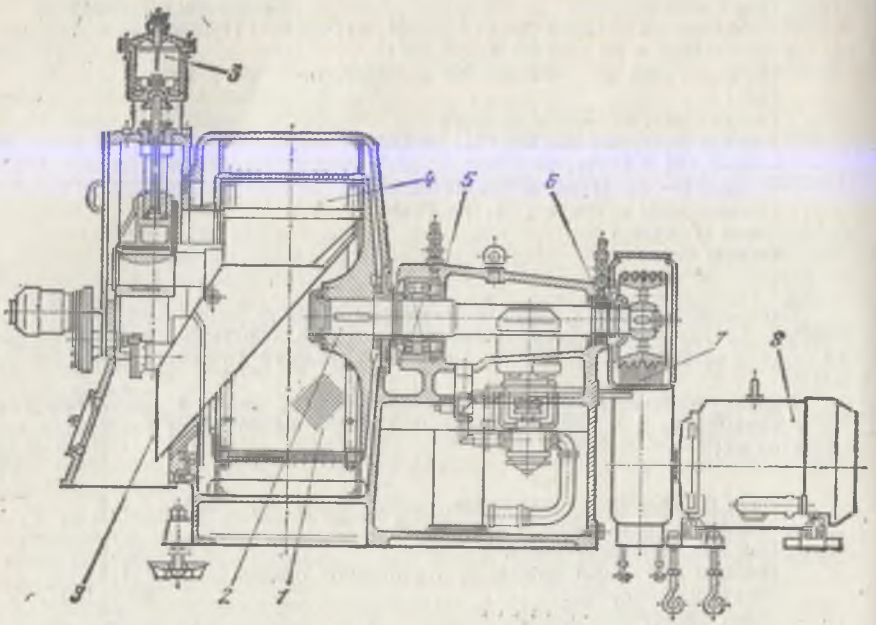


Рис. 55. Центрифуга марки ФГН-1254-К7

Механическим способом отделяют воду от зерен крахмала путем использования центробежной силы на центрифугах до остаточной влажности в картофельном крахмале 36—40 %, в кукурузном — 35—37, а при применении вакуум-фильтров — только до 40—42 %. Эта часть влаги поверхностная, легко удаляемая. Другая часть влаги сорбирована, связана с крахмалом более прочно и не может быть удалена механическим способом. Следовательно, извлечь ее легче при действии сушильного агента, превращающего воду в пар, который и удаляется вместе с отработанным воздухом. На крупных картофельных и кукурузокрахмальных заводах применяются горизонтальные центрифуги марки ФГН-903-К, ФГН-125К-7, ФГН-1800-К-1 и ФГН-2001-К-1 в зависимости от мощности завода, а на крахмальных заводах средней мощности— фильтрующие центрифуги периодического действия с вертикальным валом и разгружающим ножом. Эти центрифуги хотя и являются машинами периодического действия, но в них применяют механические приспособления для выполнения процессов наполнения, обезвоживания и выгрузки отфугованного крахмала.

На рис. 55 представлена в разрезе центрифуга марки ФГН-1254-К7. Конструкция ее состоит из следующих основных узлов и частей: ротора *1*, который консольно посажен и закреплен на валу *2*, гидравлического привода для перемещения ножа, удаляющего фугованную порцию крахмала *3*, ножа для среза

обезвоженного крахмала *4*, корпусов шарикоподшипника *5*, шарикоподшипников *6*, клиноременной передачи *7*, электродвигателя *8*, желоба для вывода отфугованного крахмала из центрифуги *9*. Крахмальная суспензия заливается внутрь ротора барабана через трубу с щелевидными отверстиями из мерника, установленного над центрифугой. Барабан заполняется до появления перелива из него. Во время перелива при вращении барабана более легкие примеси, т. е. остатки мезги, скоагулированного белка и другие примеси удаляются с переливом, а крахмал, как более тяжелый по удельной массе, осаждается на внутренней кольцевой части барабана. После удаления жидкости через фильтрующую перегородку крахмал в барабане послойно срезается перемещающимся ножом и сбрасывается в вибрирующий желоб для вывода фугованного крахмала. Управление работой центрифуги автоматизированное.

ВЫСУШИВАНИЕ КРАХМАЛА

После удаления механическим путем свободной влаги в крахмале еще остается гигроскопическая влага, пронизывающая всю массу крахмальных зерен. Эта влага распределена равномерно. Удалить ее можно только высушиванием. При этом процессе количество абсолютно сухого вещества остается неизменным, общее же уменьшение массы до сушки и после нее объясняется исключительно удалением влаги. Очень часто требуется определить количество испаренной воды, когда известны лишь начальная и конечная влажность продукта. В этом случае количество удаленной влаги W (кг) подсчитывается по формуле

$$W = G[1 - (100 - w_1)/(100 - w_2)],$$

где W — количество удаленной влаги, кг; G — масса высушиваемого материала, кг; w_1 — содержание влаги в сыром материале, %; w_2 — содержание влаги в сухом материале, %.

Например, при высушивании 100 кг кукурузного крахмала с начальной влажностью 40 % до конечной 13 % удаляется следующее количество воды:

$$100[1 - (100 - 40)/(100 - 13)] = 31{,}03 \text{ кг}.$$

Нет необходимости высушивать крахмал до полного удаления воды, так как в этом случае в связи с гигроскопичностью он вновь поглотит часть влаги из воздуха. Такое поглощение будет продолжаться до тех пор, пока упругость водяных паров в воздухе и на поверхности крахмала не сравняется.

В качестве сушильного агента применяется воздух. Он используется тем лучше, чем больше нагрет и чем теснее соприкасается с высушиваемым продуктом.

Рассмотрим подробнее, что происходит с влагой крахмала, которая должна быть поглощена подогретым воздухом.

В крахмале при его высушивании происходят одновременно три процесса:

1) теплообмен между теплым воздухом и высушиваемым материалом — крахмалом. Крахмал при этом нагревается, теплый воздух охлаждается;

2) испарение влаги с поверхности крахмала за счет приобретенного от воздуха тепла. Влажность крахмала снижается, температура остается вначале постоянной; влагосодержание воздуха увеличивается. Процесс этот зависит от скорости движения теплого воздуха и толщины слоя крахмала;

3) внутреннее перемещение влаги — диффузия внутри зерен крахмала. Диффузия происходит вследствие разницы концентраций влаги на поверхности и внутри крахмальных зерен и оказывает большое влияние на процесс сушки.

Чем выше температура воздуха, подаваемого в сушилку, тем больше его влагопоглотительная способность и тем быстрее идет процесс сушки. Однако для каждого высушиваемого продукта, в том числе и для крахмала, имеется граница температуры, выше которой нельзя переходить без опасения порчи этого продукта. Так как при температуре около 60 °С крахмальные зерна в присутствии влаги начинают набухать, а при температуре около 65 °С превращаются в клейстер, нагревание его в начале высушивания, когда в нем еще содержится достаточное количество воды, выше 55 °С недопустимо. После удаления основной части влаги температура продукта в сушилке может быть повышена, но незначительно, как как нагревание сухого крахмала приводит к снижению его качества — уменьшению вязкости клейстера и потере люстра. К таким же результатам приводит и излишняя длительность процесса сушки. Поэтому параметры теплого воздуха, его количество и скорость прохождения через сушильную камеру рассчитываются таким образом, чтобы процесс проходил в пределах допустимых температур и возможно быстрее. Высушивание крахмала при излишне высокой температуре в начале процесса приводит также к образованию в нем так называемой крупки, которая представляет собой заклейстеризовавшиеся и склеившиеся крахмальные зерна. Эта крупка не может быть превращена в товарный продукт и является отходом производства.

Сушильные установки для крахмала состоят из четырех основных элементов:

1) калорифера, в котором очищенный через фильтр воздух подогревается до заданной температуры (обычно паром соответствующего давления);

2) сушильной камеры, где происходит смешивание подогретого воздуха с влажным крахмалом, подогрев крахмала, выделение и удаление образующегося пара;

3) вентиляторной установки для подачи и удаления воздуха в системе высушивания;

4) разделительного устройства для осаждения крахмала и

улавливания крахмальной пыли из отработанного, выходящего из сушилки воздуха.

Для сушки крахмала применяются в основном сушилки непрерывного действия: пневматические и центробежные. В них сушка крахмала в потоке происходит быстро, легко поддается автоматизации, причем зерна крахмала нагреваются не выше чем до 40 °С.

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ СУШКИ КРАХМАЛА

В промышленности в настоящее время внедрены и находятся в эксплуатации наиболее совершенные отечественные пневматические и центробежные крахмалосушилки типов: ПС-15, ППС-25М, ПСК-100, ЦС-4М и ЦС-8М.

В основу работы пневматических крахмалосушилок всех типов заложен принцип сушки разрыхленного крахмала в движущемся потоке горячего воздуха. Скорость движения смеси крахмал — воздух по каналам сушилки выбирается такой, чтобы она была больше скорости витания зерен крахмала в потоке. Практически скорость движения этой смеси находится в пределах 14—20 м/с.

Процесс сушки крахмала в потоке воздуха в пневматических сушилках происходит почти мгновенно. Этому способствует разрыхленное состояние подаваемого в сушилку крахмала; при этом резко увеличивается поверхность испарения влаги с поверхности крахмальных зерен. Это позволяет применять в пневматических крахмалосушилках воздух высокой температуры, не опасаясь нагрева зерен крахмала свыше 40 °С, и одновременно обеспечивать получение эффективного влагосъема при высоких температурах сушки крахмала.

Пневматическая сушилка марки ПС-15. Опытно-конструкторским бюро НПО по крахмалопродуктам разработана конструкция пневматической крахмалосушилки ПС-15 с подогревом воздуха в паровых калориферах. Схема установки ее приведена на рис. 56.

Обезвоженный на центрифугах сырой крахмал поступает через смеситель-питатель *4* в рыхлитель *3*, в котором смешивается с горячим воздухом, очищенным в фильтре *1* и подогретым в калорифере *2*. За счет вакуума, создаваемого в сушилке вентилятором *10*, крахмало-воздушная смесь поднимается по трубе *5*, где крахмал высушивается до требуемого содержания влаги. На верхней части изгиба сушильной трубы установлен противовзрывной клапан *7*. По потоку сушильной трубы *5* недосушенные крахмальные комочки, как более тяжелые, падают вниз и через карман *6* и затворы возвращаются в питатель *4*, а смесь сухого крахмала с воздухом направляется в циклоны *8*. Из циклонов крахмал поступает в шнек *9*, котсорый подает его в бурат *14* для просеивания и после этого на упаковку. Отработан-

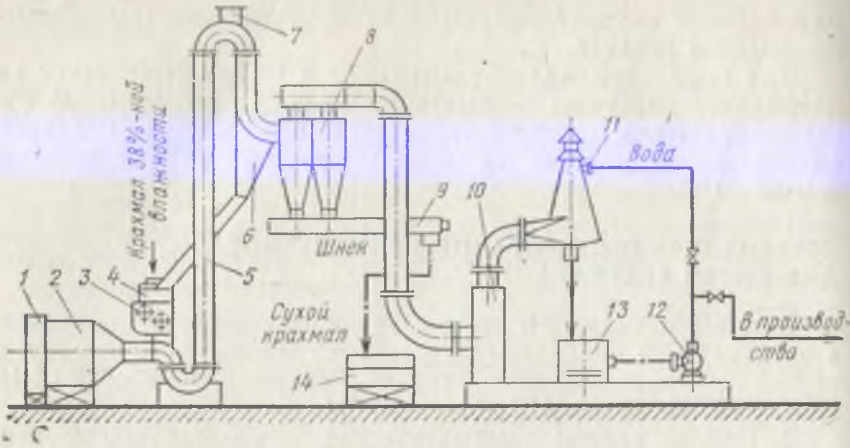


Рис. 56. Пневматическая сушилка ПС-15

ный воздух поступает в скруббер *11*. Вода, подаваемая в него насосом *12*, собирается в сборник *13*, и при повышении концентрации крахмала в суспензии до 6—8 % СВ ее откачивают обратно в производство, а в сборник *13* подают свежую воду.

В сушилке установлен цепной вариатор для привода вала подающего шнека, что позволяет изменять частоту вращения последнего в больших пределах — от 25 до 120 об/мин. Это создает условия для работы сушилки в широком диапазоне производительности и при больших возможностях теплового режима сушки.

Рыхлитель состоит из корытообразного кожуха, в который вмонтирован специальный дисковый барабан-рыхлитель. Он представляет собой вал с насаженными дисками и приваренными к ним бичами.

Бичи рыхлителя на периферии поочередно развернуты на угол 15° влево и вправо. Это способствует лучшему рыхлению крахмала и дает возможность поддерживать во взвешенном состоянии крахмал. Вал рыхлителя приводится во вращение от электродвигателя с частотой вращения ротора 980 об/мин и мощностью 7,5 кВт.

Воздух засасывается в сушилку через калорифер и кожух рыхлителя из атмосферы вентилятором с частотой вращения 1460 об/мин.

Ввод воздуха в кожух рыхлителя и вывод из него крахмало-воздушной смеси осуществляется через два приваренных патрубка. Засасываемый воздух предварительно подвергается очистке на фильтрах системы РЕКК, смонтированных перед калорифером, в котором он подогревается до температуры 140 °С.

Калориферная установка состоит из шести секций пластин-

чатых калориферов типа КВБ-П. Секции калориферов расположены в два ряда по три калорифера, которые обогреваются паром давлением 0,8 МПа. Конденсат из калориферов отводится через конденсатоотводчик и возвращается в котельную.

Нагретый воздух, поступивший в рыхлитель, интенсивно перемешивается с разрыхленным крахмалом, отдает тепло на нагревание крахмала и испарение влаги в нем. Затем крахмало-воздушная смесь поступает в сушильную трубу, где крахмальные зерна, находясь во взвешенном состоянии, образуют большую поверхность испарения; при этом свободная влага быстро испаряется, а зерна крахмала высушиваются.

Высушенный крахмал поступает в сепаратор, снабженный двумя поворотными заслонками, а из сепаратора поступает в батарею циклонов. Крупка и недосушенный крахмал возвращаются из сепаратора в питатель-смеситель на повторное рыхление и досушку.

Батарея циклонов состоит из двух циклонов типа УЦ-38 диаметром 1000 мм, имеющих коническую поверхность. Такие циклоны имеют высокий коэффициент очистки, достигающий 99,98 %. В циклонах происходит отделение крахмала от воздуха. Сухой крахмал из циклонов попадает в шнек, который подает его на рассев.

После циклонов воздух в смеси с парами испаренной влаги и незначительным количеством крахмала в виде крахмальной пыли подается вентилятором в скруббер. В нем происходит мокрое улавливание крахмальной пыли. Вода из скруббера в виде очень жидкой крахмальной суспензии поступает в сборник, откуда насосом подается вновь в скруббер и при достижении 6—8 % СВ возвращается в производство.

Очищенный и охлажденный воздух из скруббера выводится в атмосферу.

Пневматическая сушилка марки ППС-25М. Конструкция сушилки марки ППС-25М является усовершенствованной конструкцией сушилки марки ППС-25. По принципу действия она аналогична сушилке марки ПС-15, схема которой изображена на рис. 56.

Производительность сушилки может изменяться в значительном диапазоне. Сушильная труба имеет высоту 6,5 м с вмонтированным противовзрывным клапаном. Давление пара в калориферах составляет до 0,8 МПа. Конденсат выводится в котельную. Питатель-смеситель имеет объем, который обеспечивает непрерывность работы сушилки в течение 10—15 мин при полном заполнении его крахмалом.

Батарея циклонов сушилки ППС-25М состоит из четырех циклонов типа УЦ-38 диаметром 1000 мм. В нижней части каждая пара циклонов соединена общим шнеком, имеющим специальный клапан. Клапан препятствует подсосу воздуха и бывает в открытом положении только при наличии крахмала в шнеке. Вал шнека приводится во вращение электродвигате-

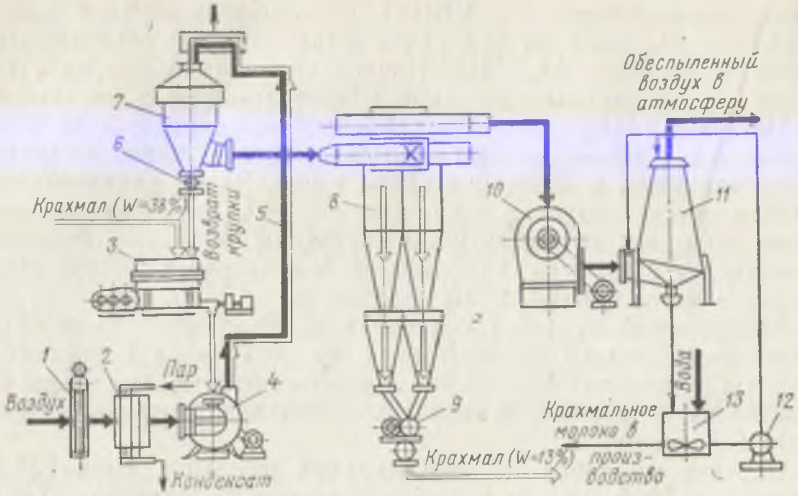


Рис. 57. Пневматическая сушилка ПСК-100

лем мощностью 1,5 кВт с частотой вращения 980 об/мин через червячный редуктор.

В верхней части циклоны соединены через специальные кожухи и переходной патрубок с входным патрубком вентилятора типа ЦП7-40. Выходной патрубок вентилятора подсоединен к скрубберу.

Сушильная труба, циклоны, шнеки смонтированы на общей раме. Сушилки ПС-15 и ППС-25М работают по идентичным технологическим схемам.

Пневматическая сушилка марки ПСК-100. Пневматическая сушильная установка марки ПСК-100 является самой мощной установкой для сушки крахмала, созданной по схемам пневматических сушилок ПС-15 и ПСК-25М.

Из приведенной схемы (рис. 57) сушилки ПСК-100 видно, что перед началом сушки крахмала в нее подается очищенный в фильтре *1* и нагретый в калорифере *2* воздух, а крахмал через специальный питатель с автоматическим устройством *3*, регулирующим подачу требуемого количества крахмала, — на сушку в ротор-рыхлитель *4*, где он смешивается с горячим воздухом. Поток смеси проходит по сушильной трубе *5*, из которой через шлюзовой затвор *6* возвращается на повторную подсушку недосушенная часть крахмала из сепаратора *7*, а сухой крахмал поступает в батарею аэроциклона *8*, где разделяется на крахмал и отработанный воздух, содержащий около 1 % крахмальной пыли. Сухой крахмал через шлюзовой затвор *9* выводится из сушилки, а отработанный воздух вентилятором *10* направляется в мокрый скруббер *11*, где обеспыливается и выпускается в атмосферу. Через этот скруббер также насосом *12* прокачивается вода в сборник с мешалкой *13*, которая

впоследствии направляется в производство, а сборник снова заполняется водой.

Основным отличием конструкции сушилки марки ПСК-100 от конструкции сушилок ПС-15 и ПСК-25М является то, что в ней предусмотрено более совершенное устройство для повторной досушки недосушенного крахмала в сушильной трубе *5*. В целом процесс сушки крахмала в данной сушилке аналогичен процессу сушки в сушилках марок ПС-15 и ППС-25М, а сама конструкция отличается повышенной производительностью, наличием воздушного фильтра марки КД-4006А. В данной сушилке рекомендуется применять вентилятор марки ВД-13,5 производительностью по воздуху 39 000 м^3/ч с частотой вращения 750 об/мин. На всех пневматических сушилках монтируются противовзрывчатые клапаны.

Техника безопасности при работе пневматических сушилок. Помещения, где производится сушка крахмала, взрывоопасны вследствие того, что крахмальная пыль при концентрации 7 мг крахмала на 1 л воздуха легко воспламеняется. Причинами воспламенения могут быть неисправность электрорубильников, электромоторов, электропатрона, плохое заземление, перегрев подшипников и др.

В первую очередь необходимо осуществить заземление, т. е. отвод статического электричества от самой сушилки и от всех дополнительных установок, находящихся в цехе или отделении сухого крахмала. Следует устанавливать только герметическую электроосветительную арматуру и приборы и взрывобезопасные двигатели.

Обслуживание оборудования надо вести с максимальной осторожностью, не допуская осмотра с открытым огнем, а также любые автогенные электросварочные работы. В помещении около сушилок необходимо применять аспирационные устройства для пылеулавливания.

ОТДЕЛКА СУХОГО КРАХМАЛА

Сухой крахмал, выгружаемый из сушилки, обычно имеет температуру от 35 до 50 °С в зависимости от конструкции сушилки. После сушки крахмал следует просеивать для отделения от него образовавшейся крупки. Просеивание крахмала рекомендуется вести в частично охлажденном виде, примерно при температуре 30 °С.

Охлаждение выработанного крахмала ведется при просеивании его через металлическую саржевую сетку на бурате или плоском рассеве непрерывного действия. В этом же потоке одновременно с охлаждением отделяются от сухого крахмала часть крупки и случайно попавшие примеси.

Для осуществления процесса просеивания применяются призматические и центробежные бураты, а также плоские рассевы.

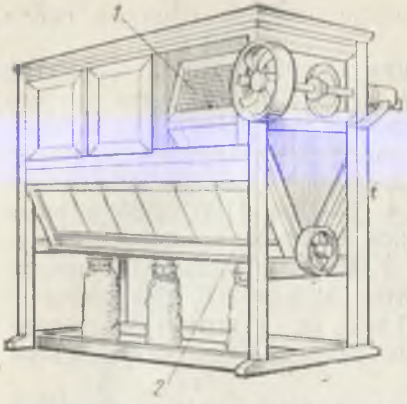


Рис. 58. Призматический бурат

Призматический бурат (рис. 58) представляет собой вращающийся шестигранный барабан *1*, установленный с небольшим уклоном, в котором шестигранные плоскости обтянуты шелковой сеткой. Выгрузка просеянного крахмала осуществляется шнеком *2* в низ корпуса. На буратах-охладителях ставится крупная металлическая сетка № 23—25. При дополнительном просеивании на бурате применяется шелковая сетка № 38—55.

Более производительной машиной для просеивания сухого крахмала является центробежный бурат (рис. 59).

Производительность центробежного бурата на 1 м² ситовой поверхности составляет 120 кг/ч сухого крахмала. Рабочей частью его является цилиндрический барабан *1*, составленный из отдельных рамок *2*, обтянутых шелковой сеткой № 38—55.

Внутри барабана смонтирован вал с укрепленными на нем крестообразными билами *3*. На билах укреплены продольные металлические планки *4*, называемые бичами, которыми комочки крахмала измельчаются и просеиваются через ситовую поверхность цилиндрического барабана.

Нераздробленная бичами крахмальная крупка продвигается внутри цилиндра вдоль оси к противоположному концу бара-

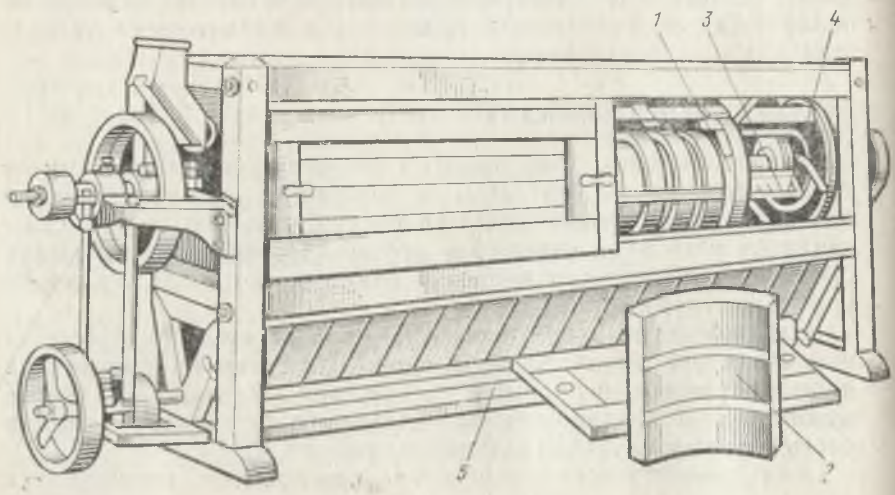


Рис. 59. Центробежный бурат

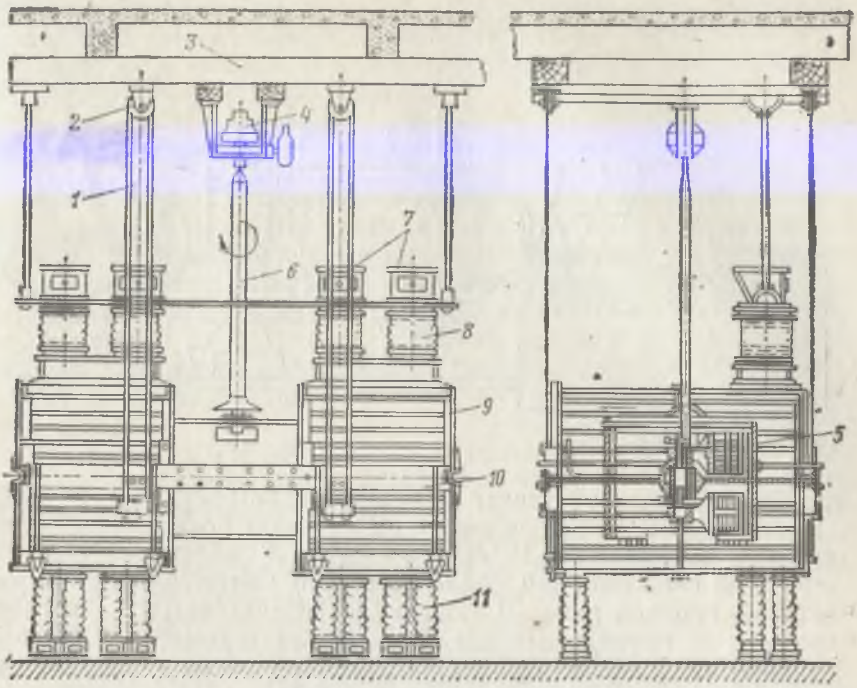


Рис. 60. Плоский рассев ЗРШ-4М

бана, выходит из него и собирается в соответствующую тару, а просеянный крахмал попадает в шнек *5*, расположенный в низу корпуса машины, и выводится из бурата.

В крахмало-паточной промышленности применяются центробежные бураты марки ЗЦ-1Б.

На некоторых более крупных крахмальных заводах вместо буратов для просеивания сухого крахмала применяются плоские рассевы марки ЗРШ-4М (рис. 60). Это подвесные просеивающие установки, которые устанавливаются не на фундаменте, а корпуса их являются подвесными, укрепленными на верхних опорных балках. Рассев подвешивается гибкими тросами *1* через стальные блоки *2*, которые укреплены на верхних балках *3*. Рассев является двухкузовной установкой. По центру между кузовами подвешивается к балке привод рассева *4*, от которого оба кузова рассева получают кругообразное эксцентричное движение через эксцентриковый самобалансирующий механизм *5*. Вращательно-колебательное движение обеих рам с ситовыми кузовами передается от вертикального вала *6*, к нижнему концу которого присоединен самобалансирующий механизм, создающий кругообразное эксцентрично-вращательное движение просевным кузовам.

Принцип действия рассева заключается в том, что крахмал

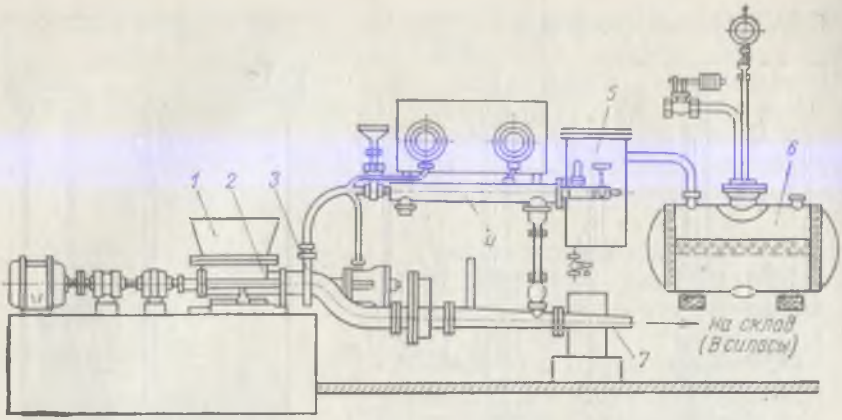


Рис. 61. Аэронасос

для просеивания поступает в приемные устройства *7* и через гибкие рукава *8* направляется на ситовую поверхность обоих кузовов, имеющих по 12 ситовых рамок *9*, обтянутых соответствующей саржевой или шелковой сеткой. Ситовые рамки укреплены на опорной раме *10*. Отсеянные (разделенные) на рассеве крахмал и крупка выходят по соответствующим выводным рукавам *11* и сбрасываются в отдельные течки и дальше направляются в соответствующие бункера.

Преимущество плоских рассевов по сравнению с буратами заключается в том, что они имеют большую ситовую просеивающую поверхность, специальное приспособление для встряхивания щеток, очищающих рабочую поверхность сит. При работе рассевов почти нет крахмальной пыли потому, что просеиваемый крахмал относительно спокойно движется по поверхности каждого рассевного сита. Вмонтированное в рассевы специальное приспособление для встряхивания щеток, очищающих рабочую поверхность сит, также способствует повышению производительности рассевов по сравнению с буратами.

Обслуживание плоских рассевов простое, а высокая производительность и хорошие технологические качества дают основание предпочесть их другим просеивательным аппаратам при монтаже на крахмалосушильных заводах.

Выработанный сухой крахмал может направляться для затаривания в различные виды тары. На крупных крахмальных заводах он отправляется в тарные склады, т. е. в силосы для временного хранения крахмала, которые имеют диаметр 5,5 м и высоту цилиндрической части 9 м. Для подачи крахмала в тарные склады на этих заводах устанавливается аэронасос (рис. 61). Он состоит из питательной воронки *1*, шнека с переменным шагом *2*, форсунки смесительной камеры *3*, рессивера *4*, маслоотделителя *5*, сборника сжатого воздуха *6* и трубопровода *7*. Крахмал подается через воронку, поступает в шнек,

затем в форсунку, из которой компрессором под давлением 0,23 МПа подается воздух, транспортирующий крахмал по трубопроводу *7* в силосы. В силосах крахмал оседает, воздух выходит через циклон в атмосферу.

ХРАНЕНИЕ, УПАКОВКА И МАРКИРОВКА КРАХМАЛА

Сухой крахмал хранится в мешках, складируемых в штабеля, или в силосных банках. При хранении в мешках взвешивание и маркировка производятся в здании сухого крахмала, в отдельном от производства помещении.

Крахмал упаковывается в новые льняные или джутовые мешки массой 25, 50 и 60 кг с зашивкой их на мешкозашивочной машине. Упаковка производится также в бумажные крафт-мешки с последующей упаковкой их в мешки льняные или джутовые.

На крупных заводах упаковка крахмала в мешки осуществляется на специальных выбойных аппаратах марки ДВМ с одновременным взвешиванием с точностью до 0,1 %. Каждый мешок или ящик снабжается маркировочной этикеткой.

При хранении крахмала в мешках, на складах необходимо соблюдать следующие условия:

поддерживать температуру на складе не более 10 °С и не допускать в нем резких изменений температуры;

поддерживать оптимальную влажность воздуха 75 %;

выкладывать мешки с крахмалом в штабеля на решетчатых стеллажах или подтарниках на расстоянии 150 мм от пола; при наличии свободной площадки укладывать мешки «колодцем»;

укладывать в штабеля мешки с крахмалом на складе на высоту не более 10 мешков в ряду и между штабелями оставлять проходы шириной 0,5 м;

в помещении склада для контроля иметь термометры и гигрометры;

все операции по укладке в штабеля, перемещению грузов, погрузке в автомашины и вагоны должны быть механизированы путем обеспечения их штабелеукладчиками, транспортерами, автокарами или ручными тележками. Особое внимание должно быть уделено чистоте автомашин и вагонов при перевозке крахмала.

Весовыбойный автомат марки ДВМ-75. Этот автомат (рис. 62) предназначен для взвешивания и автоматической загрузки сухого крахмала в мешкотару.

Аппарат состоит из рамы *1*, циферблатного указателя *2*, гиредержателя *3*, питателя *4*, станины *5*, коромысла *6*, ковша *7*, подвесного бункера *8*, встряхивающего механизма *9*. Аппарат снабжен циферблатным указательным прибором, по которому осуществляются настройка точной массы и визуальный контроль фактической массы порции крахмала. Весы аппарата монти-

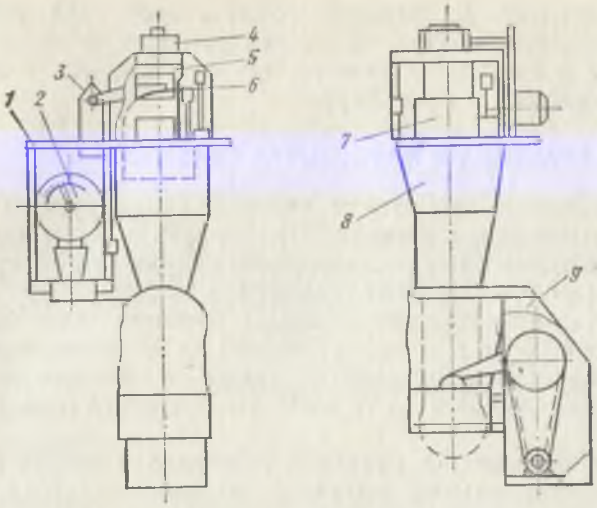


Рис. 62. Весовыбойный аппарат ДВМ-75

руются на подвесных связях, которые крепятся на междуэтажном перекрытии. Крахмал на весы подается из подвесного устройства (бункера), из которого обеспечивается равномерный поток крахмала.

Аппарат включается в работу путем нажатия на станции управления кнопки «Пуск»; при этом начинает работать питатель с большой частотой. По мере заполнения крахмалом ковш спускается вниз через коромысло и передаточный рычаг передает свое движение стрелке циферблатного указателя, на весовой стрелке которого укреплен флажок. Флажок входит в низ датчика грубой массы и переключает при этом электродвигатель питателя на малую частоту; при этом заслонка постепенно закрывается, а продукт поступает в ковш через досыпное окно.

При достижении в ковше заданной массы крахмала флажок весовой стрелки входит в паз датчика точной массы. При этом электродвигатель питателя останавливается и поступление продукта в ковш прекращается.

На горловину встряхивающего устройства надевается мешок, ковш открывается, и происходит выгрузка крахмала. Автоматическая выгрузка крахмала из ковша в мешок и уплотнение его происходит при опущенном аспирационном чехле.

После закрытия ковша начинается новый цикл работы весов. По окончании уплотнения крахмала аспирационный чехол автоматически поднимается, мешок снимается и направляется на зашивку.

Мешкозашивочная машина марки ЗЗЕ-М. Эта машина (рис. 63) предназначена для зашивки мешков, наполненных крахмалом и взвешенных.

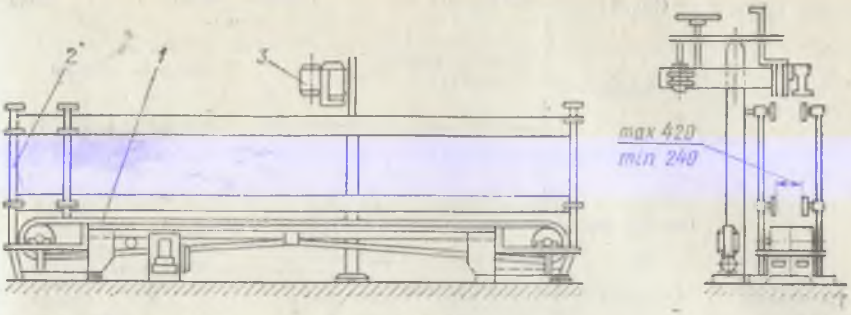


Рис. 63. Мешкозашивочная машина ЗЗЕ-М

Она состоит из ленточного транспортера *1*, ограждающих перил *2* и швейного устройства *3*. Мешкозашивочная машина устанавливается непосредственно под весовыбойным аппаратом. Наполненный крахмалом мешок опускается на движущийся транспортер машины, а ограждающие перила транспортера поддерживают мешок в вертикальном положении. Свободный конец мешка заправляется в головку швейного машинного приспособления и прошивается зигзагообразным швом.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕКСТРИНА, САГО И МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕКСТРИНА

Декстрин — продукт расщепления и рекомбинации молекул полисахаридов в результате термической обработки сухого крахмала в присутствии катализаторов или без них. В качестве катализатора, ускоряющего реакции превращения крахмала, используют в основном летучие кислоты (соляная, азотная и др.), щелочи и соли (алюминиево-калиевые квасцы и др.). В зависимости от степени деструкции, что определяется условиями обработки, готовый декстрин отличается по цвету (белый, палевый, желтый) и растворимости.

Для производства декстрина используют сухой кукурузный, картофельный или импортный маниоковый (тапиоковый) крахмалы. В соответствии со схемой (рис. 64) сухой крахмал из резервных емкостей через дозаторы направляют в подкислители. Подкисление осуществляют путем распыления на перемешиваемый крахмал раствора соляной кислоты. Для равномерной пропитки кислотой крахмал выдерживают в бункерах для отлежки в течение 12—16 ч, после чего направляют на термическую обработку, которая включает два этапа — предварительную подсушку до остаточной влажности 3 % и декстринизацию. После завершения последнего процесса декстрин охлаждают, увлажняют и просеивают.

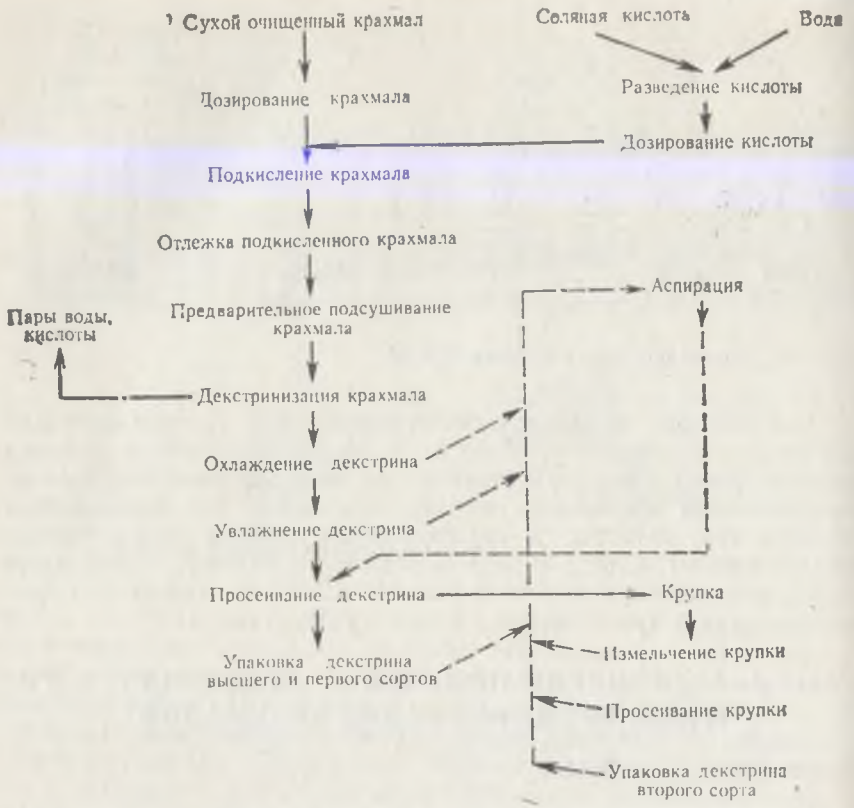


Рис. 64. Технологическая схема производства декстрина

Подкисление крахмала. Для ускорения процесса декстринизации крахмала и получения готового продукта, растворимость которого в воде при комнатной температуре достигает 100 %, применяют катализаторы. Для равномерного распределения катализатора используют форсуночные кислотостойкие распылители, к которым подведен сжатый воздух от компрессора. Форсунки устанавливают над крахмалом, перемещаемым в шнеке или смесителе другой конструкции. Заданный расход кислоты, предварительно разбавленной водой в соотношении 1 : 3 или 1 : 4, осуществляют из кислотостойкой емкости, оснащенной указателем уровня, через калиброванное отверстие. При производстве различных по свойствам декстринов расходуют разное количество соляной кислоты плотностью 1,135 г/см³ на 100 кг СВ крахмала, изменяя при этом температуру и продолжительность обработки (табл. 33).

При производстве декстрина необходимо учитывать состав и свойства перерабатываемого сырья. Чем выше кислотность

Таблица 33

Декстрин	Расход соляной кислоты		Температура, °С	Продолжительность, ч
	г	мл		
Картофельный				
белый	420—460	370—410	125	2,75
палевый	380—420	335—370	155	3,25
желтый	350—400	310—350	155	3,50
Кукурузный				
белый	460—500	400—440	125	2,75
палевый	400—450	350—400	155	3,25
желтый	380—420	335—370	155	3,50

крахмала и ниже pH, тем меньше расходуется кислоты на подкисление крахмала.

Отлежка подкисленного крахмала. Равномерные по свойствам партии декстрина могут быть выработаны при подкислении всех зерен крахмала. Однако простым распылением кислоты над перемешиваемым крахмалом этого достигнуть не удается. Поэтому подкисленный крахмал направляют в бункера для отлежки, где он выдерживается до 16 ч.

Предварительное подсушивание крахмала. Для более эффективного использования декстринизаторов целесообразно предварительно удалить из крахмала свободную влагу. Эту операцию осуществляют путем глубокого подсушивания крахмала в сушилках непрерывного действия. Для этой цели используют комбинированную аэрофонтанную сушилку КЦ-1000.

При подсушивании крахмал нагревается до 100—130 °С, остаточное содержание влаги в нем 2—3 %. На этом этапе тепловой обработки происходят процессы удаления всей свободной и капиллярно-связанной влаги. В присутствии кислоты происходит частичное расщепление полисахаридов крахмала и уменьшение размера частиц. Подсушенный крахмал направляют на декстринизацию.

Декстринизация крахмала. Второй этап тепловой обработки крахмала производят в декстринизаторах при повышенных температурах (125—180 °С). Такая обработка ускоряет процесс расщепления полисахаридов, приводит к необратимому отделению связанной воды и ее молекул, образующихся за счет спиртовых групп мономера, к перестройке (рекомбинации) структуры углеводов. Отрыв молекул воды от мономера способствует образованию новых поперечных связей между соседними полисахаридными, как правило, укороченными цепями.

Для непрерывной декстринизации подсушенного крахмала используют барабанные нагреватели разной конструкции.

Декстринизатором непрерывного действия является барабанная сушилка РЗ-ПНД (рис. 65). Декстринизатор включает барабан *1*, обогреваемый с помощью рубашки *2*, полых дис-

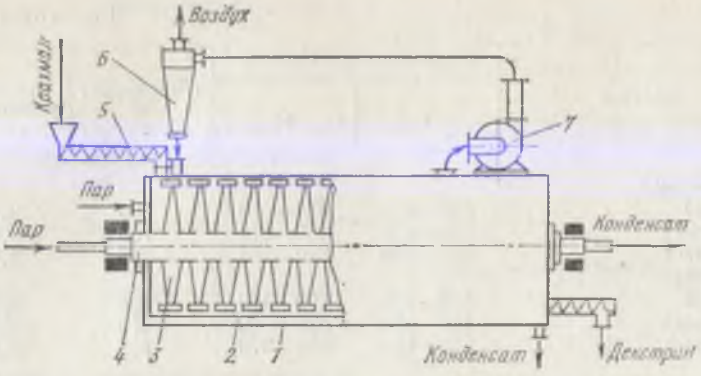


Рис. 65. Схема декстринизатора непрерывного действия марки РЗ-ПНД

ков *3* и полого вала *4* паром давлением 0,8—1,0 МПа. Подачу крахмала на декстринизацию осуществляют с помощью питающего шнека *5*. Отсос выпаренной влаги из декстринизатора осуществляют вентилятором *7* через циклон *6*. Производительность аппарата по готовому декстрину 15—18 т/сут, расход пара 450—500 кг/ч, частота вращения ротора 9—28 мин$^{-1}$.

Оба этапа тепловой обработки подкисленного крахмала могут быть проведены и в одну ступень в одном и том же аппарате.

Для одноступенчатой термической обработки подкисленного крахмала используют вертикальные цилиндрические декстринизаторы *1* (рис. 66) периодического действия, имеющие мешалку *4* с нижним приводом *5* и паровую рубашку *3* для подогрева. Паровая рубашка имеет штуцер *2* для предохранительного клапана и манометр *6*. Частота вращения мешалки 25—30 мин$^{-1}$. Время обработки крахмала в таком аппарате, вмещающем 400 кг исходного сырья, составляет 4 ч. При нагревании крахмал сначала теряет свободную и капиллярную влагу, затем начинается активная декстринизация его. Следует отметить, что первый процесс происходит и на начальном этапе обработки, когда продукт нагревается примерно до 110 °С. Уже в начале декстринизации продукт не дает с йодом интенсивного синего окрашивания. По мере декстринизации происходит изменение

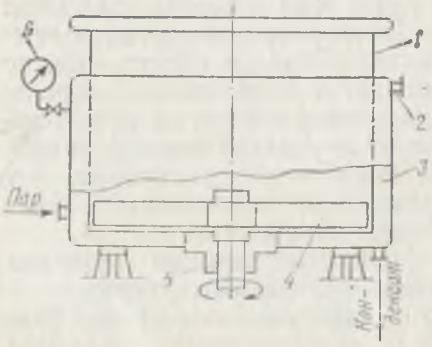


Рис. 66. Схема декстринизатора периодического действия

окраски йодной пробы: при растворимости декстрина около 50 % йодная проба имеет фиолетово-красный цвет, при 62,5 % — красно-коричневый. После встряхивания пробирки в первом случае раствор имеет слабый фиолетовый цвет, во втором — окраска исчезает.

После окончания обработки декстрин приобретает заданный цвет, требуемую растворимость и клеящую способность. Обогрев аппарата прекращают, и декстрин быстро выгружают в охладитель.

Охлаждение декстрина. После завершения тепловой обработки, когда декстрин приобретет заданную цветность и растворимость, процесс декстринизации прекращают. Для этого необходимо не только выгрузить декстрин из аппарата, но и охладить его до температуры ниже 100 °С. Охлаждение декстрина производят в шнекообразных аппаратах, корпус которых имеет рубашку для холодной воды. Внутри аппарата вращается вал с прикрепленными к нему планками, на которых по винтовой линии закреплены щетки, что обеспечивает медленное горизонтальное перемещение декстрина. Производительность аппарата, имеющего длину 5 м, внутренний диаметр 0,4 м, при поверхности охлаждения 3,1 м² и снижении температуры декстрина от 150 до 20 °С составляет 4,5 т/сут.

На заводах большой производительности горячий декстрин с большим количеством холодного воздуха пневмотранспортом поднимают в верхнюю часть завода и через циклоны и шлюзовые затворы вводят в цилиндрические резервуары — охладители. В циклонах от декстрина отделяют горячий воздух. Ввод декстрина в резервуары осуществляют через крышку в нескольких точках. В этих местах на крышке смонтированы механические распылители декстрина, диски которых расположены под крышкой. Декстрин, поступающий на охлаждение, попадает на вращающиеся диски, которые распыляют его по всему объему резервуара. Системой пневмотранспорта из нижней конической части охладителя декстрин передают на циклоны перед следующей станцией завода — увлажнением. Резервуары находятся под разрежением, поэтому в них через отверстия в крышках засасывается холодный воздух, что обеспечивает охлаждение декстрина.

Увлажнение декстрина. После охлаждения декстрин содержит 3 % влаги, однако его равновесная влажность равна 10—12 %, поэтому он должен быть увлажнен до содержания влаги 10 %. Эту операцию осуществляют в увлажнителях, конструктивно сходных с охладителями пневматического типа. Увлажнение декстрина может быть произведено смесью пара или тонко диспергированной воды и воздуха. Пульверизаторы, через которые вводят смесь, устанавливают в крышках резервуаров-охладителей над дисками, распыляющими декстрин. Нижняя коническая часть резервуаров подключена к пневматической системе транспортирования декстрина. Часть последнего при необходи-

мости возвращают в увлажнитель для повторной обработки.

Смешивание, просеивание и упаковка декстрина. Охлажденный декстрин хранят в бункерах. Система транспортирования декстрина должна обеспечить возможность усреднения качества отличающихся по свойствам партий декстрина. Для отделения от декстрина случайных примесей и крупки используют плоские рассевы или призматические бураты. Декстрин сначала просеивают через латунную плетеную сетку № 60, а окончательное выделение крупки из декстрина производят путем просеивания его через капроновое сито № 58.

Крупку измельчают в мельницах ударного действия и используют для выпуска декстрина II сорта. Декстрин легко образует взрывоопасную пыль, поэтому все оборудование должно быть тщательно герметизировано, работать под небольшим разрежением, создаваемым пневмотранспортом или аспирационной системой. Декстрин, задержанный в ловушках, циклонах, фильтрах, должен возвращаться на повторную обработку. На 1 т товарного декстрина (влажность 5 %) расходуют 1,125—1,190 т сухого кукурузного крахмала (влажность 13 %) и 1,234 т картофельного (влажность 20 %).

Качество декстрина. Качество декстрина регламентировано требованиями ГОСТ 6034—74, в соответствии с которым промышленность выпускает декстрин белый, палевый и желтый, растворимости которых в холодной воде должны быть соответственно не менее 62, 78 и 95 %. В зависимости от применяемых катализаторов выпускают декстрин кислотный (с HCl) и бескислотный (с алюминиево-калиевыми квасцами). Готовый декстрин характеризуют также и по другим показателям: влажность, клеящая способность, зольность, кислотность, количество крапин. В зависимости от качества выпускают декстрин высшего, I и II сортов.

Водные дисперсии декстрина имеют высокую концентрацию, что обеспечивает их быстрое высыхание, и обладают хорошей клеящей способностью, высокой устойчивостью при хранении.

ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО САГО

Крахмальное саго является пищевым продуктом, который изготовляют из картофельного или кукурузного крахмала высшего и I сортов.

В процессе производства сырому крахмалу с определенной влажностью и размером частиц придают шарообразную форму, оклейстеризовывают, сушат и шлифуют. Саго используют для приготовления каши или в виде компонента начинки для пирогов.

Технологическая схема производства саго включает следующие основные операции (рис. 67). Суспензию очищенного крахмала из цеха сырого крахмала или приготовленную из сухого крахмала концентрацией 28—30 % СВ обезвоживают на вакуум-фильтре или осушающей центрифуге. Фильтрат возвращают в производство сырого крахмала, а крахмал в виде комков подают в сеяльный барабан, в котором комки измельчают, стремясь получить одинаковые по размеру частицы неправильной формы — «снежинки». Последние транспортируют в катальный барабан, где производится закаты-

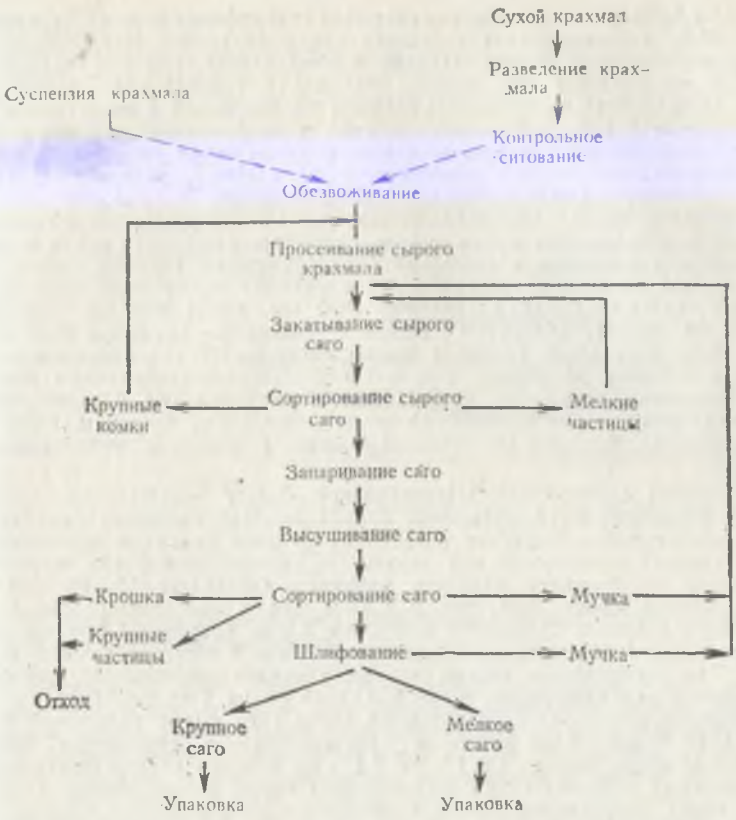


Рис. 67. Технологическая схема производства крахмального саго

вание саго, т. е. придание частицам сырого крахмала шарообразной формы, которые называют крупкой.

Частицы крупки имеют разный размер (от 1 до 5 мм) и нуждаются в сортировке. Сортировку крупки производят на двухъярусных сотрясательных ситах или одноярусных, но оснащенных разными сетками по длине сита. Мелкие частицы с сита возвращают в катальный барабан, крупные — в сеяльный барабан. Крупку, имеющую размер 3—4 мм, подают на следующую операцию — запаривание.

При выходе из запарного аппарата зерна саго имеют влажность 30 %, их направляют на высушивание. Сушку зерен сырого саго производят в сушилках разной конструкции. Высушенное саго содержит 13 (кукурузное) или 16 % (картофельное) влаги. Для отделения технической муки (мучки) и склеенных зерен сухое саго обрабатывают на сортировальном сите. Очищенное саго по размеру зерен делят на крупное и мелкое. Мучку возвращают в производство, мелкие частицы и склеенные зерна реализуют как отход производства.

Зерна сухого саго покрыты мелкой крахмальной пылью, что придает им матовый вид. Для очистки поверхности зерен саго и придания ей стекловидности зерна обрабатывают на шлифовально-полировальных машинах крупяного производства. Полированное саго направляют на упаковку, а отделенную от зерна мучку возвращают в производство.

Обезвоживание крахмала. Эту операцию осуществляют на вакуум-

фильтрах, обеспечивая влажность крахмала картофельного — 47, кукурузного — 45 %. Обезвоживание суспензии крахмала может быть проведено и на осушающих центрифугах. Однако в этом случае, как и при использовании в производстве саго сухого крахмала в специальных смесителях, крахмал должен быть равномерно увлажнен до указанной выше влажности. Сырой крахмал с вакуум-фильтров снимают в виде крупных кусков, которые частично измельчают в приемном шнеке. Такое сырье не может обеспечить получения при закатке равномерных по размеру шариков сырого крахмала, поэтому крахмал направляют на просеивание.

Просеивание сырого крахмала. Назначение этой технологической операции — измельчить крупные куски сырого крахмала, превратить его в пушистую нежную «снежинку» с примерно одинаковыми по размеру кусочками крахмала. Для получения такого продукта крахмал пропускают через вращающийся сеяльный барабан (диаметр 1250 мм, длина 900 мм, частота вращения 28 мин$^{-1}$), обтянутый сеткой с ячейками размером 2×2 мм. Размер ячеек определяет величину частиц «снежинки», а следовательно, и зерен саго, поэтому он должен строго соответствовать требованиям технологии. Прошедшие через сито частицы имеют неправильную и разнообразную форму, но примерно одинаковый размер. Они очень непрочны, поэтому на дальнейшую обработку их транспортируют с помощью вибрационных лотков.

Закатывание сырого саго. Шарообразную форму «снежинкам» придают путем обработки их в катальных барабанах. При вращении барабанов или их колебательном движении просеянные кусочки крахмала перекатываются по твердой поверхности и в результате приобретают форму шариков. Длительность закатывания кусочков крахмала составляет 15—20 мин в аппарате периодического действия и 2,5—5 мин в катальном барабане непрерывного действия. Последний при длине 5,5 м, диаметре 1,4 м, частоте вращения 9 мин$^{-1}$ обеспечивает производительность 8 т/сут по готовой продукции. Для перемещения частиц внутри аппарата катальный барабан устанавливают под небольшим уклоном (3,5—4 см на 1 м длины).

Сортировка сырого саго. Закатанные зерна саго имеют различный размер (от 1 до 7 мм). В то время в соответствии со стандартом зерна саго должны иметь размер от 1,5 до 3,1 мм. В связи с этим закатанное саго подвергают сортировке на сотрясательных ситах, установленных в один или два яруса. При сортировке на одноярусном сите в первую очередь от сырого саго отделяют мелкие частицы, проходящие через отверстия диаметром 2—2,5 мм (25 % поверхности сита), затем на сите отделяют зерна саго, прошедшие через сито с отверстиями диаметром 3 мм (50 % сита), и наконец, через сито с отверстиями диаметром 4,5 мм (25 % сита).

При сортировке саго на двухъярусном сите сначала производят отделение зерен размером больше 4,5 мм, а проход через это сито очищают от мелких частиц на нижнем сите с отверстиями диаметром 2 мм. При ширине каждого сита на двухъярусной установке 420 мм, длине 2300 мм и частоте вибрации 300 мин$^{-1}$ производительность аппарата составляет 3—4 т/сут по саго.

Имеются комбинированные агрегаты (рис. 68), в которых смонтированы барабан *1* для просеивания сырого крахмала, катальный барабан *2* и двухъярусная сортировка с ситами *3, 4*.

Мелкие частицы с сортировального сита шнеком *5* возвращают в катальный барабан, крупные — на просеивание сырого саго, а отсортированные зерна сырого саго — на запаривание. Количество возврата составляет 30—35 % к сырому саго.

Запаривание саго. Отсортированные зерна сырого саго непрочны, легко изменяют свою форму, разрушаются. Для увеличения прочности зерен саго его подвергают запариванию, в процессе которого происходит клейстеризация крахмала на поверхности зерен саго. В результате такой обработки саго сверху покрываются прочной роговидной коркой. При запаривании саго температура воздуха в аппарате должна быть 95—100 °С. Запаривание может быть осуществлено во вращающихся запарных трубах, имеющих диаметр 200 мм и оснащенных паровой рубашкой (рис. 69), в которую вводят

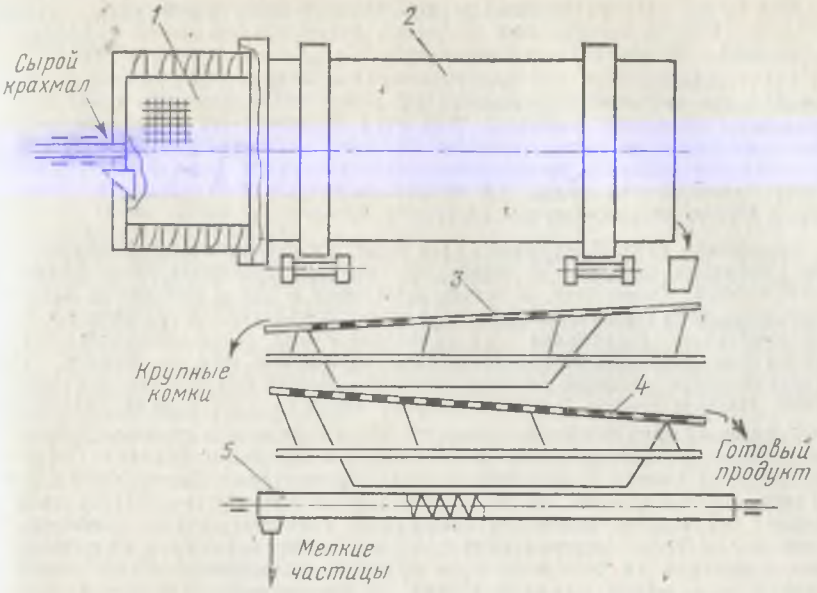


Рис. 68. Схема комбинированного агрегата для приготовления «снежинки», закатывания саго и его сортировки

пар давлением 0,6 МПа. Труба *1* установлена на роликах *2* под уклоном 40 мм/м при общей ее длине 6 м. Привод обеспечивает частоту вращения запарной трубы 13—14 мин$^{-1}$. Вентилятором *3* через калориферы *4* в трубы вдувают частично рециркулируемый воздух, подогретый до 70—80 °С, который движется в трубе параллельно перемещаемым зернам саго. Запаренное таким методом саго частично подсыхает, в результате влажность обработанного продукта составляет 30—36 %, что предупреждает слипание его зерен. Производительность установки, включающей две запарные трубы, при производстве кукурузного саго составляет 1,6 т/сут.

Высушивание саго. Для получения стандартного по качеству саго, стабильного при длительном хранении, запаренные гранулы саго направляют на высушивание.

Высушивание саго производят воздухом, нагретым в паровых калориферах, используя для этого сушилки различной конструкции: барабанные, ленточные, шахтные, вакуумные и др. В барабанных сушилках саго высушивают при параллельном потоке сырого продукта и горячего воздуха. Для перемещения саго в сушилке барабан ее, вращающийся на роликах, устанавливают с уклоном по ходу продукта 4°. Для пересыпания продукта при вращении, что улучшает контакт его с горячим воздухом, внутри барабана устанавливают насадки. Сушилка с барабаном длиной 8 м, диаметром 2 м и с частотой вращения 2 мин$^{-1}$ при температуре поступающего воздуха 130 и уходящего 70 °С обеспечивает высушивание 8—10 т/сут саго, предварительно обработанного в запарных трубах.

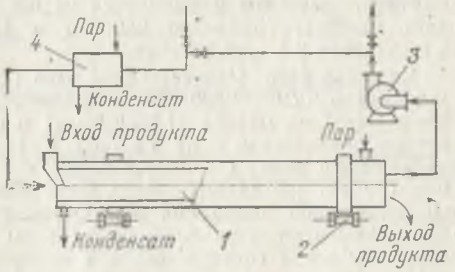


Рис. 69. Схема запарного аппарата непрерывного действия

Для сушки саго также используют овощные ленточные паровые сушилки марки ПКС-20, включающие по четыре отдельных ленточных транспортера шириной 1250 мм, расположенных друг под другом.

Высушиваемый продукт поступает на верхнюю ленту, проходит над калориферами и затем пересыпается на ленту, расположенную ниже и совершающую встречное движение. Так саго перемещается к выходу последовательно четырьмя транспортерами. Скорость движения лент регулируется, что позволяет изменять продолжительность сушки от 1 до 5 ч. Для саго принята длительность сушки 1,5 ч, производительность сушилки при этом равна 2,2 т/сут по готовому продукту.

Сортировка саго. Высушенное саго наряду с хорошими по форме и размеру гранулами включает и дефектные: мелкие, деформированные, крупные и склеившиеся. Кроме того, в результате трения и удара при сушке и транспортировке саго образуется некоторое количество мучки. Отделение от саго этих продуктов производят на сортировальных ситах — призматических буратах или сотрясательных ситах. При сортировке саго на бурате его устанавливают с уклоном по ходу продукта, рамки его оснащают разными ситами. Первую секцию бурата оснащают ситами с отверстиями диаметром 1 мм. Здесь от саго отделяют мучку, которую собирают в отдельный бункер и направляют в сырой крахмал, поступающий в катальный барабан. Следующая (вторая) секция бурата имеет сита с отверстиями диаметром 1,5 мм. На этих ситах отделяют мелочь (мелкие и изломанные зерна); ее также собирают в отдельный бункер. Третья секция оснащена ситами с отверстиями диаметром 2 мм, через которые проходят мелкие зерна саго, их собирают и затем доводят до товарного вида отдельно от крупных. Две последние секции бурата имеют рамки с ситами с отверстиями диаметром 3 мм. Через эти сита проходят крупные зерна саго.

Сход с сита включает «крошку» — частицы большого размера и склеившиеся зерна. Общее количество отходов на бурате составляет до 3,5 % к СВ исходного крахмала, в том числе мучки до 50 %, мелочи — до 46, крошки — до 4 %.

Сортировальный бурат диаметром барабана 0,9 м, длиной 3 м, частотой вращения 25 мин$^{-1}$ имеет производительность 4 т саго в сутки.

Шлифование саго. После сортировки зерна саго не имеют требуемого блестящего вида, так как на поверхности их много прилипших зерен крахмала, мучки. Для очистки поверхности от этих включений саго обрабатывают на щеточных шлифовальных или на шлифовально-полировальных машинах.

Щеточная машина имеет корытообразный корпус, выполненный из штампованных сит с отверстиями диаметром 1 мм, в который помещен деревянный вал с жесткими щетками, расположенными по винтовой линии. Зерна саго через загрузочную воронку поступают в машину и при вращении вала 100 мин$^{-1}$ их поверхность интенсивно трется о стенки корпуса и щетину щеток. При такой обработке с поверхности зерен счищается мучка и через отверстия сита отводится в приемный бункер. Зерна саго перемещаются вдоль машины и выводятся из нее. При габаритных размерах рабочей части машины — диаметре 250 мм и длине 1500 мм производительность ее составляет 3 т саго в сутки.

Качество саго. Искусственное саго по своему качеству должно отвечать требованиям ГОСТ 8800—66, в соответствии с которым по размерам зерна саго делится на мелкое (1,5—2,1 мм) и крупное (2,1—3,1 мм), а по качественным показателям — на высший и I сорта. Саго высшего сорта имеет матово-белый цвет, I — матово-белый и с сероватым (или желтоватым) оттенком. Саго не должно иметь постороннего запаха (затхлости, плесени), при кулинарной пробе оно не должно давать хруста. Кроме влажности в саго регламентируется содержание золы, мелочи, склеенных зерен, мелких и крупных зерен соответственно в крупном и мелком саго (не более 10 %), а также показатели кислотности и набухаемости. Последний должен составлять для картофельного саго 40 и 35 см^3 (для высшего и 1 сортов), для кукурузного — 20 и 15 см^3.

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

Модифицированные крахмалы составляют такую группу крахмалопродуктов, в которую включены крахмалы со свойствами, направленно измененными в результате их физической, химической, биохимической или комбинированной обработок. Если при обработке крахмала происходит разрушение молекул полисахаридов, то такие модифицированные крахмалы относят к **расщепленным**, если же в результате химических реакций к мономерам молекул крахмала присоединяются химические радикалы или блоки полимеров, то такие модифицированные крахмалы относят к **замещенным** (эфиры и сополимеры крахмала).

Расщепленные крахмалы. Модифицированные крахмалы этого вида приготовляют путем термического, механического и химического (обработка кислотами, окислителями, кислыми солями) действия.

Клейстеры расщепленных крахмалов имеют пониженную вязкость даже при высоких концентрациях, более высокую прозрачность и стабильность при хранении. При относительно высоких концентрациях горячие клейстеры таких крахмалов имеют пониженную вязкость, поэтому их часто называют «жидкокипящими» крахмалами.

Технологический процесс приготовления крахмалов, расщепленных кислотами или окислителями, включает сходные производственные операции (рис. 70). При производстве окисленного крахмала суспензию крахмала концентрацией 40—42 % СВ в заданном количестве непрерывно вводят в производственный процесс. Для ускорения протекания химических реакций суспензию нагревают до температуры не выше температуры начала необратимого набухания зерен крахмала (50 °С), после чего в нее вводят кислоту в необходимом количестве. После подкисления в суспензию добавляют

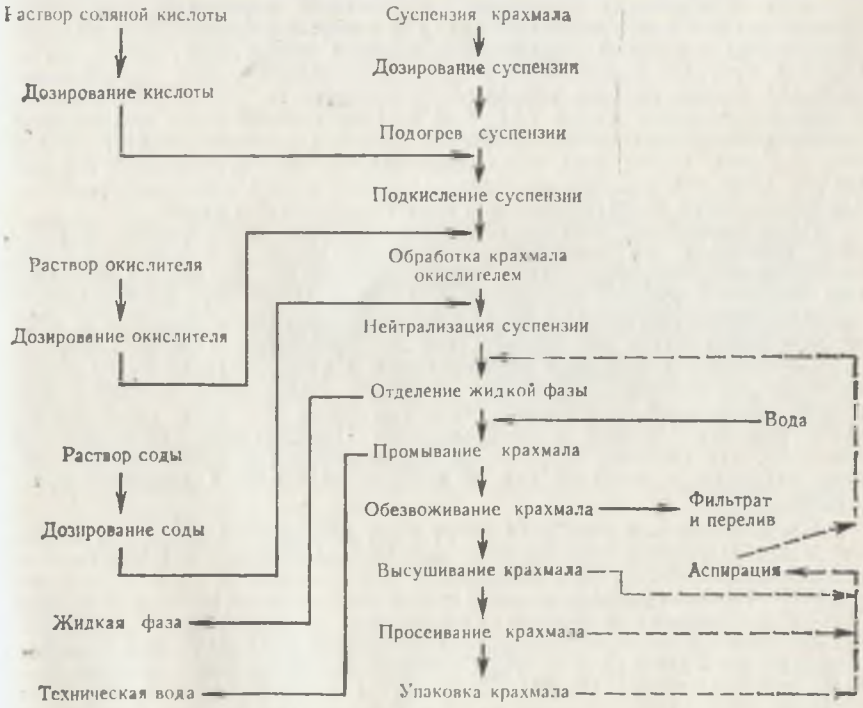


Рис. 70. Технологическая схема производства окисленного крахмала

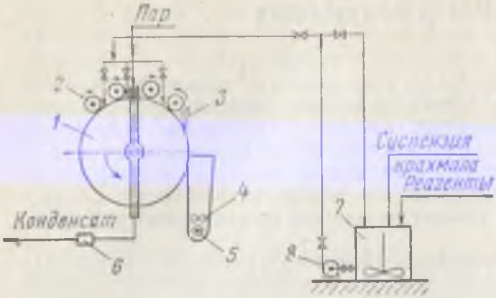


Рис. 71. Технологическая схема производства набухающих крахмалов с помощью вальцовых сушилок

отмеренный объем раствора окислителя и выдерживают в течение времени, обеспечивающем заданную степень изменения структуры и свойств крахмала. Прекращение реакции кислотной деструкции достигается введением в суспензию раствора соды для нейтрализации. Окислитель обычно используют в ограниченном количестве. После нейтрализации жидкую фазу, содержащую неорганические продукты реакции и органические растворимые вещества, отделяют от крахмала, а крахмал промывают свежей водой. Суспензию промытого крахмала обезвоживают на осушающей центрифуге, сырой крахмал высушивают, просеивают и упаковывают. Промывная вода, образующаяся при очистке крахмала, содержит незначительное количество примесей, ее используют в производственном процессе. Фильтрат и перелив с осушающей центрифуги, а также суспензию из скруббера сушилки, крупку с бурата и крахмал из аспирационной системы возвращают в нейтрализованную суспензию.

В зависимости от назначения окисленного крахмала в технологический процесс вводят необходимые изменения. Так, для производства желирующего крахмала, применяемого в качестве стабилизатора мороженого, используют картофельный и кукурузный крахмал, а в качестве студнеобразователя при производстве желейных кондитерских изделий используют только картофельный крахмал. В зависимости от вида вырабатываемого желирующего крахмала расход кислоты колеблется в пределах 1—3 % к СВ суспензии, а марганцовокислого калия 0,15—0,25 %. Продолжительность модификации крахмала составляла около 40 мин. Кукурузный крахмал, обработанный в этих условиях, может быть использован как улучшитель хлеба при выпечке его из муки пониженного качества, а в текстильной промышленности — для шлихтования хлопчатобумажной пряжи и для других целей.

После завершения реакции окисления отделение жидкой фазы от крахмала производят на вакуум-фильтрах, осадительных центрифугах или центробежных сепараторах. Промывание крахмала от оставшихся растворимых продуктов реакции производят с помощью такого же оборудования.

Для обезвоживания крахмала, сушки, просеивания и упаковки в мешки используют такие же машины, как в производстве сухого крахмала.

Набухающие в холодной воде крахмалы. Их приготовляют путем влаготермической обработки исходного материала, вызывающей частичное или полное необратимое разрушение структуры зерен крахмала с разрывом части химических связей в полисахаридах. Обработанные таким методом крахмалы, как правило, приобретают новую вторичную структуру, они хорошо набухают в холодной воде и частично переходят в растворимое состояние.

Влаготермической обработке могут быть подвергнуты как натуральные, так и предварительно обработанные крахмалы (последнее оказывает влияние на свойства набухающих крахмалов).

Набухающие крахмалопродукты могут быть приготовлены с помощью барабанных паровых вальцовых сушилок или экструзионных установок. Технологическая схема производства набухающих крахмалов на вальцовых сушилках приведена на рис. 71. Суспензия крахмала концентрацией 40—42 % при температуре 40—45 °С поступает в реактор *7*. После обработки крахмала реагентами суспензию насосом *8* подают на барабан *1* вальцовой сушилки под разравнивающие валики *2*, где происходит клейстеризация

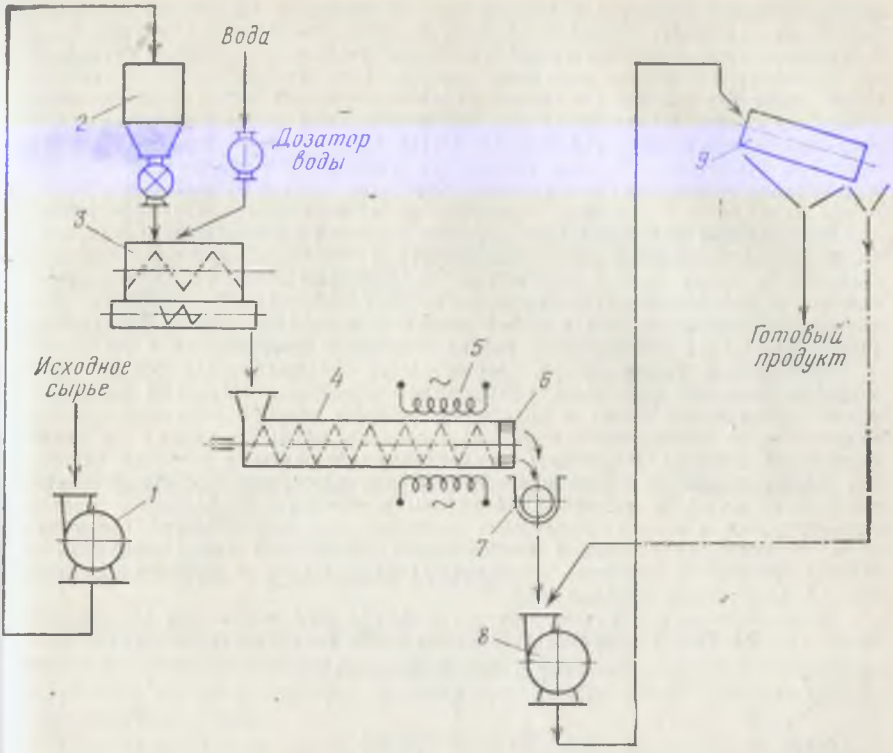


Рис. 72. Технологическая схема производства набухающих крахмалопродуктов с помощью экструзионных установок

крахмала. При вращении валиков барабана на горячую стенку последнего наносится тонкий слой клейстера, который высыхает за время перемещения от валиков к ножевому съему *3* пленок сухого клейстера. Пленки проходят предварительное измельчение в дробилках *4* бильного типа и в шнеке *5*, после чего их подвергают тонкому измельчению в дробилках ударного действия, просеивают и упаковывают. Обогрев барабана вальцовой сушилки производят паром давлением до 1,2 МПа, который вводят по трубе внутрь барабана, а конденсат отводят из него по трубе, введенной внутрь барабана и опущенной к его нижней части, через конденсатоотводчик *6*. Производительность вальцовых сушилок зависит от их конструктивных особенностей, температуры насыщенного пара и условий эксплуатации; она колеблется от 50 до 300 кг/ч с 1 м² поверхности барабана.

Технологическая схема производства набухающих крахмалопродуктов экструзионным методом представлена на рис. 72. Крахмалсодержащее сырье (например, кукурузное зерно) подвергают тонкому измельчению на молотковой дробилке *1* и накапливают в бункере *2*. Дозатором муку подают в смеситель *3*, куда в определенном количестве вводят воду. Увлажненное сырье подвергают влаготермической обработке в экструдере *4*. Обработанный продукт (экструдат) из отверстий матрицы *6* поступает в шнек *7*; затем его подают на молотковую дробилку *8*, просеивают на бурате *9* и направляют на упаковку. Надситовый продукт с сита бурата возвращают на измельчение.

При влаготермической обработке в экструдере слегка увлажненное сырье (17—25 % влаги) претерпевает сложные изменения. На первом этапе

экструдирования происходит простое сжатие продукта, на втором в результате перехода механической энергии в тепловую и действия нагревателей *5* — разогревание, клейстеризация и термомеханическая деструкция крахмала, на третьем — выпрессовывание разогретой пластифицированной массы через отверстия матрицы с интенсивной деструкцией полисахаридов под действием сдвига и мгновенного увеличения объема жгутов из-за перепада давления перед матрицей *6* (до 10 МПа) и после нее. Экструдат имеет пористую структуру, толщина стенок пор зависит от качества сырья и условий экструдирования. Температура обработки крахмалсодержащего материала колеблется в широких пределах, но обычно составляет 140—180 °С.

Набухающие крахмалы используют в пищевой промышленности (пудинги быстрого приготовления, стабилизаторы пастило-зефирных изделий, компоненты сухих смесей мороженого, безбелковые хлеб, кексы, макароны и т. п.) и для различных технических целей (стабилизаторы глинистых суспензий, используемых при бурении скважин, пластификатор и удержатель избыточной влаги формовочных смесей литейного производства и др.).

Замещенные крахмалы. К этому виду крахмалопродуктов относят модифицированные крахмалы, полученные введением в молекулы полисахаридов замещающих групп в результате реакций этерификации или сополимеризации. К замещенным крахмалам относят эфиры крахмала и солей фосфорной кислоты. Различают **монокрахмалофосфаты,** в которых спиртовая группа мономера замещена кислотной группой остатка фосфорной кислоты или ее солей, и **дикрахмалофосфаты,** в которых фосфатный остаток прореагировал с двумя спиртовыми группами соседних молекул полисахарида. Монокрахмалофосфаты приготовляют обработкой смеси крахмала с солями фосфорной кислоты, дикрахмалофосфаты — с триметафосфатом натрия, хлорокисью фосфора и др.

Технологическая схема производства фосфатных крахмалов представлена на рис. 73. Сухой кукурузный крахмал через дозирующее устройство вво-

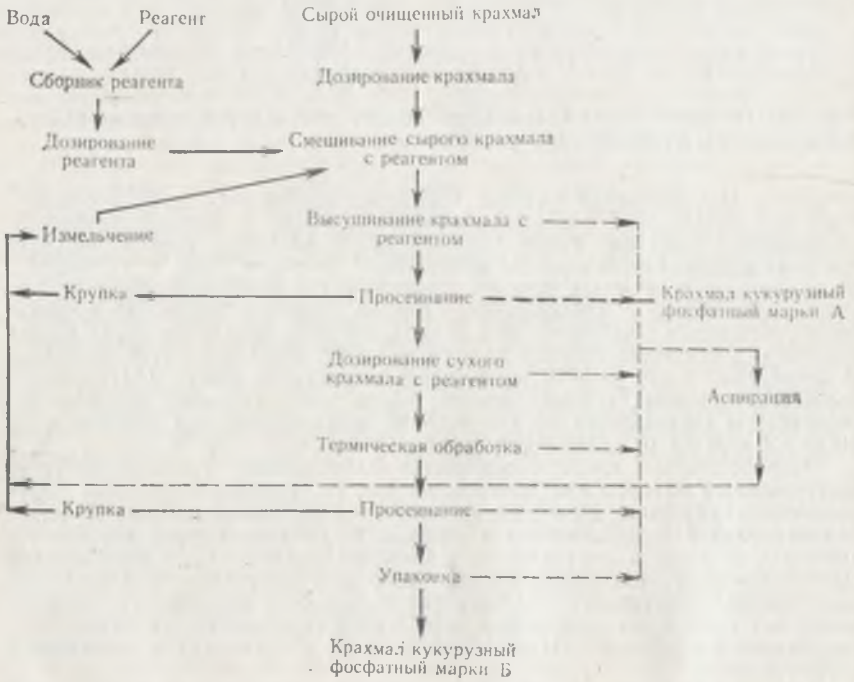


Рис. 73. Технологическая схема производства фосфатного крахмала

дят в смеситель, где его тщательно смешивают с раствором фосфатов. Содержание связанного фосфора в пищевом эфире крахмала не должно превышать 0,4 % — в монокрахмалофосфате и 0,04 % — в дикрахмалофосфате. После смешивания крахмала и реагентов смесь высушивают в пневматической сушилке, просеивают и направляют на термическую обработку. Последнюю проводят в реакторах, конструктивно сходных с декстринизаторами. Температура обработки смеси крахмала и реагентов составляет 130—170 °С, а продолжительность 1—3 ч.

После завершения термической обработки фосфатный крахмал охлаждают, просеивают и направляют на упаковку.

Крахмалофосфаты образуют клейстеры повышенной вязкости, стабильные при хранении, устойчивые к замораживанию — оттаиванию, перемешиванию, перекачиванию и понижению pH системы.

Фосфатный крахмал стабилизирует и эмульгирует системы жир — вода, поэтому его применяют в производстве салатных приправ, майонеза, мясных консервов, кремов, а также продуктов, хранящихся в замороженном виде.

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРАХМАЛЬНОЙ ПАТОКИ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГИДРОЛИЗА КРАХМАЛА

Патока и кристаллическая глюкоза представляют собой продукты гидролитического расщепления крахмала, поэтому процесс гидролиза (осахаривания) занимает ведущее место в технологии этих производств.

Под гидролизом понимают реакцию взаимодействия вещества с водой, при которой молекулы вещества расщепляются с одновременным присоединением по месту разрыва связей молекулы воды.

В холодной воде крахмал практически не гидролизуется. При повышении температуры воды реакция идет с недостаточной для практических целей скоростью. Для ускорения процесса гидролиза используют катализаторы. Такими катализаторами в паточно-глюкозном производстве являются минеральные кислоты (обычно соляная или серная) или амилолитические ферменты.

Гидролиз крахмала обычно проводят при температуре от 100 до 150 °С. Сначала происходит ослабление и разрыв связей между макромолекулами амилопектина и амилазы, что сопровождается нарушением структуры крахмальных зерен и образованием гомогенной массы. При дальнейшем воздействии кислоты разрываются α-1,4- и α-1,6-глюкозидные связи и по месту разрыва присоединяется молекула воды. В результате разрыва всех связей образуется глюкоза.

Химизм процесса гидролиза выражается уравнением (без учета промежуточных продуктов)

$$(C_6H_{10}O_5)\,n + nH_2O = nC_6H_{12}O_6$$

или после исключения n

$$\underset{162}{C_6H_{10}O_5} + \underset{18}{H_2O} = \underset{180}{C_6H_{12}O_6}.$$

Отсюда теоретический выход глюкозы в процессе гидролиза составляет $(180/162)\,100 = 111{,}1$ % к массе крахмала.

По мере расщепления крахмала синяя окраска раствора йода, характерная для растворимого крахмала, постепенно переходит в сине-фиолетовую, затем в вишнево-красную, а далее остается без изменения. Окраска йода зависит от содержания промежуточных продуктов гидролиза крахмала, которые известны под общим названием декстрины. Они обладают различной редуцирующей способностью и в зависимости от этого подразделяются на амило-, эритро- и ахродекстрины. При образовании ахродекстринов цвет йодного раствора от добавления сиропа уже не изменяется и остается неизменным до конца гидролиза.

Конечным продуктом гидролиза крахмала является моносахарид глюкозы.

Основное уравнение кинетики процесса гидролиза имеет вид

$$dx/d\tau = K_1(a - x),$$

где x — редуцирующая способность углеводов гидролизата, выраженная в эквивалентах глюкозы, %; τ — продолжительность гидролиза, ч; K — константа скорости гидролиза; a — исходное количество крахмала в эквивалентах глюкозы (теоретический выход глюкозы, равный 111,1 %).

Факторы, влияющие на скорость гидролиза. Скорость гидролиза крахмала зависит в основном от вида и концентрации кислоты и от температуры.

Кислота в процессе гидролиза играет роль катализатора. Каталитическое действие кислоты зависит от ее концентрации и степени электролитической диссоциации: чем выше диссоциация кислоты, тем больше ее активность.

Практическое применение нашли сильные кислоты, например соляная. Согласно современной теории сильных электролитов соляная кислота полностью диссоциируется при любых концентрациях. Каталитическое действие кислот пропорционально не общей концентрации водородных ионов, а концентрации только активной их части.

В крахмало-паточной промышленности количество кислоты на гидролиз принято рассчитывать в процентах к массе безводного крахмала. Концентрация ее в крахмальном молоке составляет 0,05—0,08 %.

Крахмал всегда содержит то или иное количество примесей, способных реагировать с кислотой, понижая концентрацию ее в растворе. Связывают кислоту главным образом фосфаты и частично — аминокислоты. В результате взаимодействия, например, соляной кислоты с первичным фосфатом (присутствующим в крахмале в значительном количестве) связываются две мо-

лекулы этой кислоты и освобождается такое же количество фосфорной кислоты с каталитической активностью лишь 25 %:

$$Ca(H_2PO_4) + 2HCl = 2H_3PO_4 + CaCl_2.$$

Аминокислоты и другие продукты гидролиза белков реагируют с соляной кислотой по уравнению

$$NH_2 \cdot R \cdot COOH + HCl = Cl \cdot NH_3 \cdot R \cdot COOH.$$

Количество связываемой примесями соляной кислоты составляет в среднем 0,05 % к массе крахмала, или от 12 до 50 % от принятой в производстве дозировки.

С повышением температуры скорость гидролиза крахмала возрастает; так, при повышении ее на 10 °С константа гидролиза возрастает в 2,69 раза. Зависимость от температуры (для 0,1 н. раствора соляной кислоты pH≅1) выражается уравнением

$$\lg K_1 = 0{,}043t - 4{,}819.$$

В. А. Смирнов, объединив уравнения для скорости гидролиза крахмала в зависимости от pH и температуры, получил

$$\lg K_1 = -2{,}125 - 0{,}536\text{pH} + 0{,}0215t.$$

В процессе осахаривания одновременно идут реакции гидролиза крахмала, реверсии глюкозы, гидролиза ревертоз и необратимого разложения глюкозы. Реакция реверсии сопровождается образованием из глюкозы более сложных углеводов.

При высокой концентрации сиропа и продолжительном воздействии кислоты при гидролизе образуется значительное количество продуктов реверсии. Цветность гидролизата при этом резко возрастает. Отсюда следует важный вывод для практики, который заключается в том, что при производстве глюкозы нужно применять крахмальное молоко не очень высокой концентрации, которая не превышает 23—25 %.

ПОЛУЧЕНИЕ ПАТОКИ ГИДРОЛИЗОМ КРАХМАЛА СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ

В настоящее время в большинстве случаев патоку получают с использованием гидролиза крахмала соляной кислотой и очисткой сиропов активным углем. При этом при степени чистоты (доброкачественность) перерабатываемого крахмала не ниже 98,6 %, содержании протеина 0,8 и растворимых веществ 0,10 % разрешается работать по схеме с однократным обесцвечиванием только жидкого сиропа. По данной схеме можно перерабатывать картофельный, кукурузный или другой зерновой крахмал.

Принципиальная схема производства представлена на рис. 74.

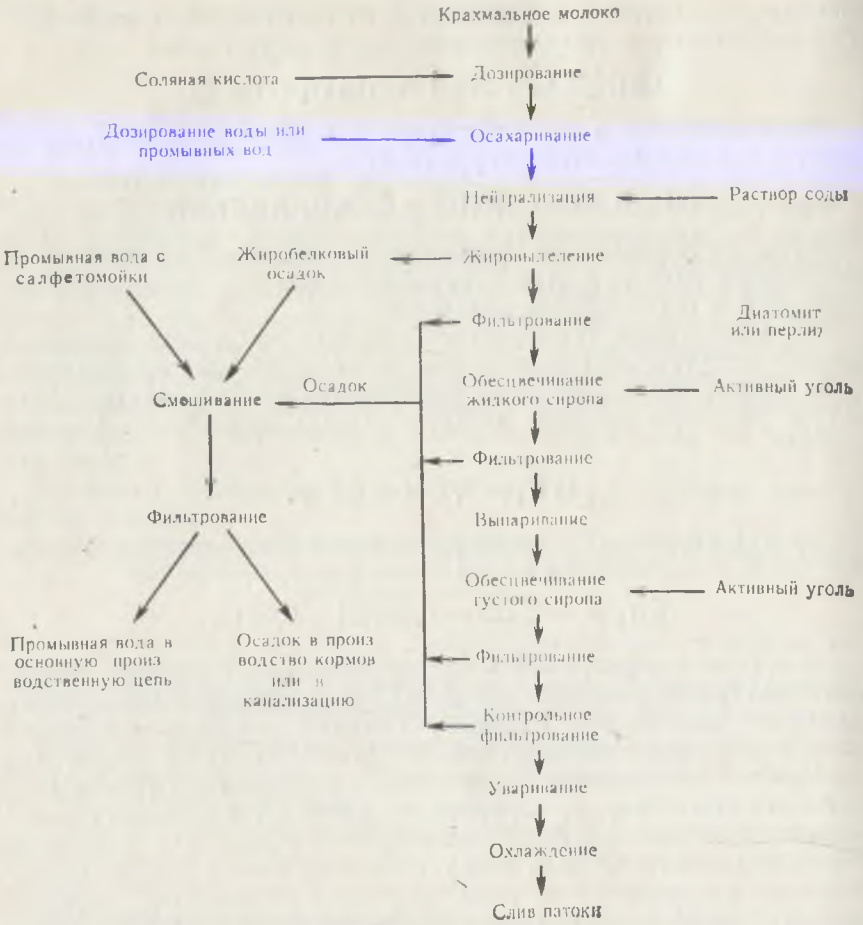


Рис. 74. Принципиальная технологическая) схема производства крахмальной патоки

Крахмал разводят водой температурой 50—55 °С до концентрации 40—43 % при непрерывном перемешивании и направляют на станцию дозирования. Отмеривают необходимое для гидролиза количество кислоты. Крахмальную суспензию подают в конвертор, где находится подкисленная вода на заливку барботера.

При работе на непрерывном осахаривателе крахмала кислота поступает в сборник перед гидролизом. Кислый гидролизат крахмала нейтрализуют раствором соды. При периодическом гидролизе (конвертор) сироп нейтрализуют в нейтрализаторе, куда подают отмеренную порцию раствора соды; при работе на осахаривателе нейтрализацию осуществляют непрерывно.

Нейтрализованный сироп содержит взвешенные вещества,

состоящие в основном из белка и жира. Для отделения их с целью улучшения работы последующих станций сироп обрабатывают в скиммере или сепараторе-жировыделителе. Отделение оставшихся взвешенных веществ проводят путем фильтрования с использованием фильтрующего материала — диатомита или перлита. Чистый жидкий сироп обрабатывают активным углем; при этом происходит в основном обесцвечивание сиропа. После фильтрования жидкий сироп подогревают в подогревателе, уваривают в трехкорпусной выпарной установке до содержания сухих веществ 55—57 %. Густой сироп после подогрева в подогревателе обрабатывают активным углем, фильтруют и после контрольного фильтрования уваривают до содержания сухих веществ не менее 78 % в вакуум-аппарате. Готовую патоку спускают в холодильники, где охлаждают до 40 °С, после чего направляют в железнодорожные цистерны или бочки.

Качество патоки, ее сорта и их свойства. В нашей стране в настоящее время вырабатывают патоку крахмальную, качество которой оценивается государственным стандартом «Патока крахмальная».

Качественные показатели крахмальной патоки приведены в табл. 34.

Таблица 34

Показатели	Патока			
	низкоосахаренная (КН)	Карамельная: высшего сорта (КВ)	Карамельная: I сорта (КI)	глюкозная высокоосахаренная (ГВ)
Прозрачность	Прозрачная. Допускается небольшая опалесценция; леденец, получаемый при варке карамельной пробы, должен быть прозрачным			
Вкус и запах	Свойственные патоке, без посторонних привкусов и запаха			
Содержание СВ, %, не менее	78,0	78,0	78,0	78,0
Содержание редуцирующих веществ, %, в пересчете на СВ	30—34	38—42	34—44	44—60
Содержание золы, %, в пересчете на СВ, не более	0,4	0,4	0,45	0,55
Кислотность, мл 0,1 н. раствора гидроксида натрия на 100 г СВ патоки, не более				
картофельной	25	25	27	—
кукурузной	12	12	15	—
pH, не ниже				
картофельной	4,6	4,6	4,6	—
кукурузной	4,6	4,6	4,6	—
Температура карамельной пробы, °С	155	145	140	—
Цветность по эталону, мл, не более	—	3	6	—

В патоке не допускается присутствие тяжелых металлов мышьяка, минеральных кислот и механических примесей.

Свойства патоки в основном определяются ее углеводным составом, представляемым обычно глюкозой, мальтозой и высшими олигосахаридами (декстринами).

В обычной патоке, содержащей 40 % редуцирующих веществ, находится (%): глюкозы — 20, мальтозы — 20, изомальтозы — 20 и более, высокомолекулярных сахаров — 40. Такая патока применяется в основном в кондитерской промышленности.

Патока низкой степени осахаривания содержит лишь до 10 % глюкозы и до 70 % декстринов. Низкое содержание глюкозы позволяет значительно повысить стойкость карамели в процессе хранения.

Высокоосахаренная патока с редуцирующими веществами в пределах до 70 % имеет в своем составе 40—43 % глюкозы, 54—56 % мальтозы и 4—8 % декстринов. Эта патока имеет более высокую степень сладости, пониженную вязкость, отличается повышенным осмотическим давлением по сравнению с сахарозой. Эти свойства повышают ее эффективность при производстве пастильно-зефирных и помадных изделий, выработке бисквитных изделий, в хлебопечении, для консервирования фруктов и ягод, в производстве мороженого.

Кроме углеводов патока содержит незначительное количество зольных элементов, азотистых и красящих веществ; содержание золы колеблется от 0,2 до 0,5 % и зависит от вида и качества перерабатываемого крахмала. Количество азотистых веществ составляет 0,05—0,1 % для патоки высшего сорта и 0,17—0,25 % для патоки пониженного качества.

Зависимость теплоемкости сухих веществ [в кДж/(кг·К)] от температуры выражается формулой

$$c = 1{,}4352 + 0{,}006682t,$$

где t — температура патоки.

Одно из важнейших свойств патоки — вязкость зависит от углеводного состава ее (табл. 35).

Таблица 35

Содержание, %				Вязкость (в Па·с) при температуре °С			
редуцирующих веществ	глюкозы	мальтозы	декстринов	80	60	40	20
39,8	22,1	22,4	54,3	2,2	13,4	145,7	4073,3
52,7	28,1	30,9	40,3	0,2	1,0	9,9	154,0

Качество крахмала, поступающего на переработку в патоку, должно отвечать требованиям государственных и отраслевых стандартов.

Крахмал кукурузный, поступающий в паточный цех из цеха кукурузного крахмала в виде крахмальной суспензии, должен иметь степень чистоты (доброкачественность) не ниже 98,6 % и содержать примесей (% на сухую массу, не более):

Протеин	0,80
Растворимые вещества	0,10
Зола	0,15
Экстрагируемый жир	0,15
Мезга	0,10

Кислотность крахмальной суспензии не должна превышать 30 мл 0,1 н. NaOH на сухую массу крахмала.

При производстве патоки используются следующие вспомогательные материалы: кислота соляная, кислота серная, сода кальцинированная, мел, натрий едкий технический, масло кукурузное, кизельгур, порошки перлитовые фильтровальные, бентонит, уголь активный древесный порошкообразный, уголь активный «КаД-молотый» и УАФ, уксуснокислый натрий марки А, гидросульфит натрия, ткань шелковая, ткань капроновая, бельтинг, фильтродиагональ, фильтрометкаль.

Гидролиз крахмала. Процесс гидролиза осуществляют при высокой температуре, контролируемой по давлению пара, в присутствии минеральных кислот. Степень осахаривания контролируют по содержанию редуцирующих веществ гидролизата.

Во всем мире для гидролиза в основном используют соляную кислоту. Практикой установлено, что наиболее приемлемой дозировкой соляной кислоты является 0,19—0,25 % газообразного HCl по массе сухого вещества крахмала. В производственных условиях гидролиз крахмала кислотой осуществляют в конверторах периодического действия или осахаривателях непрерывного действия.

Подготовка крахмала к гидролизу. Качество крахмала, поступающего на производство патоки, должно отвечать требованиям государственных стандартов и норм, предусмотренных технологической инструкцией.

Допускается совместная переработка кукурузного, картофельного и пшеничного крахмалов. При переработке зерновых крахмалов особое внимание обращают на содержание растворимого белка, так как чем его меньше, тем лучше патока. Количество растворимого белка не должно превышать 0,01 %. Паточные заводы, перерабатывающие картофельный крахмал, получают его как из цехов сырого крахмала, так и от картофелеперерабатывающих заводов, прикрепленных к ним. В первом случае подготовка крахмала проводится в цехе переработки картофеля. Картофельный крахмал, перерабатываемый на патоку, должен иметь показатели качества, соответствующие по ОСТу I сорту марок А и Б. Сырой крахмал более низкого качества должен быть предварительно подвергнут размывке

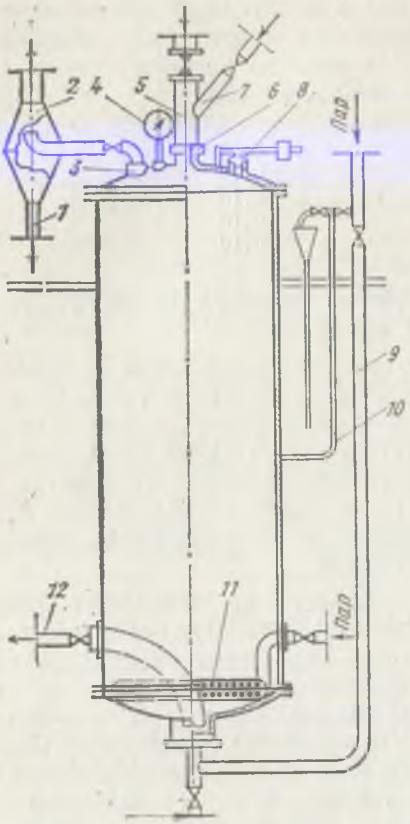


Рис. 75. Конвертор

на одном из видов оборудования, имеющегося на заводе (гидроциклоны, центрифуги и др.).

Подготовленный к осахариванию крахмал разводят водой температурой 50—55 °С до концентрации 40—43 % при непрерывном перемешивании в сборнике. Из сборника крахмальная суспензия подается в мерник для отмеривания определенной порции для гидролиза.

Мерник крахмального молока представляет собой деревянный или металлический сборник, снабженный мешальным механизмом с частотой вращения 20—25 об/мин. В верхней части мерника, ниже верхнего борта, укреплена переливная труба, которая обеспечивает постоянный объем поступающего на гидролиз молока. Возможна автоматизация уровня с помощью специальных датчиков. Спускной клапан находится на дне мерника. Для более полного стока крахмального молока днище мерника должно иметь уклон к спускному клапану. Мерник необходимо устанавливать так, чтобы обеспечить подачу крахмального молока на гидролиз самотеком.

Гидролиз крахмала в конверторах. Конверторы (рис. 75) изготавливают из нержавеющей стали, бронзы или меди. Они имеют сферические крышку и днище. На крышке конвертора расположено три штуцера: *3* — для сообщения с атмосферой через ловушку *2*, *6* — для ввода в конвертор подкисленной воды и крахмальной суспензии, *8* — для размещения предохранительного клапана. Подкисленную или промывную воду на заливку барботера *11* отмеривают в специальном мернике и по трубе *7* направляют в конвертор. Количество жидкости должно быть достаточно для затопления барботера. Крахмальную суспензию вводят в конвертор по трубе *5*. Мерники суспензии располагают над конверторами на отметке не ниже 3,0 м. Воздух и пар при заполнении конвертора подкисленной водой и заварке уходят в атмосферу через ловушку. Капли

клейстера или сиропа из ловушки по трубе *1* отводятся в специальный сборник.

Для наблюдения за давлением пара в конверторе на верхней крышке установлен манометр *4*. В нижней части конвертора расположен барботер *11*, через который вводят пар для перемешивания крахмальной суспензии, заварки и разжижения клейстера и быстрого повышения давления при осахаривании. В нижнюю часть конвертора по трубе *9* подают пар для предотвращения образования комков клейстера в слое осахариваемой массы ниже барботера.

Отбор проб сиропа на анализ проводят по трубе *10*. Готовый сироп выдувают из конвертора в нейтрализатор по трубе *12*, конец которой введен в специальные углубления в днище, что обеспечивает полное удаление сиропа.

Процесс осахаривания крахмала в конверторе длится 20—22 мин и включает следующие операции: спуск подкисленной воды и ее нагрев — 2 мин; спуск и заварка крахмала — 6—8 мин; повышение давления до рабочего — 3 мин; осахаривание — 3 мин; выдувка в нейтрализатор — 6 мин.

Процесс осахаривания проводят следующим образом. Производят контрольный осмотр конвертора, после чего закрывают выдувной вентиль и открывают вентиль на трубе, соединяющей конвертор с ловушкой. Отмеренную порцию подкисленных промоев, куда введено все количество HCl, спускают в конвертор и закрывают вентиль на трубе этого продукта. Промои доводят до интенсивного кипения подачей пара через барботер, и избыточное давление повышают до 0,02—0,03 МПа. Одновременно открывают вентиль подачи пара в пространство под барботером. При кипении промоев медленно сливают суспензию крахмала из мерника в конвертор. Подачу пара в процессе заварки регулируют так, чтобы избыточное давление в конверторе поддерживалось на уровне 0,02—0,03 МПа. По окончании заваривания крахмала трубу подачи суспензии промывают небольшим количеством воды и вентиль на трубе закрывают. В этот момент закрывают вентиль на трубе, соединяющей конвертор с ловушкой. Давление в конверторе повышают до 0,25—0,32 МПа и через 1—2 мин после достижения этого давления начинают отбор сиропа для определения по йодной пробе. Если проба соответствует эталону, содержимое немедленно выдувают в нейтрализатор.

После выдувания сиропа конвертор немедленно сообщают с атмосферой во избежание образования разрежения при случайном попадании воды, что может привести к порче конвертора.

Гидролиз крахмала в осахаривателях непрерывного действия. Осахаривание крахмала в аппаратах периодического действия во многих случаях приводит к значительным колебаниям в содержании редуцирующих веществ в сиропах, повышенному расходу пара и неравномерности его потребления, уменьшению концентрации сиропа по сравнению

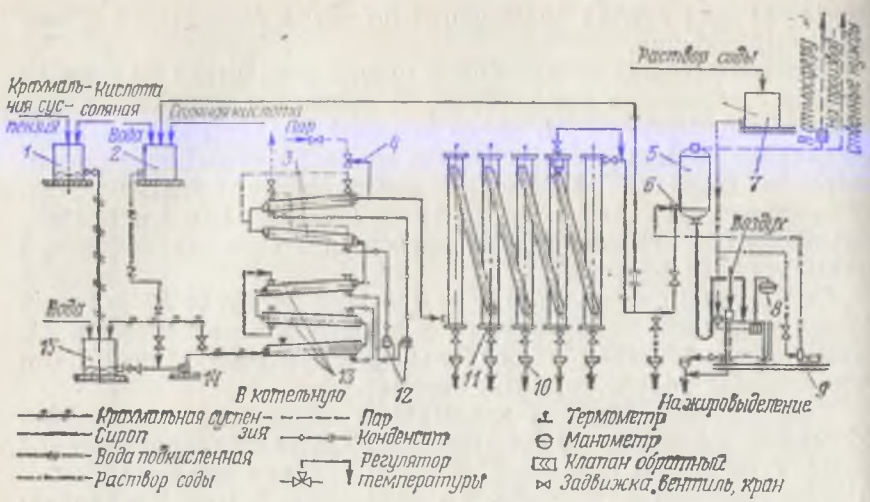


Рис. 76. Схема непрерывного осахаривателя крахмала системы НОК-300

с исходным продуктом. Кроме того, сложно осуществить автоматическое регулирование процесса.

Аппараты непрерывного гидролиза крахмала позволяют устранить указанные недостатки, сэкономить пар (25—30 %) и получить сиропы повышенных плотностей по сравнению с исходным продуктом.

За рубежом большое распространение при производстве патоки получили непрерывные осахариватели крахмала системы Кройера, а также голландской фирмы «Континенталь инжиниринг». В нашей стране разработаны непрерывные осахариватели типа НОК.

Разработаны конструкции непрерывных осахаривателей производительностью 100, 150 и 300 т патоки в сутки.

Технологическая схема непрерывного модернизированного осахаривателя для производства патоки НОК-300М приведена на рис. 76.

Подкисленная крахмальная суспензия из мерника 1 самотеком поступает в буферный сборник *15* для регулирования концентрации, которая для проведения процесса гидролиза крахмала в непрерывном осахаривателе должна составлять 38—40 % СВ с отклонением $\pm 0{,}5$ %.

Крахмальная суспензия нагнетается центробежным насосом *14* в последовательно соединенные теплообменники *13*, в которых она подогревается до 52—55 °С с горячим конденсатом из конденсатоотводчика *12*, затем поступает в нагреватели *3*, обогреваемые острым паром давлением 0,45—0,50 МПа. При этом крахмал клейстеризуется и нагревается до температуры осахаривания. Теплообменник состоит из трубок, выполненных

из кислотостойкой стали, заключенных в стальной кожух. Продукт движется внутри трубок, а пар — в межтрубном пространстве. Из подогревателей продукт поступает в зону осахаривания *11*, где происходит гидролиз его до необходимой степени. Зона осахаривания представляет собой медные трубы, расположенные вертикально и соединенные в секции с подводом продукта снизу в каждую секцию. Секции снабжены краном и спускной воронкой *10* для спуска гидролизата при выключении осахаривателя из работы.

Вместимость всех труб рассчитана на время пребывания продукта, необходимое для достижения заданной степени осахаривания. Температура его перед зоной осахаривания поддерживается автоматически регулятором *4* на уровне 144—146 °С. Из зоны осахаривания (из последней трубы или из предпоследней в случае необходимости снижения степени осахаривания) сироп поступает в непрерывнодействующий нейтрализатор *6*.

Бракованный сироп возвращается на переработку в сборник подкисленной воды *2*. Нейтрализация осахаренного сиропа производится путем смешивания его с раствором кальцинированной соды, поступающим из сборника *7*. Раствор соды подают насосом *9*, контроль за величиной pH осуществляют с помощью pH-метра *8*.

Непрерывный нейтрализатор *6* представляет собой трубу с рядом отверстий, в которые под давлением подается раствор соды. Перпендикулярное направление струи соды направлению движения продукта способствует интенсивному перемешиванию ее с сиропом. Горячий сироп из нейтрализатора поступает по касательной через штуцер в нижнюю часть испарителя *5*. В результате резкого снижения давления (с 0,45 до 0,1 МПа) происходит интенсивное парообразование. В центре испарителя укреплен отбойный козырек, предназначенный для рассредоточения потока пара. Для отделения частичек сиропа, увлекаемых выходящим потоком пара, в испарителе установлены другой отбойный козырек и ловушка. Освобожденный от сиропа пар выводится в атмосферу или используется на производственные нужды.

Сироп из испарителя через гидравлический затвор поступает в нейтрализатор, где происходит окончательная нейтрализация сиропа с доведением величины pH до 4,7—4,9. Сборник сиропа рассчитан на восьмиминутный запас, спуск продукта из него осуществляется переливом.

На основе опыта эксплуатации аппарата НОК-300М и литературных данных о зарубежных осахаривателях в нашей стране разработаны осахариватели различной производительности для выработки патоки.

Осахариватель 300М имеет поверхность подогревателей 92,5 м², время пребывания продукта в зоне гидролиза 3,5 мин, давление продуктового насоса 0,7 МПа.

Схема автоматизации для процессов гидролиза и нейтрали-

зации гидролизатов, осуществляемая в непрерывнодействующих аппаратах для производства патоки, предусматривает учет продукта, поступающего на гидролиз (сухие вещества); подкисление крахмальной суспензии по объему, т. е. на определенный объем подается определенная порция соляной кислоты, контроль и регулирование нагрева продукта до температуры гидролиза двумя не связанными между собой контурами, так как теплообменники разделены на две зоны подогрева: I — предварительного нагрева крахмальной суспензии, II — подогрева продукта до температуры гидролиза.

Разрежение в испарителе регулируется автоматически благодаря изменению оттяжки количества вторичного пара на нужды производства.

Схема состоит из нескольких контуров контроля и регулирования технологических процессов.

Контроль процесса осахаривания как в конверторе, так и непрерывном осахаривателе ведут с использованием метода «иодной пробы». Иодная проба заключается в следующем. В стеклянную пробирку наливают $^5/_6$ объема воды, добавляют 2—3 капли 2,5%-ного раствора иода и хорошо перемешивают, затем осторожно по стенке вводят 3—4 капли гидролизата и наблюдают за окраской.

В зависимости от содержания в гидролизате редуцирующих веществ раствор иода становится при 36—39 % вишневым, иногда с фиолетовым оттенком, при 40—42 % — малиновым или оранжевым, при 43—45 % — светло-оранжевым, при более высоком содержании редуцирующих веществ остается без изменения. Более точно заданную степень осахаривания устанавливают сравнением окраски пробы с окраской эталонов, которые готовит заводская лаборатория из жидкого сиропа с известным содержанием редуцирующих веществ.

Нейтрализация гидролизатов. После того как достигнута необходимая степень гидролиза, процесс должен быть прекращен и вся свободная кислота удалена, поэтому сироп спускают в нейтрализатор.

Для нейтрализации используют раствор углекислого натрия (соды). Реакция протекает в соответствии с уравнением

$$2HCl + Na_2CO_3 = 2NaCl + CO_2 + H_2O.$$

Образовавшийся хлористый натрий остается в растворе и обусловливает величину зольности патоки, поэтому превышение расхода соляной кислоты на гидролиз приводит к повышению зольности патоки, что недопустимо.

Избыток соды отрицательно влияет на качество сиропа, так как при взаимодействии с ней даже на холоде глюкоза частично разрушается с образованием окрашенных продуктов.

Ход реакции контролируют путем определения величины pH сиропа.

В крахмале, как известно, присутствует фосфорная кислота, которая переходит в сироп и отнейтрализовывается позже соляной, так как она менее диссоциирована.

Реакция нейтрализации идет по уравнению

$$H_3PO_4 + Na_2CO_3 = 2NaH_2PO_4 + H_2O + CO_2.$$

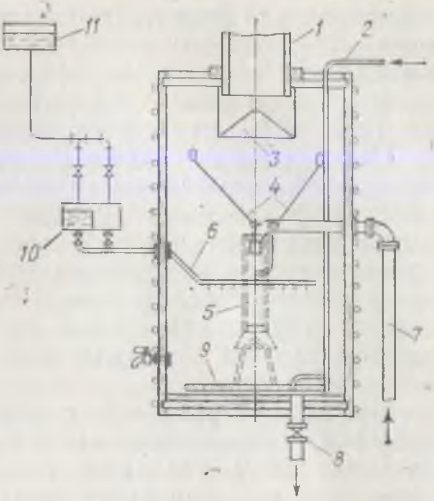


Рис. 77. Нейтрализатор

Нейтрализация кислых сиропов для максимальной коагуляции белковых веществ при нормальной цветности сиропа проводится до pH 4,6—4,7. Хорошо скоагулированные белковые вещества сиропа в виде хлопьев всплывают на поверхность (при переработке кукурузного крахмала), что позволяет хорошо очищать их методом отстаивания, а также разделять на центрифугах.

При переработке картофельного крахмала избыток соды нежелателен, так как, вступая в реакцию с фосфатами, сода переводит их из кислых в средние, отчего патока в процессе хранения быстрее темнеет и может давать муть вследствие выпадения солей кальция и железа.

Для нейтрализации сиропов содой применяют металлические (из нержавеющей стали) или деревянные нейтрализаторы (рис. 77).

Сироп, подлежащий нейтрализации, попадает из конвертора в нейтрализатор по трубе *7*, нижний конец которой направлен на конус *5*, предохраняющий днище нейтрализатора от удара струи сиропа, поступающего под высоким давлением. Конец продуктовой трубы и конус прикреплены к стенкам нейтрализатора тягой *4*. Более целесообразно конус *5* устанавливать у дна аппарата, как показано на рисунке пунктиром. При этом потери в результате самоиспарения будут значительно меньшими. Для уменьшения потерь сиропа на трубе *1*, служащей для удаления пара из нейтрализатора, установлен брызгоулавливатель *3*.

Перемешивание сиропа с раствором соды производится воздухом через барботер *9*, в который он подается по трубе *2*. Давление сжатого воздуха не должно быть ниже 0,05 МПа. Раствор соды приготовляется в отдельном сборнике, расположенном обычно на первом этаже, из расчета запаса на работу смены. Из этого сборника раствор подается в верхний расходный сборник *11*, из которого он самотеком поступает в мерник *10*. Из мерника раствор соды направляется в трубу *6* с от-

верстиями для более равномерного распределения по массе сиропа. Для нейтрализации используют раствор соды концентрацией 16—18 %. Готовый сироп спускают по трубе *8*. Температура сиропа, поступающего в нейтрализатор, снижается со 138—140 до 100—102 °С, происходит значительное самоиспарение.

Нейтрализация сиропов проходит при температуре 95—90 °С, до которой охлаждается сироп за счет подачи раствора соды и продувания его воздухом через барботер. В период нейтрализации возможны потери сиропа с парами и углекислотой в атмосферу. Для уменьшения этих потерь нейтрализатор заполняют кислым сиропом только на 15 % емкости, а сечение вытяжной трубы определяют из расчета скорости пара 3 м/с, расхода воздуха на перемешивание 1 м³/мин на 1 м² поверхности жидкости.

Процесс нейтрализации сводится к следующему. После подачи сиропа в нейтрализатор через барботер постепенно вводят воздух; при этом удаляется основная масса пара и проходит энергичное перемешивание сиропа. Отбирают пробу сиропа для контроля йодом на полноту осахаривания. При нормальной йодной пробе начинают подачу содового раствора через барботер. После подачи около 70 % теоретически необходимого количества содового раствора из нейтрализатора отбирают пробу, фильтруют ее через бумажный фильтр и проверяют полноту нейтрализации одним из принятых методов. Показатель pH нейтрализованного сиропа должен быть 4,6—4,8. При проведении процесса нейтрализации очень важно правильно определить конец нейтрализации, так как от этого во многом зависит нормальная работа следующих станций и качество выпускаемой патоки.

Конец нейтрализации можно определить также, кроме pH-метра, по осадку, образующемуся в гидролизате после нейтрализации. В гидролизате белки находятся в основном в растворенном состоянии. При добавлении в такой сироп раствора соды наряду с нейтрализацией соляной кислоты происходит коагуляция белковых веществ и выпадение их в осадок, поэтому при добавлении содового раствора гидролизат вначале мутнеет. При дальнейшем добавлении содового раствора появляются уже отдельные частички мути, которые затем превращаются в довольно крупные хлопья. Эти хлопья, состоящие в основном из жира и белка, всплывают. Если взять пробу правильно отнейтрализованного гидролизата в стакан, то после пятиминутного отстаивания в стакане наблюдается резкое разделение слоев: внизу — прозрачный сироп, вверху — скоагулированные хлопья белка и жира. При получении такой пробы следует считать, что процесс нейтрализации проведен правильно.

В работе нейтрализатора могут быть следующие нарушения.

Перенейтрализация сиропа может произойти, если в нейтрализатор подана лишняя порция содового раствора или неисправен вентиль на линии содового раствора, и он поступает в ней-

трализатор. В этом случае добавляют некоторое количество соляной кислоты и доводят величину pH до 4,6—4,8. Цветность такого сиропа будет выше обычной. Такой сироп небольшими порциями направляют в линию очистки, увеличив количество активного угля на обесцвечивание.

Неполная нейтрализация сиропа может произойти, если в нейтрализатор не будет подана полная порция содового раствора или если неисправен спусковой вентиль из конвертора.

Если гидролизат недонейтрализован, значительно снижается эффект выделения жира на последующей операции технологического процесса, уменьшается производительность фильтрующего оборудования, что увеличивает расход вспомогательного фильтрующего материала (диатомита или перлита), и соответственно увеличиваются потери сухих веществ патоки.

Нормально нейтрализованные сиропы имеют светло-желтую окраску с цветностью не более 0,35 ед. оптической плотности.

Нейтрализатор работает периодически. Режим его работы тесно связан с режимом работы конвертора. Продолжительность отдельных операций (в мин) при нейтрализации: наполнение (выдувка из конвертора) 7—8; нейтрализация 4—5; спуск сиропа 12—15; полный оборот нейтрализатора 23—28. Обычно на один конвертор устанавливают один нейтрализатор.

На предприятиях крахмало-паточной промышленности разгрузка и подача соляной кислоты в производство осуществляются различно.

На отдельных заводах для приема поступившей кислоты смонтированы большие емкости (до 70 м³), изготовленные из стали и гуммированные внутри. Такая цистерна герметически закрывается съемной крышкой, на которой имеются три штуцера — для манометра, воздуха и перекачивания кислоты. Соляную кислоту разгружают под давлением воздуха 0,07 МПа.

Для подачи кислоты в паточный цех устанавливают два сборника вместимостью 50 и 100 л. Первый используется под монжус, второй — расходный. В первый сборник кислота подается с помощью воздуха через монжус, из второго кислота через мерник дозируется на гидролиз.

На Верхнеднепровском крахмало-паточном комбинате работает система автоматического дозирования кислоты. Система предусматривает управление подачей крахмального молока и промывных вод в мерники, дозирование кислоты в указанные мерники, сигнализацию предельных уровней кислоты, крахмального молока и промывных вод в емкости, стабилизацию давления греющего пара, поступающего в конвертор. Управление подачей соляной кислоты в сборник осуществляется по командам сигнализаторов уровней. При снижении уровня кислоты в сборнике ниже необходимого поступает команда на подачу кислоты в сборник. О наличии кислоты в сборнике сигнализируют лампы. Для нормальной работы паточного цеха сборник должен иметь объем, обеспечивающий запас соляной кислоты не

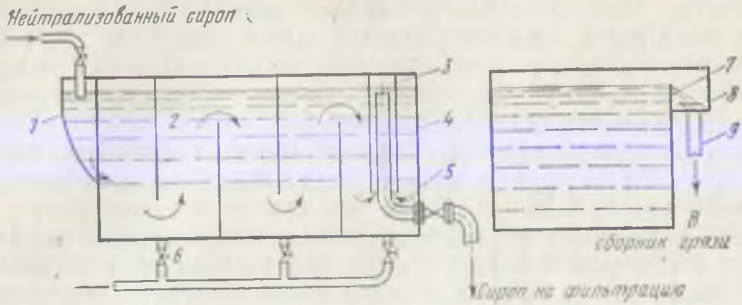


Рис. 78. Скиммер

менее чем на одну рабочую смену. В схеме работают два мерника кислоты, которые заполняются поочередно. В качестве материала для изготовления мерников применяют винипласт толщиной 8—10 мм. Учет количества крахмального молока, поступившего на гидролиз, производится с помощью счетчика, фиксирующего число сливов из мерника.

Выделение жиробелкового осадка. При нейтрализации гидролизата из кукурузного крахмала белковые вещества коагулируются. Капельки жира, содержащегося в исходном крахмале и освободившегося в процессе гидролиза, сливаются в крупные капли, которые, быстро поднимаясь на поверхность, увлекают за собой хлопья белков. В результате при отстаивании нейтрализованного сиропа на поверхность всплывает слой взвешенных веществ, называемый жиробелковой взвесью. Перед фильтрацией из нейтрализованного сиропа выделяют эту взвесь на специальных аппаратах, простейшим из которых является жироотделитель, или скиммер.

Скиммер, или жироотделитель (рис. 78), представляет собой стальной прямоугольный резервуар *4*, разделенный перегородками *2* на несколько частей. Часть перегородок прикреплена к днищу и не доходит до уровня сиропа на $^1/_3$ высоты, другая часть их начинается от верхнего борта и не доходит до дна жироотделителя. Сироп из нейтрализатора через секцию *1* проходит путь, указанный на рисунке стрелками. Очищенный сироп отводится по трубе *5*, помещенной в трубу *3*, верхний конец которой расположен выше уровня сиропа, а нижний не доходит до дна почти на 1 м. В каждом отделении скиммера имеется отверстие *6* для спуска сиропа. Жирная грязь собирается в желобах *7* и *8*, расположенных по всей длине скиммера, и через спускное отверстие *9* направляется в сборник фильтрационного осадка. Слой жирного осадка, как только толщина его достигнет 150 мм, вручную счищают в желоб *7*. Обычно это делают 1—2 раза в смену. Объем скиммера должен быть равен 30 % объема нейтрализатора.

Скиммер работает следующим образом. При пуске сиропа

поочередно заполняются все отделения до уровня второй и четвертой перегородок, дальнейшее наполнение всех отделений происходит одновременно и непрерывно. В трубе *3* сироп будет находиться на том же уровне, что и в скиммере. Когда уровень сиропа достигнет верхней кромки сливной трубы, сироп будет переливаться, благодаря чему уровень его в скиммере будет постоянным. Таким образом, прежде чем попасть в сливную трубу, сироп последовательно проходит через все отделения.

В результате такого движения, а также в связи с меньшей плотностью жиробелковых частиц они всплывают, а очищенный сироп покидает скиммер в нижней части последнего отделения. Слой жиробелковой взвеси периодически счищают, когда толщина слоя будет равна примерно 150 мм. Перед тем как удалить жиробелковый слой, закрывают спускной вентиль сиропа. При этом уровень сиропа поднимается, поднимая и жиробелковую взвесь. Скорость движения сиропа в скиммере должна быть небольшой.

Эффект очистки сиропа от жиробелковой взвеси составляет 30—40 % жира и 40—60 % белка. В выделенном осадке содержится 45—50 % влаги и 41—43 % углеводов; около 13,5 % составляют протеин, жир, зола.

Более прогрессивным способом отделения жиробелковой взвеси является применение сепараторов. На сепараторе можно получить жиробелковую фракцию в виде пасты с содержанием сухих веществ 70—75 % и выделить из нейтрализованного сиропа 85—97 % примесей.

Выделение жиробелковой взвеси в чистом виде позволяет использовать ее в качестве полноценной добавки в корм скоту.

Фильтрование паточных сиропов. Процесс фильтрования заключается в отделении взвешенных веществ от растворимых через фильтрующую перегородку, отверстия которой меньше по размеру, чем отделенные частицы.

Взвешенные вещества по своим физическим свойствам подразделяются на сжимаемые и несжимаемые. Несжимаемые осадки при отложении на фильтрующей перегородке создают относительно постоянное сопротивление прохождению жидкости, и скорость фильтрации находится в прямой зависимости от давления, толщины осадка и вязкости фильтруемой жидкости.

К несжимаемым осадкам относится вспомогательный материал, применяемый при фильтрации сиропов, — диатомит, перлит.

Нейтрализованный паточный сироп содержит труднофильтруемую фазу в количестве 0,55—0,85 % к массе продукта. Плотность сиропа 1190—1200 кг/м^3, температура 80—90 °С, pH 4,6—4,9. Твердая часть состоит из белков и жира, скоагулированных в виде хлопьев, часть из которых отделена на жироотделителе. В состав осадка нейтрализованного паточного сиропа входят 7—11 % белка, 45—55 % жира, 1,6—2,6 % золы.

Основные критерии фильтрации — чистота полученных фильт-

ратов и их количество, прошедшее через фильтрующую перегородку в единицу времени. В технике скорость фильтрации принято обозначать количеством фильтрата в кубических метрах или литрах, прошедших через 1 м² фильтрующей поверхности в единицу времени.

Движущей силой процесса фильтрования является разность давлений продукта по обе стороны фильтровальной перегородки. При этом с одной стороны перегородки, как правило, существует давление, а с другой — создается либо разрежение (вакуум-фильтры), либо избыточное давление (фильтр-прессы, дисковые, патронные и другие фильтры). Чем больше разность давлений, тем при прочих равных условиях выше скорость фильтрования.

Максимальный перепад давлений, который можно использовать при фильтровании, обусловлен структурой осадка. Так как осадок после нейтрализации паточно-глюкозных сиропов относится к числу сжимаемых, что не позволяет использовать высокий перепад давлений (более 0,2 МПа на фильтр-прессах и 0,35 МПа на автоматических напорных фильтр-прессах), в конце фильтрования после достижения указанных давлений он настолько сжимается, что поры в них практически закупориваются и процесс прекращается. Если осадок не сжимается, в случае фильтрации сиропов после обработки активным углем процесс можно вести при давлении до 0,8 МПа.

Основным фактором, влияющим на скорость фильтрации, является качество перерабатываемого крахмала. Так, если гидролизу подвергается кукурузный крахмал с содержанием белка выше 0,6 %, фильтрование ухудшается. Большее значение имеет величина pH и вязкость сиропа, обусловленная углеводным составом. Второе условие — высокая температура (85—90 °С) фильтруемого сиропа, уменьшающая вязкость.

Для создания на ткани фильтра пористой лепешки в нейтрализованный сироп вводят наполнитель, фильтрующий порошок, улучшающий фильтрацию. В качестве наполнителей используют в основном кизельгур (диатомит) или перлит.

Фильтрующие порошки загружают в контактные сборники, заполненные сиропом, подлежащим фильтрации. Расход их колеблется от 0,3 до 1,2 % к массе абсолютно сухих веществ сиропа.

Перед началом фильтрации на ткань фильтра наносят тонкую лепешку из фильтрующего материала с целью предохранения пор ткани от быстрого забивания коллоидными частицами осадка. Для этого разводят небольшую часть его в чистом, ранее отфильтрованном сиропе и фильтруют суспензию через фильтр-пресс в самом начале работы. После нанесения лепешки на фильтр-пресс подают основную массу сиропа, в которую порциями добавляют остальное количество фильтрующего материала.

В отечественном и зарубежном паточно-глюкозном производстве применяют фильтры с вертикальными и горизонтальными

фильтровальными элементами, вакуум-фильтры, патронные, тарельчатые и дисковые фильтры.

Фильтр-прессы с вертикальными элементами бывают камерными и плиточно-рамными. Камерный фильтр-пресс по сравнению с плиточным при прочих равных условиях имеет бо́льшую поверхность фильтрования.

Плиточно-рамные фильтр-прессы (рамы размером в свету 820×820 или 1000×1000 мм) имеют общую площадь поверхности фильтрования от 40 до 140 м².

Таблица 36

Показатели	Продукт	Сироп			
		нейтрализованный с диатомитом	жидкий с норитом	густой с норитом	густой перед увариванием (контрольное фильтрование)
Производительность фильтр-пресса, м³/(м²·ч)	Паточный сироп из картофельного крахмала	0,20	0,40	0,25	0,40
	То же, из зернового крахмала	0,12			
Наибольшее давление в напорной линии, МПа	Паточный сироп	0,30	0,40	0,40	0,15
	Глюкозный сироп	0,28	0,35	0,35	0,15
Полный оборот фильтр-пресса, мин	Паточные сиропы из картофельного крахмала	150	310	340	До 10 сут
	зернового крахмала	90			

В табл. 36 приведены данные о работе фильтр-прессов при фильтровании паточных и глюкозных сиропов, полученных гидролизом кукурузного крахмала соляной кислотой.

Перед фильтрацией на рамку пресса надевают чистые салфетки, плотно прижимают их и пропаривают паром. Салфетки обычно изготавливают из хлопчатобумажной ткани типа диагональ, бельтинг и др. Сироп подают на пресс центробежным насосом.

Первые порции фильтрованного сиропа обычно мутные, и их возвращают в сборник исходного сиропа. После образования на ткани салфеток небольшого слоя осадка фильтрат выходит совершенно прозрачным и его направляют в сборник чистого сиропа.

Фильтр-прессный осадок поступает в сборник, где смеши-

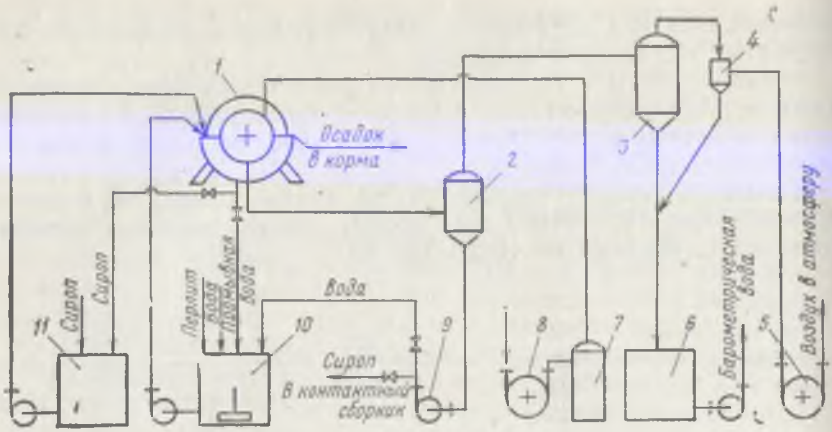


Рис. 79. Схема фильтрования нейтрализованных паточных сиропов на вакуум-фильтрах

вается с салфетомоечными водами, а затем подается на фильтр-пресс для промывки и отделения.

Однако плиточно-рамные фильтр-прессы имеют недостатки: периодичность работы, невозможность теплоизоляции аппарата и автоматизации, тяжелые условия труда, большая затрата труда и времени для перезарядки.

В настоящее время в крахмало-паточной промышленности большое распространение нашли вакуум-фильтры с намывным слоем и микросъемом осадка. Для намыва слоя используют диатомит или перлит.

Принцип действия вакуум-фильтра с намывным слоем заключается в фильтровании сиропов через слой фильтрующего порошка (кизельгур, перлит) под вакуумом и снятии осадка ножом с микроподачей.

В результате постоянного срезания осадка фильтрование сиропов производится на чистом слое, что обеспечивает высокую скорость фильтрования.

Используются барабанные вакуум-фильтры БОК-10-2,6, БОК-20-2,6, Б-40, которые снабжены ножевым устройством для съема осадка. Привод ножевого устройства осуществляется от барабана вакуум-фильтра через храповой механизм.

На рис. 79 представлена схема фильтрования. В сборнике *10* приготовляют на воде суспензию перлита (кизельгура), концентрация твердой фазы которой составляет 2—5 %. Приготовленная суспензия поступает в корыто вакуум-фильтра *1*, куда после намыва слоя перлита на барабан вакуум-фильтра подают нейтрализованный сироп из сборника *11*. Осветленный сироп поступает в ресивер *2*, из которого его непрерывно откачивают насосом *9* в сборник для контактирования с активным углем. Сироп поступает в реактор вместе с воздухом, который отсасывается вакуум-насосом *5* через конденсатор *3* и ловушку *4*. Конденсатор соединен барометрической трубой с барометрическим сборником *6*.

В процессе фильтрования необходимо поддерживать насосами *7* и *8* вакуум в барабане вакуум-фильтра не более 30—40 кПа.

При каждом обороте барабана, имеющего частоту вращения 4 об/мин, на поверхности фильтрующего слоя образуется тонкий слой фильтрационного осадка, который после прохождения зоны просушки срезается ножом. Микропривод обеспечивает перемещение ножа с погружением в фильтрующий слой на 0,03—0,10 мм, который непрерывно срезается. Такой способ фильтрации позволяет получить чистый сироп при сохранении постоянной

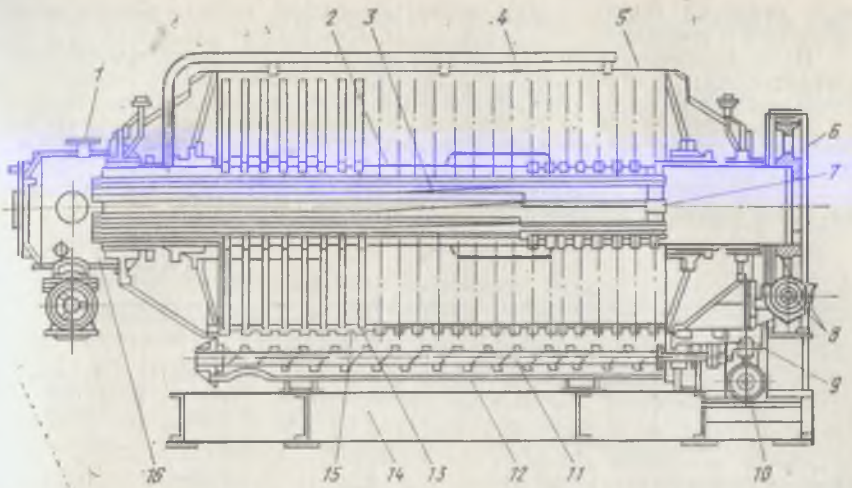


Рис. 80. Дисковый фильтр ФД

скорости фильтрации. Скорость фильтрации при работе на нейтрализованном сиропе, полученном из кукурузного крахмала гидролизом соляной кислоты, 200—300 *л*/(ч·м²). Фильтрация продолжается до тех пор, пока толщина слоя не уменьшится до 8—10 мм, после чего приступают к намыванию нового слоя. Процесс намывания слоя фильтрующего порошка продолжается 1—1,5 ч. Продолжительность фильтрации сиропа после этого 20—22 ч. При работе на вакуум-фильтре представляется возможным иметь сухой осадок, который используется при приготовлении кормов.

Для фильтрования нейтрализованных сиропов, а также сиропов после обработки активным углем используют в промышленности дисковые фильтры ФД с поверхностью фильтрования 80, 100 и 150 м².

Дисковый фильтр ФД-100 (рис. 80) имеет горизонтальный цилиндрический корпус *5*, внутри которого вращается полый вал *2* с двадцатью четырьмя дисками *13*. Каждый диск состоит из восьми секторов, представляющих собой пустотелые сетчатые рамки со штуцерами. Секторы обшиты фильтровальной тканью. Сироп из каждого сектора отводится через штуцер в коллекторные трубки *3*, расположенные внутри вала *2*, и попадает в приемник сиропа *16*. Вал приводится во вращение от электродвигателя мощностью 4 кВт.

В каждом продольном ряду из восьми секторов имеется своя отводящая сироп трубка. Все коллекторы расположены кольцом внутри полого трубовала.

Приемник сиропа *16* имеет три зрительных стекла.

В нижней части фильтра по всей длине приварен желоб *12*, в котором от электродвигателя через червячную передачу *8* и редуктор *9* вращается шнек *11* для отвода фильтрационного осадка. Шнек вращается с частотой 44,5 об/мин. Снятый с дисков осадок вместе с водой проходит через специальные прорези *15* в нижней части корпуса фильтра, расположенные против каждого междискового промежутка, и транспортируется к выходному патрубку. Для гидравлического смыва грязи с дисков служит соплоаппарат. С обеих сторон фильтра расположены люки для доступа к любому сектору.

Фильтр стоит на раме *14*, движущиеся части ограждены решеткой *6*, для связи с атмосферой имеется патрубок *1*.

После установки и укрепления фильтрующих рамок на трубовале люки на корпусе фильтра закрывают и включают фильтр в работу. Сироп входит

через открытый вентиль внутрь корпуса, вытесняя воздух. Чистый сироп собирается в приемнике.

После включения фильтра в работу подачу сиропа прекращают и производят спуск его остатка при помощи сжатого воздуха через патрубок 4. Затем вентиль спуска сиропа закрывают и приступают к промывке осадка.

Перед смывкой осадка из фильтра остатки промоев вытесняют сжатым воздухом, а затем включают сопловое устройство для гидравлического удаления осадка.

Технологические показатели работы фильтра ФД при фильтровании паточного сиропа из зернового крахмала приведены в табл. 37.

Таблица 37

Показатели	Позиция фильтрования		
	механическая	нoритная жидкого сиропа	нoритная густого сиропа
Скорость фильтрования, $м^3/(м^2 \cdot ч)$	0,20	0,35	0,20
Давление фильтрования, МПа	0,2	0,2	0,2
Полный оборот фильтра, мин	90	90	80

Для паточно-глюкозного производства большой интерес представляет автоматический камерный фильтр-пресс ФПАКМ. Эти фильтры выпускаются в нержавеющем исполнении с площадями поверхности фильтрования 2,5; 5; 12,5 и 25 $м^2$. Это аппараты периодического действия, но плиты и рамы их совмещены попарно, расположены горизонтально. Такая конструкция позволяет фильтрующую ткань укладывать горизонтально в виде зигзагообразной бесконечной ленты и тем самым создавать благоприятные условия для быстрого снятия осадка, отложившегося на ткани. В фильтре предусмотрена камера, предназначенная для регенерации ткани.

Технологические показатели работы фильтра ФПАК-М при фильтровании сиропов из зернового крахмала представлены в табл. 38.

Таблица 38

Показатели	Сироп	Позиция фильтрования		
		механическая	нoритная жидкого сиропа	нoритная густого сиропа
Скорость фильтрования, $м^3/(м^2 \cdot ч)$	Паточный	0,60	0,90	0,5
	Глюкозный	0,90	0,60—0,90	0,30—0,40
Давление фильтрования, МПа	Паточный	0,20	0,70—0,90	0,35
	Глюкозный	0,40	0,60—0,80	0,35
Полный оборот пресса, мин	Паточный	17	17	22
	Глюкозный	30	20	20

Использованное фильтр-прессное полотно, салфетки моют в барабанной салфетомойке или стиральной машине СМТ-50 с торцевой загрузкой. Частота вращения барабана салфетомойки — 12 об/мин. Салфетки моют 40—45 мин. Расход воды на одну салфетку в среднем составляет 40 л. Промывные воды концентрацией более 1 % сухих веществ возвращают в производство.

Наиболее часто встречающимся нарушением является снижение скорости фильтрования. Причинами этого может быть следующее:

низкое качество перерабатываемого крахмала;

недостаточная степень осахаривания крахмала, когда вязкость получаемых сиропов высокая ввиду большого количества декстринов;

низкая температура сиропов;

фильтруемые сиропы недонейтрализованы или перенейтрализованы, высокая плотность сиропа;

плохое состояние рифленой поверхности фильтр-пресса.

низкое давление на линии подачи сиропа, а также плохое качество наполнителя.

Обесцвечивание сиропов активным углем. Паточные сиропы после механического фильтрования представляют собой прозрачные жидкости, окрашенные в желтый цвет. Интенсивность окраски зависит от чистоты перерабатываемого крахмала, способа проведения гидролиза и соблюдения технологических параметров процесса нейтрализации. Окончательная очистка сиропов предусматривает удаление красящих веществ, протеина, зольных элементов, понижение кислотности и снятие запаха. Многолетние исследования и практика показали, что такую очистку можно проводить костяным, активным углем в виде порошка или гранулированным, а также ионообменными смолами.

Процесс адсорбции наиболее полно выражается уравнением Фрейндлиха

$$x/m = \alpha c^{\mu},$$

где x — количество красящих веществ, адсорбированных при установившемся равновесии, %; m — количество угля, взятого для сорбции, г; c — конечная (равновесная) концентрация красящих веществ в сиропе, %; α и μ — константы, зависящие от качества угля (обычное равные соответственно 22,73 и 1,0322).

По этому уравнению может быть определен расход угля на обесцвечивание сиропа исходя из цветности исходного и очищенного сиропов.

Процесс адсорбции зависит от следующих факторов: концентрации адсорбируемого вещества, количества адсорбента и температуры процесса. Лучше адсорбируются органические вещества. Эффективность работы адсорбента оценивают по уменьшению окраски обрабатываемого сиропа. Уменьшение цветности, выраженное в процентах к первоначальной цветности, называют эффектом обесцвечивания и рассчитывают по формуле

$$Э_{ф} = [(Цв_1 - Цв_2)/Цв_1]\,100,$$

где $Э_{ф}$ — эффект обесцвечивания, %; $Цв_1$ — начальная цветность сиропа, ед. цветности; $Цв_2$ — цветность сиропа после обработки, ед. цветности.

В настоящее время на паточных заводах применяют в качестве адсорбентов активные угли марок ОУ-Б (кислый) и щелочные УАФ, КАД-молотый, ОУ-В, карборафин.

Активный уголь марки ОУ-Б — продукт активирования дре-

весного угля-сырца водяным паром при высокой температуре с последующим измельчением его в тонкий порошок.

В соответствии с государственным стандартом адсорбционная активность его по мелассе должна быть не менее 100 %, содержание золы, растворимой в воде, не более 1 %, pH водной вытяжки угля в пределах 4—6.

Активные угли КАД-молотый и УАФ получают активацией полукокса. Карборафин — древесный порошкообразный уголь (поступает из Польской Народной Республики).

При использовании щелочных углей для повышения их обесцвечивающей способности и снижения pH водной вытяжки до 4,5—5,0 производят подкисление их соляной кислотой. Количество кислоты для каждой марки угля различно и уточняется опытным путем. В среднем оно составляет 7 кг на 100 кг угля. Для приготовления суспензии используют воду, соковый конденсат или промывную воду.

В настоящее время используют две схемы очистки паточных сиропов — двукратную и однократную. При двукратной очистке 20 % угля от общего количества (0,8—1,0 % к массе сухих веществ обесцвечиваемого сиропа) расходуется на обработку жидкого сиропа, 80 % — на обработку густого сиропа после выпарки. Продолжительность контакта сиропа с углем при непрерывном перемешивании 25—30 мин при температуре 70—75 °С.

В схеме с однократным обесцвечиванием обработке подвергают только жидкие сиропы, используя для этого всю дозу угля.

После употребления уголь часто используют совместно с диатомитом или перлитом для создания фильтрующего слоя при фильтровании нейтрализованного сиропа.

Обработку сиропов проводят в сборниках с мешальными механизмами, которые называют контактными. Контактные сборники работают периодически. Для обеспечения непрерывности процесса обычно устанавливают два сборника, которые в верхней части соединены трубой. В первом сборнике производится обработка сиропа углем, а из второго постоянно выкачивается сироп на фильтрование. Первый сборник всегда заполнен сиропом. Во второй сборник сироп поступает лишь после того, как пройдет 25—30 мин, необходимых для его обесцвечивания.

Фильтрование угольно-сиропных суспензий проводят на рамных или дисковых фильтрах, автоматических фильтр-прессах ФПАК-М.

Дозирование угля на обесцвечивание производится автоматически или вручную.

Научно-производственным объединением по крахмалопродуктам разработаны способ и установка для приготовления суспензии адсорбента и непрерывного ее дозирования в контактный сборник при производстве крахмальной патоки (рис. 81).

Основные узлы установки: реактор вместимостью 6,3 м^3, вакуум-насос, фильтр, расходный сборник, дозатор, центробеж-

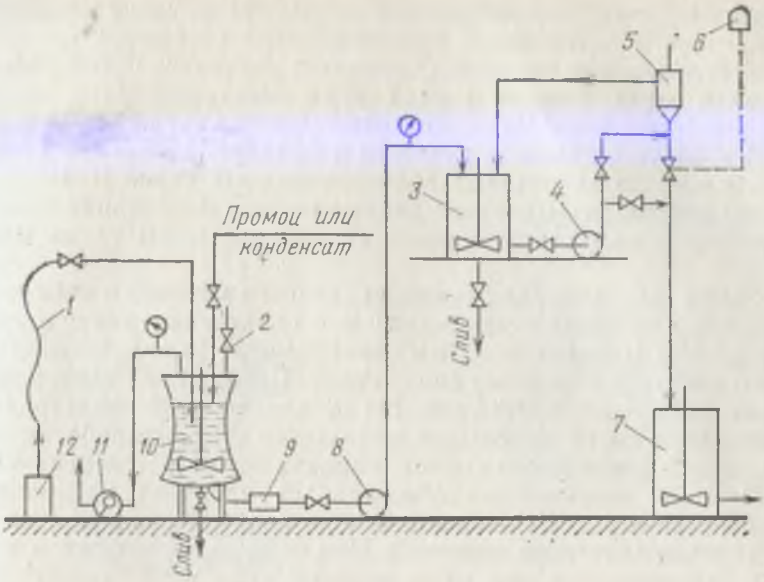


Рис. 81. Установка для непрерывного дозирования адсорбента

ные насосы для подачи суспензии в расходный сборник и из него в дозатор.

Установка работает следующим образом. Открытием вентиля *2* соединяют реактор *10* с атмосферой, затем открывают задвижку на линии сокового конденсата или промывной воды и, включив насос, наполняют реактор на $^2/_3$ его объема. По достижении указанного уровня насос автоматически отключается. Задвижку на линии сокового конденсата или промывной воды и воздушный вентиль закрывают и открывают. Задвижка на линии соединена с вакуум-насосом *11*, в результате чего в реакторе создается разрежение. Включают мешалку и засасывают в реактор адсорбент с помощью гофрированного шланга *1*, связанного с реактором *10*. После взятия расчетного количества адсорбента из емкости *12* закрывают задвижку, на вакуумной линии снимают разрежение открытием воздушного вентиля *2*.

Содержимое реактора тщательно перемешивают и, включив насос *8*, откачивают суспензию через фильтр *9* в расходный сборник *3*, снабженный мешалкой. Из последнего суспензия угля насосом *4* подается в дозатор *5*, откуда автоматически, используя реле времени *6*, дозируется в сборник *7* для контактирования угля с паточным сиропом.

Дозировку суспензии в контактный сборник можно проводить вручную. При использовании щелочных углей суспензию подкисляют добавлением соляной кислоты в расходный сборник. Автоматизация отдельных участков работы адсорбционной установки

предусматривает автоматическое поддержание уровня суспензии в реакторе и дозирование приготовленной суспензии.

Использование установки позволяет увеличить выпуск патоки высшего сорта, снизить расход угля, механизировать процесс дозирования и улучшить санитарные условия труда.

В последнее время за рубежом и в сахарной промышленности СССР широко используют гранулированные угли. В НПО по крахмалопродуктам ведутся работы по созданию линии очистки паточных и глюкозных сиропов гранулированным углем марки АГ-3.

Схема использования гранулированного активного угля включает два адсорбера — это колонны с коническим днищем высотой до 9 м и диаметром 3 м, заполненные углем. Очищаемый сироп подается в колонну снизу вверх. Пройдя слой угля, чистый сироп поступает в сборник перед контрольной фильтрацией. Один раз в смену небольшое количество угля, «заработанного» красящими веществами сиропа, направляют на регенерацию.

Принцип противотока обеспечивает наиболее эффективное применение угля при работе с использованием сиропов с максимальным количеством примесей. При этом получают сироп высокого качества, так как он в верхнем слое угля окончательно обрабатывается всегда свежим углем. Температура сиропа при обработке 70 °С, удельная нагрузка до 2 м³/ч на 1 м³ угля.

Регенерацию активных гранулированных углей ведут при температурах 800—1000 °С, после чего уголь охлаждают и заливают водой.

Выпаривание жидкого сиропа. Отфильтрованный жидкий паточный сироп должен иметь концентрацию не ниже 35 % СВ. Такой сироп концентрируют до 55—57 % СВ.

Физическая сущность процесса выпаривания заключается в превращении части растворителя в пар в процессе кипячения раствора. Следует отличать выпаривание от испарения. Испарение происходит с поверхности тела при любой температуре, в то время как выпаривание идет по всей массе жидкости при температуре, соответствующей точке кипения ее при данной температуре. Снижение давления в надсоковом пространстве аппарата способствует более интенсивному кипению жидкости, что обеспечивает и снижение расхода пара на выпаривание. Поэтому рекомендуется поступающий на выпаривание сироп предварительно подогревать до температуры кипения его в выпарном аппарате.

На испарение 1 кг влаги расходуют 1—1,2 кг свежего пара. Сиропы, содержащие в своем составе такие вещества, как глюкоза, азотистые соединения, обладают ограниченной химической устойчивостью, особенно при высоких температурах. При этом ускоряются реакции разложения глюкозы, образования меланоидинов, происходит карамелизация сахаров, что повышает цветность сиропов. В связи с этим паточные сиропы упаривают под разрежением при пониженных температурах кипения.

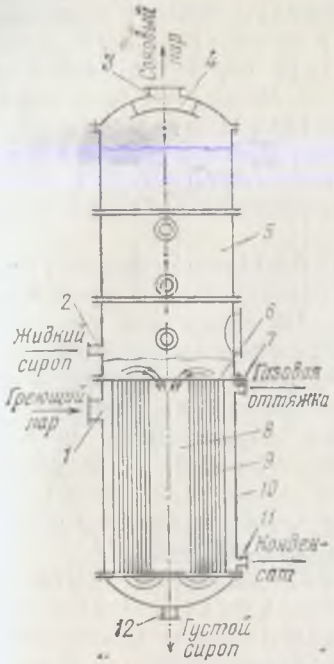


Рис. 82. Выпарной аппарат типа ВВ

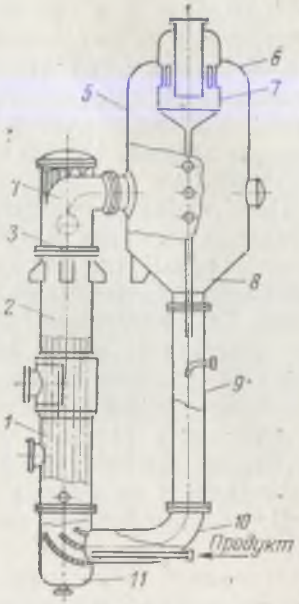


Рис. 83. Выпарной аппарат с выносной поверхностью нагрева

Для сгущения сиропов используют многокорпусные выпарные установки, укомплектованные на большинстве заводов вертикальными выпарными аппаратами типа ВВ.

Аппараты выпускаются с поверхностью нагрева 25, 50, 100 и 150 м².

На рис. 82 приведена конструкция аппарата типа ВВ. Он состоит из греющей камеры *10*, в которой завальцованы стальные кипятильные трубки *9* между двумя трубными решетками *6*. Трубки длиной от 2,5 до 3,6 м, диаметром 38 мм образуют поверхность нагрева выпарного аппарата.

Для усиления циркуляции сиропа в центре паровой камеры располагают циркуляционную трубу *8* диаметром от 191 до 500 мм. Над греющей камерой находится надсоковое пространство *5*. В надсоковом пространстве подвешен отбойный щиток *4*, задерживающий брызги сиропа при выходе сокового пара из аппарата. Сироп входит в аппарат через патрубок *2* и находится внутри кипятильных трубок *9*. Греющий пар поступает в камеру *10* через патрубок *1* и находится в межтрубном пространстве.

При нормальных температурах поступающего сиропа и обогревающего пара сироп закипает немедленно. При этом паро-

сиропная смесь поднимается и над трубной решеткой пузырьки пара лопаются. Соковый пар удаляется из аппарата через верхний патрубок *3*, а освобожденный от пара сироп спускается по центральной циркуляционной трубе *8* и снова попадает внизу в кипятильные трубки. Выпаривание сиропа происходит при многократной циркуляции его благодаря разнице в плотностях сиропа в циркуляционной трубе и паросиропной смеси в кипятильных трубах. Уваренный сироп выводится из аппарата через патрубок *12*.

Пар, особенно соковый, содержит неконденсирующиеся газы, скопление которых в греющем пространстве может помешать подводу новых порций греющего пара. Во избежание этого неконденсирующиеся газы отводят из греющей камеры через патрубок *7* и трубу диаметром 10—20 мм в надсоковое пространство или ловушку этого же аппарата. Сироп в аппарате должен покрывать верхнюю трубную решетку на определенном уровне. Повышение или понижение установленного уровня не допускается, так как в результате этого будут снижаться интенсивность движения, производительность и ухудшаться качество сиропа.

Конденсат из аппарата отводится через патрубок *11*.

В последнее время находят применение аппараты с вынесенной греющей камерой (рис. 83). Греющая камера *1* аппарата представляет собой пучок трубок, заключенных в цилиндрическую обечайку *2* и завальцованных в трубные решетки *3*. К верхней трубной решетке присоединена переходная камера *4* со штуцером для соединения с сепаратором *5*. Сепаратор — цилиндрический сосуд с эллиптической верхней крышкой *6* и коническим днищем *8*. В верхней части сепаратора расположен брызгоотделитель *7*. Коническое днище соединено с циркуляционной трубой *9*, которая при помощи колена *10* присоединена к нижней камере *11*.

Циркуляция сиропа в аппарате осуществляется по замкнутому контуру: сепаратор — циркуляционная труба — греющая камера — сепаратор.

Греющий пар поступает в межтрубное пространство, где конденсируется и удаляется.

Паточный сироп подают в аппарат через один из штуцеров. Для наблюдения за работой предусмотрены смотровые стекла. Аппарат рассчитан на непрерывную работу.

Выпарные аппараты, работающие под разрежением, имеют вакуум-установку для конденсации образующегося пара, барометрический конденсатор и вакуум-насос. Насосы бывают сухие и мокрые. Мокрые воздушные насосы выкачивают из конденсатора не только воздух, но и теплую воду. Сухие воздушные насосы выкачивают только воздух. В последние годы в пищевой промышленности используют водокольцевые вакуум-насосы марки ВВН, а также насосы типа РМК. Для подогрева сиропа используют подогреватели (решоферы).

Схема выпарной трехкорпусной установки представлена на

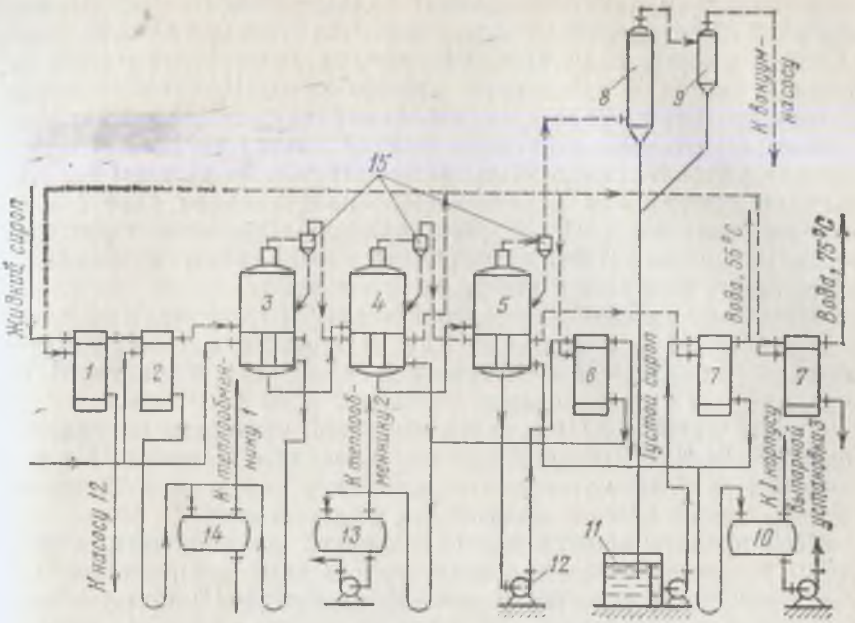


Рис. 84. Трехкорпусная выпарная установка

рис. 84. Жидкий сироп из производственной цепи непрерывно поступает в первый корпус выпарной установки, а густой сироп отводится из третьего корпуса.

Перед *I* корпусом выпарной установки сироп подогревают в теплообменниках *1* и *2* сначала до 86, а затем до 97 °С. Обогрев теплообменника *1* производят вторичным паром с *I* корпуса выпарной установки, теплообменника *2* — ретурным паром температурой 114 °С. Нагретый сироп поступает в *I* корпус выпарной установки *3*, обогреваемый этим же ретурным паром. В *I* корпусе поддерживают давление 93 кПа, что обеспечивает температуру кипения 100 °С и температуру вторичного пара 97,7 °С. Вторичный пар используют для обогрева *II* корпуса установки *4*. Во *II* корпусе давление составляет 49 кПа, температура кипения сиропа 86, а температура вторичного пара 80,9 °С. Этот пар направляют в греющую камеру *III* корпуса *5* выпарной установки. Температура кипения сиропа и температура вторичного пара соответственно равны 67,7 и 59,7 °С, остаточное давление 19,6 кПа.

Вторичный пар из *III* корпуса установки поступает в конденсатор *8*, в котором смешивается с холодной водой, а затем по барометрической трубе нагретая вода температурой 40 °С поступает в сборник *11*. Отделение мелких капель воды происходит в ловушке *9*, газовоздушную смесь из которой откачивают

вакуум-насосом, обеспечивающим поддержание во всей выпарной установке заданного разрежения. Для создания разницы разрежений в корпусах установки на аппаратах имеется оттяжка из паровых камер в надсоковое пространство. На трубопроводе вторичного пара после каждого аппарата устанавливают ловушки для отделения от пара мелких частиц сиропа, которые возвращаются в аппарат. Барометрическую воду насосом подают в подогреватели *6* и *7*, работающие на вторичном паре *I* и *II* корпусов установки. Подогретая вода используется на производственные нужды. Избыток барометрической воды направляют в градирни, после чего повторно используют.

Чистый конденсат из подогревателя *2* и *I* корпуса собирают в сборнике *14* и используют для питания котлов, конденсаты вторичного пара со *II* и *III* корпусов собирают в сборники *10*, *13* и используют в производстве.

Густой сироп из *III* корпуса выпарной установки концентрацией 55—57 % СВ откачивают центробежным насосом *12* в подогреватель *6*, из которого направляют в контактные сборники густого сиропа или на контрольное фильтрование.

Для предотвращения потерь продукта с вторичным паром кроме встроенных брызгоотделителей каждый корпус выпарной установки комплектуется наружной ловушкой *15*; продукт возвращается в вакуум-аппарат, а пар поступает в следующий корпус выпарной установки.

Конденсат из греющих камер корпусов и подогревателей отводится конденсатоотводчиками, описанными в соответствующей литературе.

Температурный режим выпарной установки приведен в табл. 39.

Таблица 39

Показатели	Корпус установки		
	I	II	III
Температура, °С			
греющего пара	114,6	96,7	79,9
кипения сиропа	100,2	86,0	67,7
вторичного пара	97,7	80,9	59,7
Полезная разность температур, °С	14,4	10,7	12,2

Пуск выпарной установки и прекращение ее работы. Перед пуском выпарную установку проверяют на герметичность всей аппаратуры и трубопроводов на горячей воде температурой 60—70 °С. Чтобы убедиться в герметичности всей установки, создают вакуум, включая решоферы и сборники соковых конденсатов. После того как вакуум поднимется до максимума, вакуум-насос отключают от системы и наблюдают за разреже-

нием. При хорошей герметичности разрежение не должно уменьшаться. Однако надо иметь в виду, что разрежение может снижаться из-за неисправности вентилей и задвижек, поэтому нужно тщательно их осмотреть.

При пуске выпарной установки в первую очередь заливают водой барометрический сборник, открывают вентили на оттяжках всех корпусов установки, подогревателей жидкого сиропа и сборников конденсата; затем включают сифоны или автоматы — водоотводчики. Открывают сиропный вентиль на *I* корпусе установки и включают в работу насос, подающий сироп на установку через решофер. После заполнения поверхности нагрева *I* корпуса установки начинают заполнять *II* корпус и включают пар на *I* корпус.

После заполнения *II* корпуса сироп передают в *III* и включают насосы, откачивающие конденсат.

Нагреваясь, сироп начинает кипеть поочередно во всех корпусах. Когда в *III* корпусе установки будет достигнута требуемая концентрация сиропа (54—55 %), включают насос, откачивающий сироп из установки через решофер густого сиропа, и при надобности включают решофер подогрева барометрической воды.

При откачке сиропа поддерживают равномерность движения сиропа и установленный уровень его во всех корпусах установки.

При остановке выпарной установки прекращают подачу сиропа в *I* корпус и туда направляют вместо сиропа конденсат пара из *II* и *III* корпусов, или промои, или воду. При этом выпарная установка продолжает работать до полной откачки сиропа из последнего корпуса.

После этого прекращают подачу пара на установку, отключают ее от конденсатора и спускают воду из выпарных корпусов. Для нормальной работы выпарной установки необходимо:

поддерживать нормальный уровень сиропа по корпусам, регулируя подачу сиропа;

поддерживать разрежение в последнем корпусе, что обеспечивается необходимым количеством и температурой воды, подаваемой на конденсатор;

следить за равномерной подачей жидкого сиропа в *I* корпус, его концентрацией и отбором густого сиропа, отводом неконденсирующихся газов, исправностью водоотводчиков, полным отводом конденсата:

следить за нормальным распределением температур на установке, регулируя подачу пара.

При нормальной работе выпарных аппаратов конденсат сокового пара содержит совершенно незначительное количество сухих веществ патоки, которое можно обнаружить лишь качественной реакцией на сахара. Выпарные аппараты через определенные промежутки времени вываривают для очистки поверхности нагрева от отлагающейся на них накипи.

При работе выпарной установки могут встретиться следующие нарушения: переполнение *I* корпуса — в этом случае из-

быток сиропа следует распределить между всеми корпусами, для чего, начиная с последнего корпуса, нужно забрать сироп из предыдущих; чрезмерное понижение уровня сиропа в отдельных корпусах (в случае перебоев поступления сиропа целесообразно в *I* корпус направить промывные воды или свежую воду); понижение плотности сиропа (может произойти вследствие загорания поверхности аппаратов, течи в трубах, разности поверхностей аппаратов установки). Наличие углеводов в конденсате свидетельствует об образовании течи в греющих трубках.

Система автоматического управления работой трехкорпусной выпарной станции предусматривает: контроль давления греющего пара в паровой камере *I* корпуса, плотности готового продукта, уровня сиропа по корпусам, вакуумметрического давления в последнем корпусе и работы барометрического конденсатора; контроль уровня сиропа в сборнике перед выпаркой и температур кипения по корпусам. Система обеспечивает блокировку, т. е. прекращение поступления сиропа из предыдущего корпуса, при понижении в нем уровня ниже допустимого в последнем. При опасном понижении уровня в *I* корпусе прекращается подача пара на выпарной аппарат.

Основные принципы расчета выпарной установки. Расчет выпарной станции сводится к определению поверхности нагрева каждого корпуса установки, или при известных поверхностях нагрева каждого корпуса и режиме работы установки определяется ее производительность. При расчете выпарной установки надо знать количество выпариваемой воды и количество экстрапаров, отбираемых из отдельных корпусов. В расчетах допускается следующее: коэффициент испарения во всех корпусах принимается равным 1, т. е. каждый килограмм пара испаряет килограмм влаги; при расчете не принимаются во внимание тепловые потери и теплота концентрирования растворов, если принять E_2 и E_1 — количество экстрапаров, отбираемых соответственно из *I* и *II* корпусов установки для технологических нужд; D — количество греющего пара, поступающего в паровую камеру *I* корпуса; W — общее количество воды, выпариваемой в установке; W_1, W_2, W_3 — количество воды, выпариваемой в соответствующих корпусах. Если принять, что 1 кг пара выпаривает 1 кг воды, то количество воды (в кг), выпариваемой на 100 кг патоки в 1 мин для отдельных корпусов, будет: в *III* корпусе — W_3; во *II* корпусе — $W_2 = W_3 + E_2$; в *I* корпусе — $W_1 = W + E_1$. Общее количество W (в кг) выпариваемой воды

$$W = W_3 + 2E_2 + E_1.$$

Количество выпаренной воды W_3 (в кг) в *III* корпусе или количество соковых паров, поступающих на конденсатор, составляет

$$W_3 = \frac{W - 2E_2 - E_1}{3}.$$

Площадь поверхности нагрева F (в м²) корпусов определяют по формуле

$$F = \frac{Q}{\Delta t k},$$

где Q — количество теплоты, переданной от пара сиропу, кДж/с; Δt — средняя полезная разность температур теплоносителей, °С; k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

При расчете выпарных установок учитывают тепловые потери, приведенные в табл. 40.

Таблица 40

Корпус выпарной установки	Депрессия		
	температурная	гидростатическая	гидродинамическая
I	0,8	1,5	1,0
II	2,1	3,0	1,0
III	2,6	5,4	—
Вакуум-аппарат	3,5	6,0	—

При средних условиях выпаривания, средней загрязненности поверхности нагрева, использовании аппаратов с короткими трубами и многократной циркуляцией для расчетов можно принимать коэффициенты теплопередачи [в Вт/(м²·К)], приведенные в табл. 41.

Таблица 41

Продукт	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)			
	Корпус выпарной установки			Вакуум-аппарат
	I	II	III	
Патока карамельная	2233	1744	837	558—628
Патока мальтозная	2094	1396	419	419—628
Глюкоза	2582	1535	558	558—628

Подробный расчет выпарной установки приведен в соответствующей литературе.

Уваривание густых сиропов. Густой сироп после очистки направляют в сборник перед вакуум-аппаратом.

Концентрация сиропа, поступающего на уваривание, 55—57 %; вакуумметрическое давление в вакуум-аппарате должно быть не менее 0,079 МПа (0,79 кгс/см²), а температура кипения сиропа 60—70 °С.

В случае пенения сиропа в процессе уваривания допускается добавление в вакуум-аппарат растительного масла.

Для уменьшения цветности патоки и предупреждения ее образования в вакуум-аппарат допускается добавление гидросульфита. Для повышения pH и снижения инверсионной способности патоки, получаемой из картофельного крахмала, используют уксуснокислый натрий, вводя его в виде раствора в вакуум-аппарат в конце уваривания.

Уваривание густого сиропа до патоки производят до концентрации 78—80 %. По достижении концентрации на 0,5 % СВ ниже требуемой прекращают подачу пара в поверхность нагрева, закрывают задвижку на трубе, соединяющей аппарат с конденсатором, и аппарат сообщают с атмосферой, открыв воздушный кран. Когда давление в аппарате будет равно почти атмосферному, открывают спускную задвижку аппарата и патоку выпускают. Продолжительность уваривания сиропа до патоки 45—60 мин.

Устанавливают вакуум-аппараты обычно на втором или третьем этажах, что обеспечивает спуск патоки в расположенный ниже холодильник или промежуточный сборник. В процессе уваривания сироп должен покрывать поверхность нагрева, иначе часть сиропа, попадающая на обнаженную поверхность, может перегреться, что приведет к потемнению патоки. При определении концентрации в горячем виде можно пользоваться табл. 42.

Таблица 42

Температура патоки, °С	Коэффициенты перевода показаний сахаромера в показания для патоки, содержащей 78% СВ при температуре, 20 °С									
	0	1	2	2	4	5	6	7	8	9
50	77,20	77,11	77,02	76,93	76,84	76,75	76,66	76,57	76,48	76,39
60	76,30	76,21	76,12	76,08	75,94	75,85	75,76	75,67	75,58	75,49
70	75,40	75,30	75,21	75,11	75,02	74,92	74,82	74,73	74,63	74,54

Так, для получения стандартной патоки при уваривании при температуре 60,5 °С концентрация патоки будет 75,85 % СВ, что будет соответствовать 78 % СВ при температуре 20 °С. При уваривании сиропов с содержанием редуцирующих веществ 36—38 % в конце процесса необходимо повысить температуру кипения до 70—75 °С, так как из-за высокой вязкости продукта кипение его при 65 °С может прекратиться, для чего увеличивают подачу пара в аппарат, уменьшив при этом разрежение.

В настоящее время в нашей стране уваривание патоки проводят в вакуум-аппаратах типа ВВ и с вынесенной греющей камерой. За рубежом для этой цели широко используют пленочные вакуум-аппараты.

Для получения высоких коэффициентов теплопередачи

вакуум-аппараты, как и выпарные установки, необходимо периодически вываривать для очистки поверхностей нагрева от накипи. Выварка включает промывку водой, кипячение с 1,5—2 %-ным раствором соды в течение 2—3 ч, кипячение с 0,5—1,0 %-ным раствором соляной кислоты в течение 2—3 ч. После выварки аппарат промывают водой.

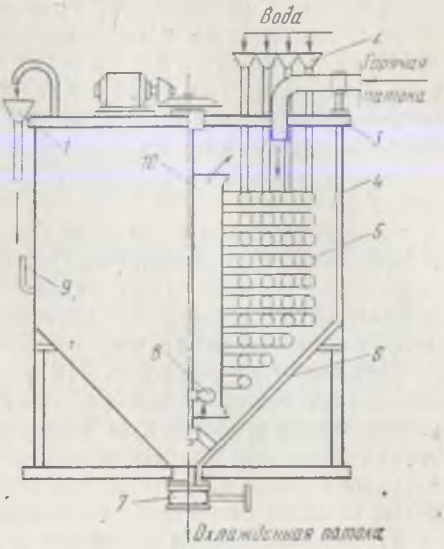


Рис. 85. Холодильник патоки

Охлаждение, слив, хранение и транспортирование патоки. Готовая патока, сливаемая из вакуум-аппарата, имеет температуру 60—70 °С. Чтобы не допустить потемнения патоки при естественном охлаждении, ее быстро, в течение 40—80 мин, охлаждают в специальных холодильниках до 40—45 °С.

Наиболее распространенный на паточных заводах холодильник (рис. 85) представляет собой цилиндрический резервуар *4* с коническим днищем *6*, закрытый сверху крышкой *3*. Внутри резервуара находится поверхность охлаждения, состоящая из пяти-шести змеевиков *5*. Холодную воду подводят к каждому змеевику отдельно через воронки *2*, отработанную воду отводят через воронку *1*. В центре холодильника находится циркуляционная труба *10* и пропеллерная мешалка *8*. Частота вращения мешалки 150—180 об/мин. Холодильник обычно устанавливают на весы для взвешивания патоки непосредственно в нем.

Горячая патока поступает в холодильник по трубе, на конце которой закрепляют мешок из капроновой сетки (№ 49) для улавливания посторонних примесей. Цикл работы холодильника включает три рабочие операции — заполнение аппарата горячей патокой, охлаждение ее и выпуск из холодильника. Полный цикл работы холодильника не должен превышать продолжительности полного оборота вакуум-аппарата.

После того как уровень слитой патоки достигнет верхнего борта циркуляционной трубы, включают в работу мешалку и пускают в змеевики холодную воду. Лопасти мешалки направляют патоку вверх по циркуляционной трубе, она переливается через борт трубы и опускается, проходя между трубами змеевиков. Так патока циркулирует до тех пор, пока температура ее не снизится до 40—45 °С по термометру *9*.

Из холодильника патоку по трубе *7* сливают в железнодорожные цистерны или баки-хранилища.

Железнодорожная цистерна с патокой при отправке потребителю снабжается удостоверением качества.

На заводах готовую патоку хранят в стальных баках, покрытых защитными красками. Емкость патокохранилищ обычно должна быть рассчитана на 1—1,5-месячную выработку. Для снижения вязкости патоки перед перекачкой в цистерны баки снабжают обогревательным устройством для местного подогрева ее до 45 °С.

Обогревательное устройство представляет собой систему U-образных труб, заключенную в железный ящик с отверстиями для входа патоки. Для перекачки патоки используют обычно ротационные насосы, из которых наибольшее распространение получили шестеренчатые.

Переработка промоев. На различных стадиях производства патоки получают сильно разбавленные сиропы, называемые промывной водой; основную массу этих вод получают после промывки фильтрационных осадков и салфеток. Получаемые промывные воды необходимо так использовать в производстве, чтобы не снизить качество получаемой продукции.

Промывные воды получают и перерабатывают по следующей схеме. Фильтрационные осадки гидролизатов с диатомитом или перлитом, жиробелковую взвесь со скиммера, осадки активных углей со станций фильтрования обесцвеченных сиропов, салфетомоечные воды собирают в сборнике, снабженном мешальным механизмом и барботером для подогрева. Подогретая до 70—80 °С смесь насосом подается на фильтр-пресс. Осадок на прессе промывают горячей водой до содержания в ней 7—8 % углеводов и используют при работе с кизельгуром — в корма, с перлитом — в отвал.

Промывные воды направляют на заливку барботера при работе на конверторе, на разбавление крахмального молока, на станцию обесцвечивания жидких сиропов.

Количество промоев при производстве патоки из кукурузного крахмала и очистке сиропов активным углем составляет около 16 % к массе переработанного безводного крахмала, содержание сухих веществ промоев около 15 %, количество сухих веществ патоки, переходящих в промои, составляет 4,0 % к массе переработанного безводного крахмала.

При переработке кукурузного крахмала желательно выделение из промоев солей железа. Железо выделяют в специальных сборниках при температуре 80 °С, для чего добавляют раствор фосфорнокислого натрия $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ из расчета 250—300 г на 1 м³ промоев, затем вводят такое же количество кальцинированной соды в виде 8%-ного раствора для доведения pH до 6.

Выпавший осадок — фосфорнокислое железо отфильтровывают, а промои используют в технологическом процессе.

Общее количество фильтрационного осадка в производстве патоки 3,0—3,5 % по массе сухих веществ патоки.

ПОЛУЧЕНИЕ МАЛЬТОЗНОЙ ПАТОКИ

Мальтозная патока представляет собой продукт гидролиза крахмала или крахмалсодержащего сырья ферментами с содержанием сухих веществ 78—80 %, коричневого цвета, сладкого вкуса с солодовым привкусом. В СССР мальтозную патоку вырабатывают с использованием ячменного солода.

Сырьем для производства мальтозной патоки являются кукуруза в зерне и солод ячменный.

Принципиальная технологическая схема производства мальтозной патоки представлена на рис. 86.

Кукурузное зерно после удаления сорной примеси поступает на размол. Крупность помола должна быть такова, чтобы выход муки составлял 90 %.

Для осахаривания используют зеленый солод. Общий расход солода 8—10 % (в пересчете на ячмень) по массе муки.

Процесс приготовления зеленого солода состоит из операций замачивания и ращения ячменя.

Замачивание зерна производят воздушно-водяным способом в специальных сборниках. После удаления всплывшей примеси ячмень промывают водой, дезинфицируют хлорной известью,

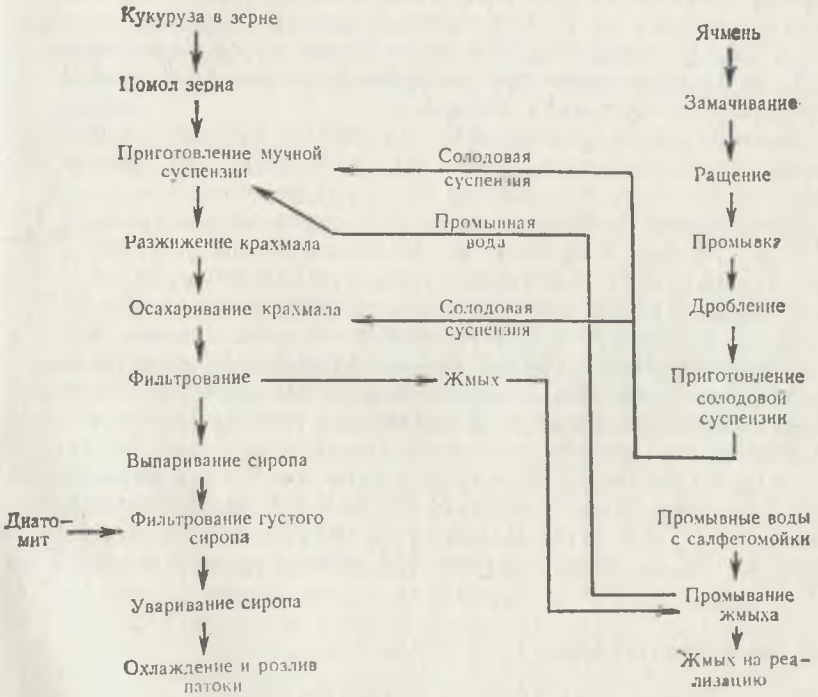


Рис. 86. Принципиальная технологическая схема производства мальтозной патоки с применением для гидролиза крахмала ферментов ячменного солода

промывают и направляют на расщепление. Окончание замочки определяют насыщением зерна влагой до 42—45 %.

Проращивание осуществляется токовым, ящечным или пневматическим способами. Оптимальный температурный режим солодоращения достигается при температуре воздуха 8—15 °С и относительной влажности 75—90 %.

Длительность проращивания зимой 12 сут, летом 8—10 сут.

Получаемый зеленый солод сразу же используют в технологическом процессе. Если при заводе ращение солода невозможно, то для выработки мальтозы пользуются сухим солодом, получаемым со стороны.

Для осахаривания используют солодовую суспензию концентрацией 14—16 %, для чего солод подвергают дроблению.

Кукурузную муку после размола размешивают с водой до получения суспензии концентрацией 20—25 %. Первая порция солода в количестве 2—3 % по массе муки в виде солодового молока подают в разводной сборник. Разжижение крахмала проводят при температуре 80 °С, затем массу перекачивают в лагер, где разваривают под давлением 0,35 кПа. Разваренную массу из лагера выдувают в заторный чан, в котором проводят осахаривание второй частью солода в количестве 6—7 % (в пересчете на ячмень) по массе муки. Температура затора должна быть на уровне 62 °С, при которой его выдерживают до получения необходимой иодной пробы. Затем затор подогревают до 65 °С и выдерживают при этой температуре 20—30 мин для осахаривания крахмала солода.

Готовый затор подогревают до 80 °С и подают на фильтрование, которое ведут на рамных фильтр-прессах или другом фильтрационном оборудовании при 75—80 °С не менее.

Полученный жидкий мальтозный сироп концентрацией 17—19 % уваривают на выпарной установке до 55 %, густой сироп фильтруют, а затем сгущают в вакуум-аппарате до 78 % СВ.

Готовая патока охлаждается до температуры 45—50 °С и фасуется в бочки или другую тару.

Фильтрационный осадок (мальтозный жмых) содержит 40—50 % СВ, из них на долю белковых веществ приходится до 48 %. Промытый жмых используют как ценный белковый корм.

Мальтозная патока должна содержать не менее 78 % сухих веществ, не менее 65 % редуцирующих веществ в пересчете на мальтозу и на сухое вещество, 1,2 % золы; кислотность патоки должна быть 9,5 мл 1 н. раствора гидроксида натрия в пересчете на 100 г сухих веществ; pH патоки должно быть не менее 5,5.

НОВЫЕ ВИДЫ ПАТОКИ

В последние годы большое распространение находят патоки с различным содержанием редуцирующих веществ, такие, как высокоосахаренная, низкоосахаренная, декстрин-мальтозная.

Получают их в основном с применением ферментов при гидролизе крахмала.

Низкоосахаренная патока содержит 28—34 % редуцирующих веществ и используется в основном в производстве карамели, обеспечивая ей высокую устойчивость в процессе хранения. Содержание глюкозы в низкоосахаренной патоке не превышает 10 %. Для получения патоки рекомендуется кислотно-ферментативный гидролиз крахмала. Процесс начинают с разжижения крахмала, для чего используют соляную кислоту из расчета 0,10—0,15 % газообразного HCl к массе безводного крахмала. Гидролиз проводят при избыточном давлении 0,2 МПа до достижения содержания редуцирующих веществ 15—23 %. Гидролизат нейтрализуют раствором соды до pH, являющегося оптимальным для действия осахаривающего фермента. Разжижение крахмала можно проводить и с помощью ферментного препарата Амилосубтилин Г10Х из расчета 0,02—0,03 % к массе гидролизуемого крахмала.

Процесс разжижения осуществляют в течение 1,5 ч при температуре 85 °С (pH 6,0—6,5). Для полного разваривания крахмала продукт в течение 3—5 мин обрабатывают при избыточном давлении 0,2 МПа.

Осахаривание разжиженной массы крахмала проводят ферментным препаратом Амилоризин Г10Х при температуре 55—50 °С (pH 4,7—5,0) в течение 3—4 ч.

Дозировка фермента составляет 0,02—0,03 % к массе сухого крахмала.

Осахаренный гидролизат подогревают до кипения для инактивации фермента и далее перерабатывают по обычной схеме производства карамельной патоки.

Высокоосахаренная патока применяется в основном в кондитерской промышленности для производства помадных конфет и пастильно-зефирных изделий, что повышает их стойкость при хранении и улучшает вкусовые качества. Эффективно использование высокоосахаренной патоки в консервном производстве, хлебопекарном и производстве безалкогольных напитков.

При кислотном способе получения высокоосахаренной патоки гидролизу подвергают крахмальную суспензию концентрацией 23—24 % с использованием 0,28 % газообразного HCl к массе гидролизуемого крахмала при давлении 0,25—0,3 МПа.

Патока содержит 55—60 % глюкозы при содержании редуцирующих веществ 65—70 %. Дальнейший процесс переработки сиропов аналогичен обычному. Однако такая патока не всегда стойка при хранении ввиду выпадения в осадок глюкозы.

Регулировать содержание глюкозы в высокоосахаренной патоке с целью получения патоки, стойкой при хранении, позволяет применение для гидролиза крахмала ферментных препаратов.

Использование кислотно-ферментативного способа гидролиза крахмала позволяет применять на первой стадии разжижения

крахмала суспензию концентрацией 40—42 % при 0,25 % газообразного HCl к массе гидролизуемого крахмала. Гидролиз ведут до содержания редуцирующих веществ 42—50 %.

После нейтрализации до pH 4,7—5,0 гидролизат охлаждают до 55 °С и добавляют 0,03—0,07 % ферментного препарата Амилоризин Г10Х (к массе сухого крахмала). Продолжительность осахаривания составляет до 24 ч в зависимости от дозировки препарата.

Патока должна содержать не более 41—43 % глюкозы, что обеспечит продолжительность хранения.

Декстрин-мальтозная патока (декстрин-мальтоза) представляет собой продукт гидролиза крахмала ферментами ячменного солода с содержанием редуцирующих веществ до 60 % в пересчете на мальтозу и может выпускаться в жидком или сухом виде. Используется для приготовления продуктов питания детей раннего возраста.

Сырьем для производства декстрин-мальтозной патоки служит картофельный крахмал и солод ячменный.

Для гидролиза крахмала приготовляют солодовую вытяжку из солода в количестве 25 % к массе крахмала. Крахмал разводят до концентрации 20—25 % СВ. Разжижение крахмала ведут при температуре 70 °С в течение 20 мин; затем разжиженную массу кипятят в течение 30 мин, охлаждают до 65—67 °С и продолжают гидролиз солодовой вытяжки ($^4/_5$ от необходимого по расчету количества). По окончании процесса гидролиза фермент инактивируют кипячением в течение 15 мин. Суспензию направляют на фильтрование. Жидкий декстрин-мальтозный сироп обрабатывают углем марки ОУ-Б в количестве 1 % по массе обрабатываемого сиропа в течение 30 мин при температуре 65—70 °С. Осветленный сироп уваривают до 55 % СВ, фильтруют и уваривают до готового продукта с содержанием 78—80 % СВ.

Для получения сухой декстрин-мальтозы или другой патоки густой сироп направляют на распылительную сушилку. Сухую декстрин-мальтозу с содержанием не менее 93 % СВ упаковывают в бумажные мешки с двумя слоями ламинированной полиэтиленом мешочной бумаги.

РАСХОД ВОДЫ, ПАРА, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При выработке патоки используют воду, пар, электроэнергию и ряд вспомогательных материалов.

В производстве карамельной патоки расход воды на 1 т составляет 23,4 м³, в том числе свежей — 10,8 м³; в производстве мальтозной патоки — 47,9 м³, в том числе свежей — до 42,4 м³.

Внедрение передовых технологических схем и использование оборотного водоснабжения позволяет снизить расход свежей

воды в производстве карамельной патоки до 6,3 м³ и мальтозной до 11,1 м³.

Для получения 1 т патоки расход пара составляет: для патоки картофельной — 7800,0 кДж/т, кукурузной — 4660, мальтозной — 11 500 кДж/т; электроэнергии: для патоки картофельной — 75 кВт·ч/т, кукурузной — 140, мальтозной — 158,0 кВт·ч/т.

Нормы расхода вспомогательных материалов (в кг на 1 т крахмальной патоки) приведены ниже.

Кислота соляная	6—8
Кислота соляная на подкисление щелочных углей	0,7
Кислота серная	8,8
Сода кальцинированная (100%-ная)	2,9—3,3
Сода каустическая	0,05
Мел	12—14
Масло растительное	0,09
Кизельгур	4—9
Порошок перлитовый фильтровальный*	3—4
Уголь древесный активный порошкообразный по ГОСТ 4453—74	8,0
Уголь активный порошкообразный других марок	10,0
Бентонит	4—8
Гидросульфит	0,12—0,15
Уксуснокислый натрий	До 0,8
Ткань шелковая**	0,0135
Ткань капроновая**	0,015
Бельтинг**	0,03
Фильтр-диагональ**	0,3—0,5
Фильтр-миткаль**	0,3—0,5

* При фильтровании сиропов на вакуум-фильтрах расход перлита—6 кг.
** Расход в метрах.

РАСЧЕТ ПРОДУКТОВ ПАТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Расчет производят по схеме производства патоки из кукурузного крахмала с применением для гидролиза соляной кислоты и однократной очисткой жидких сиропов активным углем.

Расчет ведут на 100 кг абсолютно сухого крахмала. Для составления расчета необходимо знать состав примесей крахмала, поступающего на гидролиз.

Рассчитывают теоретический выход и задаются величиной практического выхода патоки. Определенные потери учитывают как равные потерям на лучших предприятиях, неопределенные распределяют по станциям.

Для расчета принимают следующий состав перерабатываемого кукурузного крахмала и патоки (в % по СВ):

Крахмал		Патока	
Зола	0,10	Редуцирующие вещества	40,0
Протеин	0,60	Зола	0,14
Жир		Протеин	0,18
экстрагируемый	0,15		
гидролизный	0,55		
Всего			
примесей	1,30		
крахмала	98,7		

Теоретический выход рассчитывают по формуле С. Ф. Ралля и В. С. Чепиго

$$T_в = Дб\,(1 - 0{,}001D) + M + N,$$

где $Дб$ — содержание химически чистого крахмала (доброкачественность, % по СВ); D — содержание редуцирующих веществ, % по СВ; M — зольность патоки, % по СВ; N — содержание протеина в патоке, % по СВ.

$$T_в = 98{,}7/[(1 - 0{,}001 \cdot 40) + 0{,}40 + 0{,}18] = 103{,}39\%.$$

При практическом выходе патоки, равном 100 %, потери сухих веществ составят

$$103{,}39 - 100{,}0 = 3{,}39\%.$$

Теоретический выход сухих веществ осахаренного и нейтрализованного сиропа будет:

$$T_{тр} = \frac{98{,}7}{1 - 0{,}001 \cdot 40} + 1{,}3 + 0{,}3 + 0{,}05 = 104{,}46\%.$$

В этом уравнении 1,3 — суммарные примеси крахмала, %; 0,3 — количество NaCl, образовавшейся в результате нейтрализации сиропа, %; 0,05 — количество HCl, связанной с примесями крахмала.

Общие потери сухих веществ крахмала, не входящих в состав патоки, составят

$$104{,}46 - 103{,}39 = 1{,}07\%.$$

Количество получаемой патоки без возвратов (на 100 кг абсолютно сухого крахмала)

$$104{,}46 - 5{,}10 - 1{,}07 = 98{,}29 \text{ кг}.$$

Количество возвращаемых промоев в основную цепь

$$5{,}10 - 3{,}39 = 1{,}71 \text{ кг}.$$

Распределение потерь (в кг) по станциям паточного производства приведено в табл. 43.

Таблица 43

Станция	Потери сухих веществ патоки на 100 кг абсолютно сухого крахмала				Примеси крахмала
	обусловленные анализом	неучтенные	общие	в том числе безвозвратные	
Осахаривание и нейтрализация	0,05	—	0,05	0,05	—
Выделение жира и белка	0,70	—	0,70	0,70	0,50
Механическое фильтрование	1,55	0,70	2,25	0,80	0,57
Фильтрование жидкого сиропа	1,0	0,35	1,35	0,40	—
Выпаривание	0,25	0,05	0,30	0,30	—
Контрольное фильтрование	0,2	0,05	0,25	0,1	—
Уваривание	0,15	0,05	0,20	0,20	—
Итого	3,90	1,20	5,10	2,55	1,07
Промывка осадка	0,64	0,20	—	0,84	—
Всего	—	1,30	—	3,39	1,07

Баланс сухих веществ продуктов паточного производства по станциям приведен в табл. 44.

Таблица 44

Станция	Поступило, кг	Выведено, кг	Переведено на следующую станцию, кг
Основная линия			
1. Мерник крахмального молока			
Крахмал безводный	100,00	—	—
100 %-ная HCl	0,24	—	—
Всего	100,24	—	100,24
2. Непрерывный осахариватель			
Крахмальное молоко из мерника	100,24	—	—
Прирост сухих веществ за счет гидролиза	4,11	—	—
Поваренная соль, образовавшаяся в связи с добавлением 0,19 кг соды	0,20	—	—
100 %-ная HCl, прореагировавшая с содой	—	0,12	—
Потери сухих веществ	—	0,05	—
Всего	104,55	0,17	104,38
3. Нейтрализатор			
Сироп после непрерывного осахаривания	104,38	—	—
Поваренная соль, образовавшаяся в связи с добавлением 0,09 кг соды	0,10	—	—
100 %-ная HCl, прореагировавшая с содой	—	0,07	—
Всего	104,48	0,07	104,41
4. Скиммер			
Сироп после нейтрализатора	104,41	—	—
Жиробелковый осадок	—	0,50	—
Потери сухих веществ патоки	—	0,70	—
Всего	104,41	1,20	103,21
5. Диатомитовые фильтры			
Сироп из диатомитового сборника	103,21	—	—
Диатомит	0,50	—	—
Промои	1,71	—	—
Диатомит	—	0,50	—
Примеси крахмала	—	0,57	—
Потери сухих веществ патоки	—	2,25	—
Всего	105,42	3,32	102,10

Продолжение

Станция	Поступило, кг	Выведено, кг	Переведено на следующую станцию, кг
Угольные фильтры			
Сироп из контактного чана с активным углем	102,10+0,75	—	—
Количество отделившихся с осадком			
активного угля	—	0,75	—
СВ патоки	—	1,35	—
Всего	102,85	2,10	100,75
7. Выпарная установка			
Сироп на выпарку	100,75	—	—
Потери СВ патоки	—	0,30	—
Всего	100,75	0,30	100,45
8. Контрольные фильтры			
Густой сироп	100,45	—	—
Диатомит	0,1	—	—
Диатомит	—	0,1	—
Потери СВ патоки	—	0,25	—
Всего	100,55	0,35	100,20
9. Вакуум-аппарат			
Сироп	100,20	—	—
Потери СВ патоки	—	0,20	—
Всего	100,20	0,20	100,00
Боковая линия			
1. Сборник для смешивания			
Примеси крахмала	0,57	—	—
Диатомит	0,50	—	—
Норит	0,75	—	—
СВ патоки	2,55	—	—
Всего	4,37	—	—
2. Фильтр			
Сироп после смешивания	4,37	—	—
Фильтрационный осадок	—	1,25	—
Примеси крахмала	—	0,57	—
Потери СВ патоки	—	0,84	—
Всего	4,37	2,66	1,71

Масса и объем продуктов по отдельным станциям (на 100 кг безводного крахмала). Мерник крахмального молока. Объем крахмального молока концентрацией 42 % (содержание сухих веществ 48,78 кг в 100 л) составит

$$100 \cdot 100/48{,}78 = 205{,}00 \text{ кг}.$$

Плотность крахмального молока $d = 1{,}1891$.

Масса крахмального молока $205{,}0 \cdot 1{,}1891 = 243{,}77$ кг.

Количество соляной кислоты плотностью 1,1425, содержащей 0,24 кг газа HCl, необходимое для гидролиза безводного крахмала, равно 0,85 кг, или 0,75 л.

Объем подкисленного крахмального молока составит

$$205{,}00 + 0{,}75 = 205{,}75 \text{ л}.$$

Масса подкисленного крахмального молока $243{,}77 + 0{,}85 = 244{,}62$ кг.

Непрерывный осахариватель. Количество сиропа после осахаривания

$$244{,}62 + 4{,}11 = 248{,}62 \text{ кг},$$

где 4,11 — прирост сухих веществ сиропа в результате гидролиза.

Для предварительной нейтрализации к сиропу добавляют 0,19 кг соды или раствора плотностью 1,0744, содержащего 7,03% Na_2CO_3:

$$0{,}19 \cdot 100/7{,}03 = 2{,}7 \text{ кг}, \quad \text{или} \quad 2{,}7/1{,}0744 = 2{,}5 \text{ л}.$$

Масса сиропа после предварительной нейтрализации

$$248{,}62 + 2{,}7 - \underbrace{\frac{0{,}19 \cdot 44}{106}}_{\text{Углекислый газ}} + \underbrace{\frac{0{,}19 \cdot 18}{106}}_{\text{Вода}} = 250{,}82 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа

$$104{,}43 \cdot 100/250{,}82 = 41{,}6\%.$$

Температура сиропа в испарителе снижается со 140 до 87 °С, т. е. на 53 °С. В результате этого образуется вторичный пар, температура которого приблизительно на 2 °С ниже температуры сиропа и равна 85 °С, а теплосодержание вторичного пара — 633,5 кДж. Количество воды, уходящее в результате самоиспарения,

$$\frac{250{,}82 \cdot 0{,}726\,(140 - 87)}{633{,}5 - 85} = 17{,}60 \text{ кг},$$

где 0,726 — теплоемкость сиропа, кДж/(кг·К).

Масса сиропа после непрерывного осахаривателя составит

$$250{,}82 - 17{,}60 - 0{,}05 \cdot 100/41{,}7 = 233{,}10 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа после осахаривателя

$$\frac{104{,}38}{233{,}1} 100 = 44{,}8\%, \quad \text{или} \quad 45{,}8°\text{C}_a; \; d = 1{,}2092.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$233{,}1/1{,}2092 = 192{,}77 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 85 °С

$$192{,}77/1 - 0{,}000435\,(85 - 20) = 198{,}32 \text{ л}.$$

Нейтрализатор. Для окончательной нейтрализации к сиропу добавляют 0,09 кг соды или раствора плотностью 1,0744, содержащего 7,03 % Na_2CO_3:

$$0{,}09 \cdot 100/7{,}03 = 1{,}3 \text{ кг}, \quad \text{или} \quad 1{,}3/1{,}0744 = 1{,}2 \text{ л}.$$

Масса сиропа после нейтрализации

$$233{,}10 + 1{,}3 - \frac{0{,}09 \cdot 44}{106} + \frac{0{,}09 \cdot 18}{106} = 234{,}38 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа

$$104{,}41 \cdot 100/234{,}38 = 44{,}5\%; \qquad d = 1{,}2076.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$234{,}38/1{,}2076 = 194{,}09 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 85 °С

$$194{,}09\,[1 - 0{,}000435\,(85 - 20)] = 199{,}68 \text{ л}.$$

Скиммер. Масса сиропа после скиммера составит

$$234{,}38 - 0{,}5 - 0{,}7 \cdot 100/44{,}5 = 232{,}31 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа

$$103{,}21 \cdot 100/232{,}31 = 44{,}4\%; \qquad d = 1{,}2070.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$232{,}31/1{,}2070 = 192{,}47 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 80 °С

$$192{,}47\,[1 - 0{,}000435\,(80 - 20)] = 197{,}61 \text{ л}.$$

Диатомитовые фильтры. Масса сиропа, уходящего с фильтров,

$$232{,}31 + 1{,}7 \cdot 100/9{,}8 - 0{,}57 - 2{,}25 \cdot 100/44{,}4 = 245{,}12 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа

$$102{,}10 \cdot 100/245{,}12 = 41{,}7\%; \qquad d = 1{,}1928.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$245{,}12/1{,}1865 = 205{,}49 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 75 °С

$$205{,}49/[1 - 0{,}000435\,(75 - 20)] = 210{,}54 \text{ л}.$$

Угольные фильтры жидкого сиропа. Масса сиропа, уходящего с фильтров,

$$245{,}12 - (1{,}35 \cdot 100)/41{,}5 = 241{,}87 \text{ кг}.$$

Концентрация сиропа

$$100{,}75 \cdot 100/241{,}87 = 41{,}7\%; \qquad d = 1{,}1928.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$241{,}87/1{,}1928 = 202{,}77 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 70 °С

$$202{,}77\,[1 - 0{,}000435\,(70 - 20)] = 207{,}33 \text{ л}.$$

Выпарная установка. Масса сиропа, уходящего с выпарной установки, при уваривании до 54,4 % СВ

$$100{,}45 \cdot 100/54{,}4 = 184{,}7 \text{ кг}; \qquad d = 1{,}2629.$$

Количество выпариваемой воды

$$241{,}87 - 184{,}7 = 57{,}17 \text{ кг}.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$184{,}7 \cdot 100/1{,}2629 = 146{,}3 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 65 °С

$$146{,}3/[1 - 0{,}000435\,(65 - 20)] = 149{,}2 \text{ л}.$$

Контрольные фильтры. Масса сиропа, уходящего с фильтров,

$$184{,}7 - (0{,}25 \cdot 100/54{,}4) = 184{,}2 \text{ кг}.$$

Содержание сухих веществ в сиропе

$$100{,}20 \cdot 100/184{,}2 = 54{,}3\%; \qquad d = 1{,}2624.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$184{,}2/1{,}2624 = 145{,}9 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 60 °С

$$145{,}9/[1 - 1{,}000435\,(60 - 20)] = 148{,}4 \text{ л}.$$

Вакуум-аппарат. Патока после вакуум-аппарата имеет концентрацию 78 %; $d = 1{,}4132$.

Масса патоки после вакуум-аппарата

$$100 \cdot 100/78 = 128{,}20 \text{ кг}.$$

Объем сиропа при 20 °С

$$128{,}20/1{,}4132 = 90{,}7 \text{ л}.$$

Объем сиропа при 60 °С

$$90{,}7/[1 - 0{,}000435\,(60 - 20)] = 92{,}3 \text{ л}.$$

Количество выпаренной воды

$$184{,}2 - 128{,}2 = 56{,}0 \text{ кг}.$$

Сборник фильтрационного осадка. Суспензия содержит 18,7 СВ; $d = 1{,}0777$.

В сборник поступает фильтрационный осадок с диатомитовых фильтров — 2,52 кг, фильтрационный осадок с угольных фильтров — 1,70 кг и фильтрационный осадок с контрольных фильтров — 0,25 кг.

Всего $2{,}52 + 1{,}70 + 0{,}25 = 4{,}47$ кг.

Масса продукта

$$4{,}47 \cdot 100/18{,}7 = 23{,}87 \text{ кг}.$$

Объем продукта при 70 °С

$$23{,}87/1{,}0777 = 22{,}16 \text{ л}.$$

Фильтр. Промои после фильтра имеют концентрацию 9,8 %; $d = 1{,}0422$. Содержание сухих веществ равно 1,71 кг.

Масса промоев

$$1{,}71 \cdot 100/9{,}8 = 17{,}45 \text{ кг}.$$

Объем промоев

$$17,45/1,0422 = 16,74 \text{ л}.$$

Масса фильтрационного осадка

$$23,87 - 17,45 = 6,42 \text{ кг}.$$

Содержание сухих веществ

$$4,47 - 1,71 = 2,76 \text{ кг}.$$

Концентрация

$$2,76 \cdot 100/2,42 = 47,0 \%.$$

Объем

$$22,16 - 16,74 = 5,12 \text{ л}.$$

Масса и объем продуктов по станциям производства патоки приведены в табл. 45.

Глава 7. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЛЮКОЗЕ

Глюкоза $C_6H_{12}O_6$ (молекулярная масса 180,16) является самым распространенным в природе сахаристым веществом. В свободном виде она содержится в плодах, ягодах, входит в состав пчелиного меда. В связанном виде глюкоза встречается в природе в виде сложных высокомолекулярных соединений, таких, как крахмал, клетчатка и др.

В чистом виде глюкоза представляет собой белый мелкокристаллический порошок сладкого вкуса. Сладость ее составляет 70 % сладости сахарозы.

Кристаллическая глюкоза в основном применяется для целей здравоохранения. Применяется она также в различных отраслях пищевой промышленности не только как заменитель свекловичного сахара, но и как улучшитель вкуса и товарного вида пищевых изделий (хлебопекарная, кондитерская, консервная и другие отрасли промышленности).

В чистом виде глюкозу получают из крахмала, содержащего в качестве основной структурной единицы ангидридный глюкозный остаток ($C_6H_{10}O_5$). При этом технологией предусматривается расщепить крахмал путем гидролиза до глюкозы и из очищенных гидролизатов получить ее в кристаллическом виде путем кристаллизации или непосредственного высушивания очищенных гидролизатов на сушильной установке в гранулированном виде или в виде брикетов при спонтанной кристаллизации глюкозы без последующего отделения межкристального оттека.

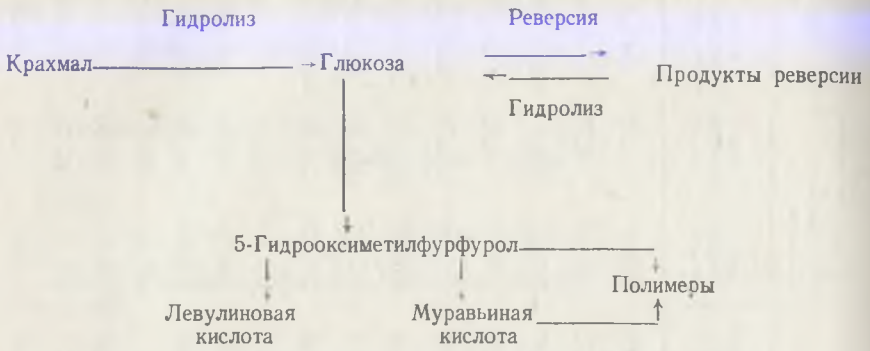
Реакцию гидролиза ускоряют применением катализаторов как химических, так и биологических. В качестве химических катализаторов используют минеральные кислоты, в качестве биологических катализаторов — ферменты.

Таблица 45

Продукты	Концентрация СВ, %		Плотность, т/м³	На 100 г безводного крахмала			Расход на 1 т патоки	
	по сахарометру	фактически		СВ продукта, кг	масса продукта, кг	объем продукта, м³	масса продукта, кг	объем продукта, м³
Крахмальное молоко	40	40,06	1,1794	100,00	249,89	211,89	1949,22	1652,81
Соляная кислота для гидролиза	32,75	28,14	1,1425	0,24	0,85	0,75	6,63	5,85
Сироп перед нейтрализатором	34,75	33,7	1,1523	105,30	312,21	286,0	2435,34	2230,89
Раствор соды	18,10	7,03	1,0744	0,25	4,00	3,72	31,20	29,02
Сироп после нейтрализации	37,0	35,9	1,1635	105,41	294,03	260,50	2293,53	2031,98
Сироп после диатомитовой фильтрации	36,1	35,0	1,1590	102,10	291,00	257,80	2269,89	2010,92
Сироп после норитной фильтрации	36,15	35,1	1,1595	100,75	287,10	253,20	2239,47	1975,81
Густой сироп после выпарки	55,5	54,4	1,2629	100,45	184,70	149,20	1440,72	1163,04
Вода, удаленная на выпарке	—	—	1,00	—	102,40	102,40	798,75	798,75
Густой сироп после контрольной фильтрации	55,4	54,3	1,2624	100,20	184,20	148,40	1436,82	1157,57
Патока из вакуум-аппарата	79,6	78,0	1,4132	100,00	128,20	92,30	1000,0	719,96
Вода, выпаренная в вакуум-аппарате	—	—	—	—	56,0	56,0	436,82	436,82
Суспензия перед грязевым фильтром	—	18,7	1,077	4,47	23,87	22,16	186,19	172,85
Промои	10	9,8	1,0422	1,71	17,45	16,74	136,12	130,58
Промытый фильтрационный осадок	—	43,0	—	2,76	6,42	5,12	50,08	39,94

КИСЛОТНЫЙ ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА

В соответствии с основополагающими работами проф. П. М. Силина и В. А. Смирнова ниже представлена схема кислотного гидролиза крахмала при производстве глюкозы.



Кислотный гидролиз в глюкозном производстве также осуществляется при высокой температуре (100—150 °С). В начальный период процесс характеризуется переходом крахмала в растворимое состояние и далее — разрывом глюкозидных связей в макромолекулах амилозы и амилопектина. Вследствие неизбирательного действия кислоты глюкозидные связи разрываются в различных частях этих макромолекул с образованием декстринов, олигосахаридов и небольшого количества глюкозы. В дальнейшем декстрины гидролизуются до мальтозы, а мальтоза — до глюкозы.

Наиболее важным показателем, характеризующим ход гидролиза крахмала, является содержание редуцирующих веществ в гидролизате, выраженное в процентах к сухим веществам гидролизата. Эту величину называют глюкозным эквивалентом ГЭ. Чем выше глюкозный эквивалент гидролизата крахмала, тем больше и легче можно извлечь из него глюкозы. Приближенно можно считать, что с повышением глюкозного эквивалента на 1 % выход кристаллической глюкозы увеличивается на 3 %.

Однако наряду с образованием глюкозы при кислотном гидролизе происходят другие нежелательные процессы. С увеличением концентрации глюкозы в гидролизате часть ее, соединяясь друг с другом или с олигосахаридами, образует так называемые продукты реверсии с α-1,6 и α-1,1-глюкозидными связями. Основными из них являются изомальтоза, паноза и гентиобиоза и др.

Продукты реверсии не сбраживаются дрожжами, осаждаются спиртоэфирной смесью. Удельное вращение их находится в пределах 63,8—65,2 °. Редуцирующая способность этих веществ около 37 %. В 96 %-ном спирте они растворимы, поэтому не дают положительной спиртовой пробы.

В общем виде реакцию реверсии можно представить следующим уравнением:

$$2C_6H_{12}O_6 \rightleftarrows C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O.$$

Количество образующихся продуктов реверсии сильно зависит от концентрации глюкозы: чем выше концентрация ее, тем ниже ГЭ конечного гидролизата, тем больше образуется продуктов реверсии. Вот почему в глюкозном производстве на гидролиз направляют суспензию концентрацией 22—25 %.

Реакция реверсии обратима. При соответствующих условиях, а именно при разбавлении, продукты реверсии могут быть вновь превращены в глюкозу.

Параллельно с реакцией реверсии в процессе кислотного гидролиза некоторое количество глюкозы разлагается. При этом в результате отщепле-

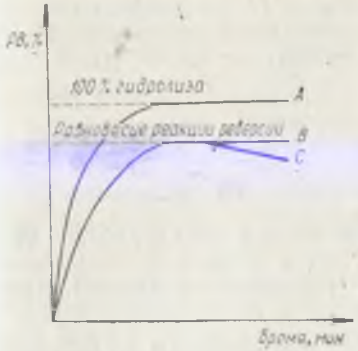


Рис. 87. Зависимость содержания редуцирующих веществ от продолжительности кислотного гидролиза крахмала

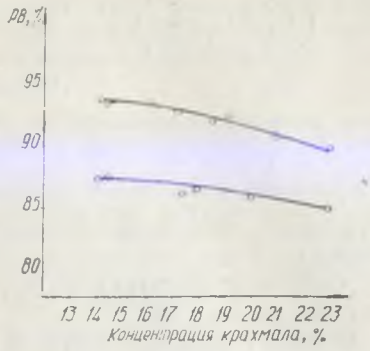


Рис. 88. Зависимость содержания РВ и глюкозы в гидролизатах от концентрации крахмала при кислотном гидролизе

ния от молекулы глюкозы трех молекул воды образуется 5-оксиметилфурфурол, часть которого далее разлагается с образованием левулиновой и муравьиной кислот (см. схему), а часть вступает в реакцию с присутствующим в крахмале протеином, в частности с продуктами его распада с образованием так называемых меланоидинов, обладающих желтой или бурой окраской.

Красящие вещества глюкозного производства обладают свойствами высокомолекулярных электролитов, заряжены отрицательно, обладают редуцирующей способностью.

Присутствие красящих веществ в гидролизатах крахмала нежелательно, так как они ухудшают вкус гидролизата и, в конечном счете, снижают выход кристаллической глюкозы, ухудшая качество готовой продукции.

На рис. 87 представлена динамика процесса кислотного гидролиза крахмала. Кривая *A* соответствует гидролизу крахмала при условии, если процесс реверсии не происходит, кривая *B* — при наличии процесса раверсии. Кривая *C* соответствует действительной картине, когда наряду с реверсией происходит разложение глюкозы с образованием 5-гидрооксиметилфурфурола до 0,7 %.

Как видно из рис. 88, максимальный глюкозный эквивалент гидролизатов крахмала при кислотном гидролизе в производственных условиях составляет 89—91 %.

Если на гидролиз направлять крахмальную суспензию меньшей концентрации, то можно получать гидролизаты с более высоким глюкозным эквивалентом. Так, при снижении концентрации крахмальной суспензии до 15 %, доброкачественность гидролизата повышается до 94,5 % (содержание глюкозы 89,4 %). Однако при этом значительно увеличивается расход пара, значительно повышается зольность сиропа.

ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРМЕНТОВ

Ферменты являются веществами белковой природы. Это — биологические катализаторы, обладающие высокой специфичностью действия.

Для промышленного получения ферментов используют микроорганизмы — дрожжи, плесневые грибы и бактерии, которые

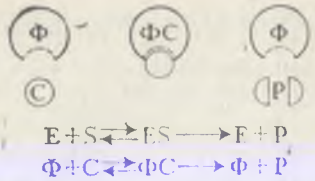


Рис. 89. Схематическое изображение образования фермент — субстрат комплекса:
E — фермент; *S* — субстрат; *P* — продукт

в процессе своего развития синтезируют соответствующие ферменты.

Механизм действия на субстрат (исходный продукт) представлен на рис. 89.

Фермент вначале образует с соответствующим субстратом комплекс. Субстрат во время реакции соединяется не со всей молекулой фермента, а со строго определенным участком, получившим название **активного центра**, который обладает мощным сродством к соответствующему субстрату.

Скорость ферментативной реакции зависит от времени, необходимого для образования комплекса фермент — субстрат, и от времени, которое необходимо ферменту, чтобы образовать продукт реакции.

К числу основных факторов, определяющих течение ферментативной реакции, относятся температура, pH среды, концентрации субстрата и фермента.

Температура. Как и при всех биохимических процессах, реакционная способность ферментов увеличивается с повышением температуры. Но ферменты, как все белки при повышении температуры, могут необратимо денатурироваться. Расположенная в пространстве глобула фермента свертывается, закрывая активные центры. Происходит инактивация фермента.

Таким образом, нагревание в начале приводит к увеличению скорости реакции, а затем, пройдя через максимум, — к ее быстрому снижению. Для каждого фермента существует свой интервал оптимальной температуры, когда действие фермента максимальное.

Показатель pH. Молекулы ферментов, как и других белков, содержат различные заряженные радикалы, которые могут диссоциировать при различных значениях pH. Изменение электрического заряда белка всегда влечет за собой изменение структуры и пространственного расположения. Поэтому изменение электрического силового поля около активного центра приводит к изменению скорости ферментативного действия. Каждый фермент имеет свой интервал pH, где действие его максимально.

Если поддерживать постоянными температуру, показатель pH, а также концентрацию фермента, то скорость ферментативной реакции возрастает с повышением концентрации субстрата до определенной величины, достигнув которой, дальше не может увеличиваться.

При добавлении к ферменту некоторых веществ, влияющих

на его активный центр, скорость катализируемой реакции изменяется в зависимости от характера воздействия. Такие вещества называются ингибиторами, замедляющими процесс, или активаторами, ускоряющими процесс.

Амилолитические ферменты. Ферменты, расщепляющие крахмал, называют амилолитическими (от латинского слова «амилум», что означает крахмал).

К амилолитическим ферментам относятся α-амилаза, β-амилаза, глюкоамилаза и амило-1,6-глюкозидаза. Каждый из этих ферментов характеризуется специфическим воздействием на крахмал. α-Амилаза катализирует разрыв α-1,4-глюкозидных связей в крахмале у первого углеродного атома кислородного мостика образованием низкомолекулярных разветвленных олигосахаридов и небольшого количества глюкозы и мальтозы.

α-Амилазу получают из плесневых грибов и бактерий. α-Амилазы из разных источников проявляют несколько отличные свойства.

Способность катализировать гидролиз крахмала характеризуется активностью фермента. За единицу амилолитической активности (АС) принимается такое количество фермента, которое в строго определенных условиях температуры, pH и времени действия катализирует до декстринов 1 г растворимого крахмала. Установлено, что α-амилазы и другие амилолитические ферменты гидролизуют клейстеризованный крахмал со скоростью, во много раз больше, чем нативный.

β-Амилаза расщепляет амилозу и амилопектин с нередуцирующего конца линейного участка в месте предпоследней α-1,4-связи. Продуктом реакции является мальтоза. Если гидролизу подвергается амилоза, то гидролиз идет полностью до мальтозы. В случае амилопектина гидролиз приостанавливается на предпоследней α-1,4-связи, граничащей со связью α-1,6. α-1,6-Глюкозидная связь этим ферментом не расщепляется. Поэтому в результате действия β-амилазы на клейстеризованный крахмал в гидролизате накапливается 54—58 % мальтозы, а остальное составляют высокомолекулярные декстрины. β-Амилаза содержится в основном в высших растениях, особенно зерновых (ячмень, овес и др.).

Фермент применяется для производства мальтозной патоки и чистой мальтозы.

Глюкоамилаза (амилоглюкозидаза) действует на клейстеризованный крахмал, последовательно расщепляя α-1,4 и α-1,6-глюкозидные связи. Скорость гидролиза α-1,4-связей в 15 раз больше, чем α-1,6 связей. Единственным продуктом гидролиза крахмала на всех стадиях является только β-глюкоза.

Глюкоамилазные препараты для производства крахмалопродуктов должны содержать незначительное количество α-амилазной активности и лишь следы трансгликозидазной и протеолитической активности.

Действие α-амилазы на крахмал приводит к образованию низкомолекулярных соединений, которые разрушаются глюкоамилазой медленно.

Трансгликозидаза синтезирует такие изосахара, как изомальтоза, паноза и др., которые не атаковываются глюкоамилазой.

Протеаза переводит нерастворимые белковые вещества в аминокислоты, удалить которые из гидролизата крахмала значительно труднее, чем нерастворимый протеин.

Качество глюкоамилазных препаратов в основном характеризуется глюкоамилазной активностью ГлА, свидетельствующей о способности ферментного препарата катализировать расщепление растворимого крахмала до глюкозы, и выражается числом единиц активности в 1 г препарата.

За единицу глюкоамилазной активности принято то количество фермента, которое образует при действии на растворимый крахмал при 30 °С и pH 4,7 1 мк/моль глюкозы за 1 мин.

Номенклатура ферментов. Ферментные препараты называют по основной активности. Так, если основным ферментом является α-амилаза, то название препарата начинается с «амил». Если препарат содержит преиму-

ществено глюкоамилазу, то в наименовании появляется «глюк», для протеолитических ферментов — «прот» и т. д.

Вторая часть наименования получается из измененного видового названия продуцента микроорганизма, используемого для получения фермента. Например, продуцент Asp. oryzae, вторая часть препарата будет «оризин», если Asp. niger — «нигрин», Baccillus subtilies — «субтилин» и т. д.

Препараты ферментов могут быть получены глубинным или поверхностным культивированием. При глубинном способе после вышеуказанного названия ставится буква «Г», а при поверхностном — «П».

Условно качество фермента обозначается буквой «Х». Цифра перед буквой «Х» указывает на степень очистки фермента в процессе получения данного ферментного препарата.

Выпускаемые в СССР ферментные препараты условно делятся на три группы:

культуры микроорганизмов с индексом ПХ и ГХ (без какой-либо очистки);

технические ферментные препараты с индексом 2Х и 3Х (фермент очищен только от нерастворимой части балласта);

очищенные ферментные препараты с индексами от 10Х до 30Х (спиртоосажденные или очищенные ультрафильтрацией).

Ферментативный гидролиз. Если кислотный гидролиз осуществляется в одну стадию вследствие неизбирательного действия кислоты, то ферментативный гидролиз проводят в две стадии: разжижения и осахаривания. Наличие двух стадий обусловлено тем, что глюкоамилаза, гидролизующая крахмал до глюкозы, интенсивно атакует его в растворенном состоянии, проявляя наибольшее сродство к высокомолекулярным декстринам. Неоклейстеризованные зерна крахмала очень медленно атакуются с поверхности ферментом, т. е. практически они

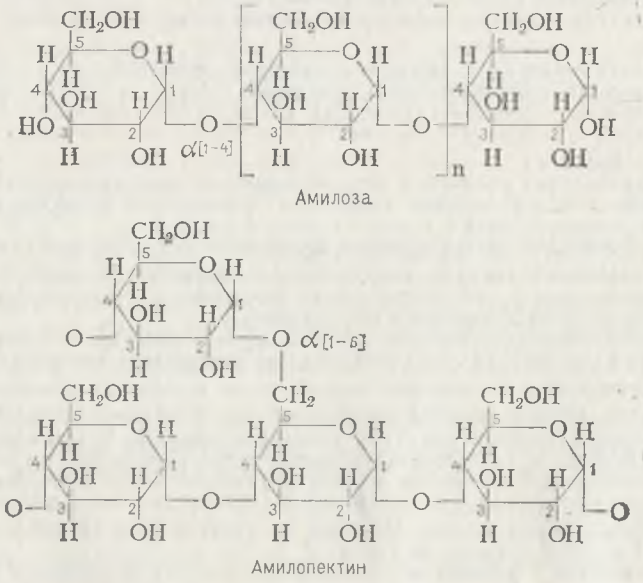


Рис. 90. Компоненты крахмала: амилоза, амилопектин

остаются в продукте до конца гидролиза, давая синее окрашивание с йодом.

Поэтому вначале необходима полная клейстеризация крахмала. При клейстеризации значительно увеличивается вязкость крахмала. С целью снижения вязкости раствор обрабатывают бактериальной α-амилазой.

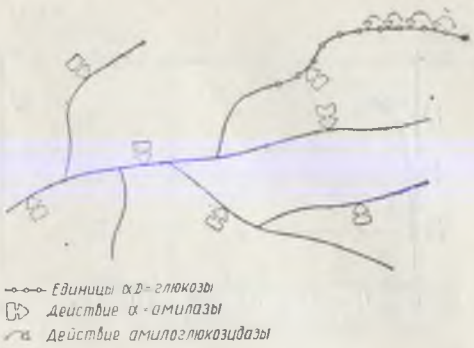


Рис. 91. Гидролиз крахмала

Механизм действия ферментов на крахмал представлен на рис. 90 и 91. На рис. 91 приведены фрагменты структурных формул амилозы и амилопектина. Амилоза состоит из нескольких миллионов единиц ангидроглюкозы, соединенных в прямую цепочку α-1,4-глюкозидными связями. Один из концов цепи обладает редуцирующей способностью.

Амилопектин характеризуется разветвленной цепочкой, причем каждое разветвление содержит 20—30 единиц ангидридной глюкозы, соединенных α-1,4-глюкозидной связью, но прикрепляющихся к линейным цепям с помощью α-1,6-глюкозидной связи. Амилопектин содержит от 10 000 до 100 000 единиц глюкозы. Эти макромолекулы соединены между собой водородными связями.

Как видно из рис. 91, бактериальная α-амилаза гидролизует α-1,4-глюкозидные связи в молекуле амилозы и амилопектина случайным образом. Результатом деполимеризации является резкое снижение вязкости клейстера. Отсюда и название процесса — процесс разжижения.

Процесс разжижения можно проводить с применением как фермента, так и кислоты.

Независимо от способа при разжижении, с одной стороны, необходимо стремиться полностью оклейстеризовать крахмал, чтобы не снизить выход готовой продукции, не ухудшить фильтрационную характеристику гидролизата и не допустить явления ретроградации крахмала.

С другой стороны, при более глубоком гидролизе в процессе разжижения крахмала образуется много таких олигосахаридов, на которые глюкоамилаза действует значительно медленнее, чем на крупные полимеры.

С учетом вышеуказанных возможностей разжижение крахмала производится до содержания редуцирующих веществ 15—20 %.

Качество конечных гидролизатов во многом зависит от того,

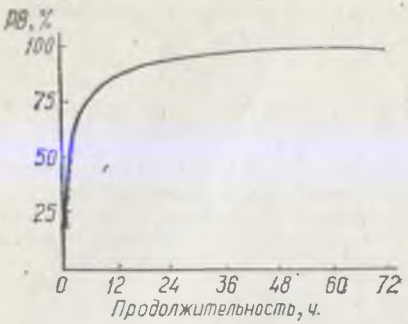


Рис. 92. Кривая осахаривания крахмала при ферментативном гидролизе

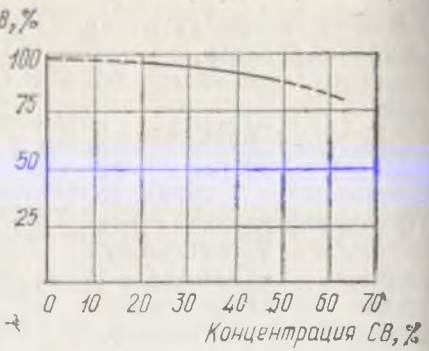


Рис. 93. Зависимость содержания редуцирующих веществ в конечном гидролизате от концентрации субстрата

как разжижался крахмал — с применением кислоты или фермента.

Примечание. Частички ретроградированного крахмала являются причиной помутнения ферментативных гидролизатов. Ретроградированный крахмал нерастворим в воде и не поддается действию амилолитических ферментов.

Частички ретроградированного крахмала проникают в поры фильтровальной ткани, закупоривая их и ухудшая условия фильтрования.

Недостатком кислотного способа разжижения является то, что процесс производится при высоких температуре и концентрации кислоты. Эти условия благоприятствуют разрушению белковых примесей крахмала, которые переходят в гидролизат, что нежелательно. При нейтрализации кислоты раствором кальцинированной соды в гидролизате образуется хлористый натрий, ухудшающий условия кристаллизации глюкозы.

Наиболее прогрессивным является ферментативный процесс разжижения, как обеспечивающий получение наиболее атакуемых глюкоамилазой промежуточных продуктов распада крахмала. Этот процесс осуществляется с применением ферментного препарата бактериальной α-амилазы (Амилосубтилин Г10х, Г20х).

Ферментативное осахаривание крахмала. Разжиженный кислотным или ферментным способами крахмал далее передается на вторую стадию гидролиза — осахаривание. Гидролиз декстринов до глюкозы осуществляется ферментным препаратом амилоглюкозидазой, которая отщепляет (см. рис. 91) каждый раз по одной молекуле глюкозы, начиная с нередуцирующего конца молекулы олигосахарида.

На рис. 92 приведена типичная кривая осахаривания кукурузного крахмала, предварительно разжиженного ферментативным способом с применением бактериальной α-амилазы до содержания редуцирующих веществ 19 %. На стадии осахари-

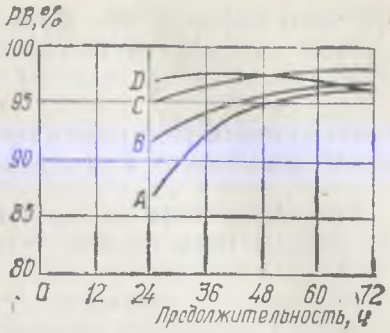


Рис. 94. Эффект осахаривания крахмала при разных дозах аминоглюкозидазы (в ед. ГлА на 1 г крахмала):
A — 1,75; *B* — 2,5; *C* — 3,75; *D* — 4,25

вания использовался глюкоамилазный препарат Глюконигрин Г20х из расчета 2,5 ед. ГлА на 1 г сухого крахмала. Процесс осахаривания осуществлялся при температуре 60 °С и pH 4,5.

Как видно из кривой (рис. 92), в первые часы процесс гидролиза протекает интенсивно, а далее замедляется, достигая максимального значения редуцирующих веществ 98 % (глюкозы 97 %, мальтозы 1,6, изомальтозы 1,3 %). Такой ход гидролиза объясняется тем, что в разжиженном продукте вначале находится большое количество крупных полимеров крахмала, к которым глюкоамилаза имеет бо́льшее сродство. При дальнейшем гидролизе скорость убывает, так как глюкоамилаза гидролизует олигосахариды с меньшей скоростью из-за большей стойкости связей в этих продуктах. Кроме того, определенная часть олигосахаридов остается негидролизованной даже после длительного осахаривания. По этой причине в случае кислотного разжижения глюкозный эквивалент гидролизата крахмала вообще не превышает 95 % (содержание глюкозы 92,5—92 %).

Доброкачественность конечного сиропа в процессе осахаривания зависит от концентрации разжиженного крахмала. Процесс осахаривания проводился с изменением вышеуказанного глюкоамилазного препарата и в тех же условиях (рис. 93). При концентрации субстрата выше 35 % глюкозный эквивалент снижается из-за ресинтеза мальтозы и изомальтозы. Оптимальной концентрацией субстрата следует считать 30—35 %.

Рис. 94 иллюстрирует влияние концентрации фермента на скорость реакции осахаривания. Чем больше дозировка глюкоамилазы, тем быстрее достигается максимальное значение глюкозного эквивалента. Однако при высоких концентрациях фермента после достижения максимума глюкозный эквивалент начинает уменьшаться в основном за счет ресинтеза мальтозы и изомальтозы из глюкозы. Таким синтезирующим действием обладают все известные промышленные препараты глюкоамилазы. Поэтому применяют оптимальную дозировку фермента — 2,2—2,7 ед. ГлА на 1 г сухого крахмала в зависимости от продолжительности процесса.

Таким образом, при ферментативном разжижении и осахаривании крахмала представляется возможным почти количественно перевести крахмал в глюкозу.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ГИДРАТНОЙ ГЛЮКОЗЫ

Технологическая схема с кислотным гидролизом крахмала. На рис. 95 представлена технологическая схема производства

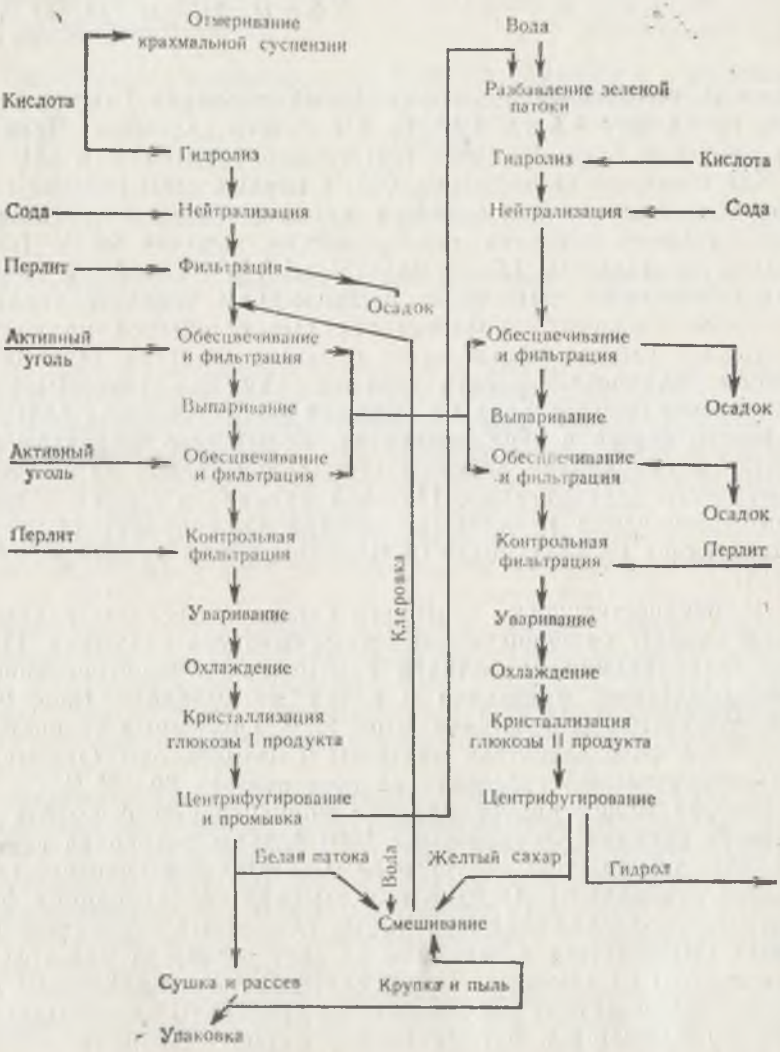


Рис. 95. Технологическая схема производства кристаллической гидратной глюкозы с применением кислотного гидролиза

кристаллической гидратной глюкозы с кислотным гидролизом крахмала и доосахариванием первого оттека.

Отмеренную порцию крахмальной суспензии концентрацией 22—25 % направляют на кислотный гидролиз в конвертор. Соляная кислота дозируется из расчета 0,5—0,65 % газа HCl к массе сухого крахмала. Кислый сироп выдувается в нейтрализатор, где соляная кислота нейтрализуется раствором кальцинированной соды. Содержание редуцирующих веществ в гидролизате колеблется в пределах 89—90 %.

Нейтрализованный сироп подвергают механическому фильтрованию. Отфильтрованный жиробелковый осадок выводят из производства, а фильтрат обесцвечивают активным углем и фильтруют. Фильтрат упаривают на трехкорпусной выпарной установке под вакуумом до концентрации 54—57 %.

Густой сироп обрабатывают свежим активным углем, фильтруют, а после контрольного фильтрования уваривают в вакуум-аппарате до концентрации 74,0—74,5 %, охлаждают и направляют на кристаллизацию. Процесс кристаллизации глюкозы в линии I продукта продолжается 88—90 ч. Полученный глюкозный утфель далее центрифугируется. В качестве первого оттека вначале получают зеленую патоку с глюкозным эквивалентом 82 %, а при последующей промывке кристаллов глюкозы водой (второй оттек) — белую патоку.

Влажные кристаллы глюкозы высушивают до содержания влаги 9 %, просеивают и упаковывают.

Белую патоку, а также глюкозную пыль и крупку, получаемые в процессе высушивания, возвращают в линию I продукта.

Зеленую патоку разбавляют водой до 30%-ной концентрации и подвергают кислотному гидролизу с целью перевода продуктов реверсии в глюкозу. Благодаря гидролизу содержание редуцирующих веществ в гидролизате повышается на 3—6 %. Далее кислый сироп из конвертора направляют в нейтрализатор, где осуществляется нейтрализация соляной кислоты раствором кальцинированной соды. Гидролизат обесцвечивается активным углем, использованным в линии I продукта, и фильтруется. Осадок выводится из производства, а фильтрат упаривается на трехкорпусной выпарной установке до концентрации 54—57 %. Густой сироп также обесцвечивается активным углем с последующим двукратным фильтрованием (последнее фильтрование — контрольное) и уваривается в вакуум-аппарате до концентрации 76—77 %. Уваренный сироп охлаждают в холодильнике и направляют в кристаллизаторы. Продолжительность процесса кристаллизации глюкозы в линии II продукта составляет 192 ч.

Глюкозный утфель центрифугируют, получая при этом так называемый желтый сахар и третий оттек — гидрол с глюкозным эквивалентом 72—74 %. Желтый сахар после выгрузки из центрифуги клеруют вместе с белой патокой, глюкозной крупкой

и пылью и в виде клеровки возвращают в линию I продукта на стадию обесцвечивания жидкого сиропа активным углем.

Благодаря возврату желтого сахара повышается содержание редуцирующих веществ глюкозных сиропов I продукта, направляемых на кристаллизацию, до 92—93 %. Это обстоятельство способствует значительному улучшению условий кристаллизации глюкозы по сравнению с условиями работы без осахаривания зеленой патоки.

Таким образом, технология переработки гидролизатов крахмала, полученных с применением соляной кислоты в качестве катализатора, предусматривает двухстадийный процесс кристаллизации глюкозы, причем линия II продукта полностью дублирует линию I продукта, но в ней отсутствует процесс высушивания кристаллов глюкозы.

Выход кристаллической глюкозы при этом составляет 69—70 % к массе переработанного безводного крахмала. Удельный расход крахмала составляет 1300 кг.

Технологические схемы с применением ферментов для гидролиза крахмала. Более прогрессивной является технология производства глюкозы с применением амилолитических ферментов для гидролиза крахмала. На рис. 96 приведена технологическая схема производства кристаллической глюкозы, предусматривающая кислотно-ферментативный или полностью ферментативный гидролиз крахмала с двухстадийным процессом кристаллизации глюкозы.

Отмеренную порцию крахмальной суспензии концентрацией 35—38 % направляют на разжижение кислотное или ферментативное. В случае кислотного разжижения крахмал подвергается частичному гидролизу до содержания редуцирующих веществ 15—20 % в конверторе в присутствии соляной кислоты, которая дозируется из расчета 0,10—0,12 % газа к массе безводного крахмала. Кислый сироп выдувается в нейтрализатор, где свободная соляная кислота нейтрализуется раствором кальцинированной соды до величины pH, соответствующей оптимуму действия амилоглюкозидазы при последующем ферментативном осахаривании крахмала.

Нейтрализованный сироп далее охлаждается до 60 °С и направляется на ферментативное осахаривание.

При ферментативном разжижении в качестве катализатора применяют препараты бактериальной α-амилазы (Амилосубтилин Г10х и Г20х).

В поступающую из цеха сырого крахмала крахмальную суспензию добавляют раствор кальцинированной воды или щелочи для доведения величины pH до 6,2—6,7, являющейся оптимальной для действия α-амилазы. Процесс ферментативной обработки осуществляется в две стадии при температуре 85 °С с промежуточной обработкой. α-Амилаза дозируется из расчета 0,75 ед. АС на 1 г безводного крахмала. Разжиженный продукт содержит 15—20 % редуцирующих веществ. После охлаждения

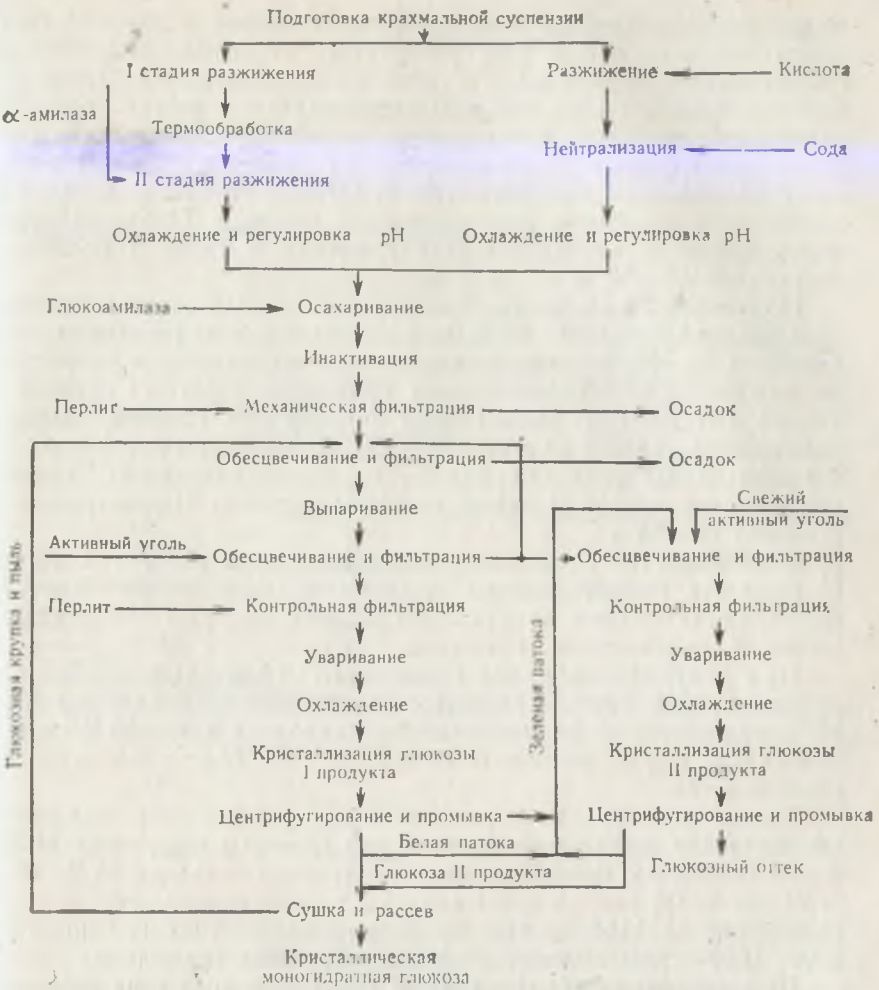


Рис. 96. Технологическая схема производства кристаллической гидратной глюкозы с ферментативным и кислотно-ферментативным гидролизом крахмала

и доведения величины pH 4—5 продукт также направляют на осахаривание с применением глюкоамилазы, которую дозируют в виде раствора примерно 3—5%-ной концентрации, либо в сборники для регулирования величины pH, либо сразу в осахаривающую емкость. Глюкоамилазу дозируют из расчета 2,2—2,7 ед. ГлА на 1 г безводного крахмала.

В результате осахаривания получают сироп с глюкозным эквивалентом 94—95 % в случае кислотно-ферментативного гидролиза и 97—98 % при полностью ферментативном гидролизе. Далее продукт подогревают до температуры 75—80 °С с целью

инактивации глюкоамилазы и перерабатывают в линии I продукта так же, как и при кислотном гидролизе. Исключение представляют получаемые с применением ферментов гидролизаты в связи с более высоким содержанием глюкозы, которые отличаются высокой кристаллизационной способностью. Вследствие этого сиропы, направляемые на кристаллизацию, упаривают до меньшей концентрации, а именно 70—72 % в зависимости от содержания редуцирующих веществ. Продолжительность процесса кристаллизации глюкозы в линии I продукта составляет 48—50 ч.

Полученный при центрифугировании первый оттек с глюкозным эквивалентом 89—90 % при кислотно-ферментативном гидролизе и 92—93 % — при полностью ферментативном гидролизе не нуждается в дополнительном гидролизе. Поэтому первый и второй оттеки без разбавления подвергают обесцвечиванию, упариванию сразу в вакуум-аппарате до концентрации 73—74 % и после охлаждения направляют на кристаллизацию. Продолжительность кристаллизации глюкозы в линии II продукта составляет 72—90 ч.

Особенностью технологии является также то, что в линии II продукта представляется возможным получать при центрифугировании чистые кристаллы глюкозы, которые высушивают вместе с кристаллами I продукта.

При центрифугировании глюкозного утфеля II продукта получают третий оттек — гидрол с глюкозным эквивалентом 76—80 % при кислотно-ферментативном гидролизе и 82—85 % — при полностью ферментативном гидролизе. Гидрол выводится из производства.

Схема с кислотно-ферментативным гидролизом крахмала обеспечивает выход кристаллической глюкозы на уровне 80 %, а при полностью ферментативном гидролизе — свыше 85 %. При этом удельный расход крахмала на 1 т кристаллической глюкозы снижается до 1150 кг при кислотно-ферментативном гидролизе и до 1050 — при полностью ферментативном гидролизе.

При кислотно-ферментативном гидролизе крахмала качество кристаллов на линии II продукта несколько хуже, чем на линии I продукта. Для получения готовой продукции стандартного качества необходима ритмичная работа обеих линий. Кроме того, работа на две линии приводит к повышению капитальных затрат, увеличению расхода энергоресурсов, усложняется обслуживание. В настоящее время на предприятиях крахмало-паточной промышленности внедряется схема с одностадийной кристаллизацией глюкозы.

Технологическая схема производства глюкозы приведена на рис. 97.

Чтобы за одну стадию кристаллизации истощить межкристальный оттек до такой же степени, как при двухстадийном процессе, жидкий сироп после ферментативного осахаривания и механического фильтрования смешивают с первым и вторым

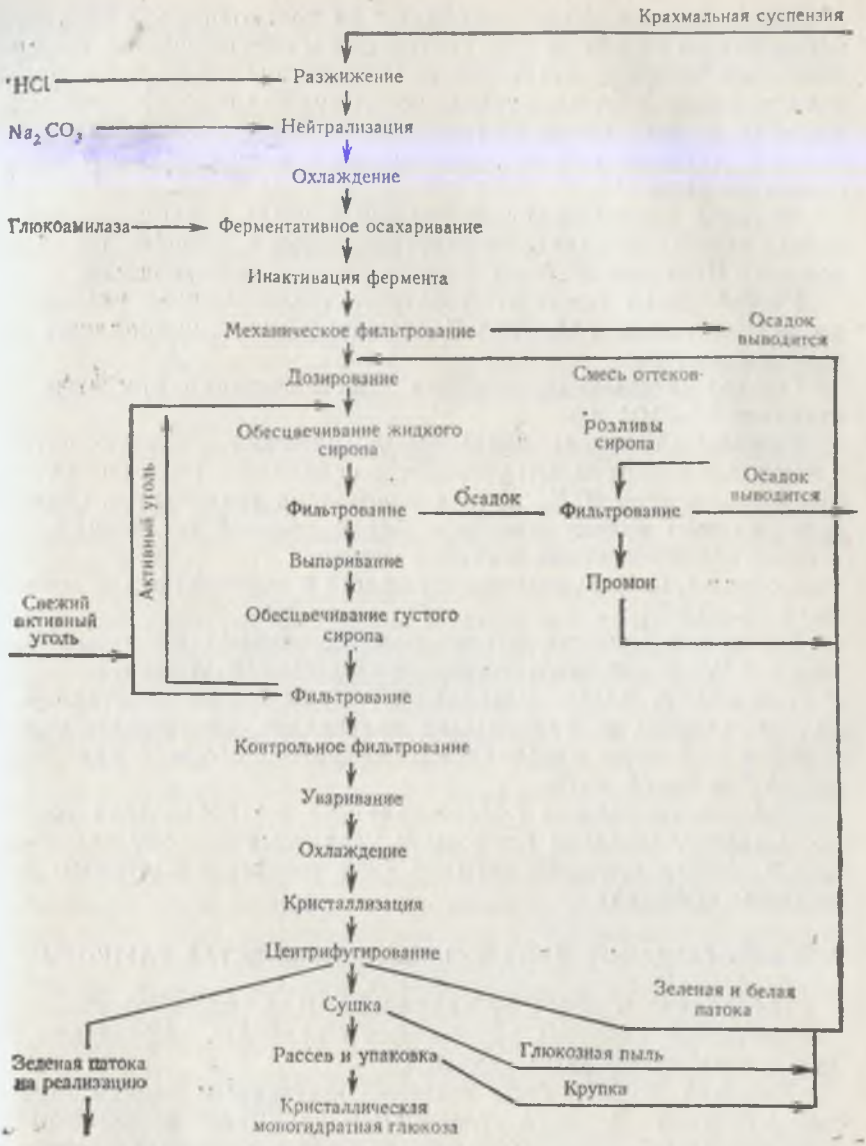


Рис. 97. Технологическая схема производства кристаллической глюкозы с кислотно-ферментативным гидролизом крахмала и одностадийной кристаллизацией глюкозы

оттеками (зеленой и белой патоками), чтобы снизить содержание редуцирующих веществ в сиропе, направляемом на кристаллизацию, до 90—91 %. Смесь зеленой и белой паток обесцвечивают активным углем и фильтруют либо вместе с жидким сиропом после механического фильтрования, либо отдельно.

Далее жидкий сироп упаривают на трехкорпусной выпарной установке до 54—57 % СВ. Густой сироп обесцвечивают свежим активным углем и фильтруют. Осадок активного угля после фильтрования густого сиропа используют для обесцвечивания жидкого сиропа после механического фильтрования и смеси зеленой и белой паток, возвращаемых в основную производственную линию.

Дважды использованный активный уголь разводят водой с целью обессахаривания, отфильтровывают и выводят на завод кормов. Промывные воды утилизируют в производстве.

Густой сироп после контрольного фильтрования уваривают до концентрации 74,5—75,0 %, охлаждают и направляют на кристаллизацию.

Продолжительность процесса кристаллизации при этом составляет 96—104 ч.

Глюкозный утфель далее центрифугируют. Зеленую патоку с помощью дозирующего устройства собирают в отдельный сборник в количестве 40 %, откуда выводят на реализацию. Остальную зеленую патоку вместе с белой патокой возвращают на стадию обесцвечивания жидкого сиропа.

Содержание редуцирующих веществ в зеленой патоке должно быть 76—78 %.

Промытые кристаллы глюкозы высушивают до содержания влаги 9 %, после чего подвергают рассеву и упаковке.

Глюкозную пыль, улавливаемую при сушке кристаллов, и крупку, отсеянную при рассеве кристаллов, растворяют в конденсате и в виде клеровки направляют в сборник для смеси зеленой и белой паток.

Данная технология обеспечивает те же показатели по выходу кристаллической глюкозы и удельному расходу крахмала, как и двухпродуктовая схема с кислотно-ферментативным гидролизом крахмала.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛЮКОЗЫ

Требования к качеству крахмала. Для производства кристаллической глюкозы экономически наиболее эффективно использовать кукурузный крахмал.

Крахмал должен быть свежим, полученным из неиспорченной кукурузы. В долго хранящемся крахмале, полученном из некачественной кукурузы, имеются продукты распада белков и продукты окисления жира, которые отрицательно влияют на технологический процесс, особенно на процесс кристаллизации глюкозы. В результате качество готовой продукции ухудшается.

Содержание примесей крахмала не должно превышать (в %): общего белка 0,8, растворимых веществ 0,15, экстрагируемого жира 0,10, золы 0,15; кислотность крахмала — 25 мл 0,1 н. раствора щелочи на 100 г сухих веществ.

Кислотный гидролиз крахмала в производстве. В глюкоз-

ном производстве кислотный гидролиз крахмала осуществляют в конверторе периодического действия или непрерывнодействующих осахаривателях.

Исследованиями и практикой установлены следующие оптимальные условия кислотного гидролиза крахмала: концентрация крахмальной суспензии 22,5—25 %; дозировка соляной кислоты 0,50—0,65 % газа HCl к массе безводного крахмала; избыточное давление при гидролизе 0,24—0,3 мПа, что соответствует температуре насыщенного пара 138—145 °С.

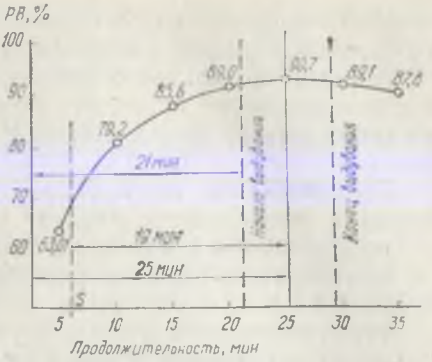


Рис. 98. Кривая осахаривания крахмала с применением кислоты

При таких условиях в зависимости от качества крахмала гидролизат имеет доброкачественность 89—90 % (содержание глюкозы 85 %).

Для получения максимально возможного для принятых условий содержания редуцирующих веществ в гидролизате на каждом заводе необходимо экспериментально установить оптимальную продолжительность осахаривания. Ее определяют следующим образом. Спустя 3—6 мин после повышения давления в конверторе до установленной величины (0,24—0,3 мПа) отбирают пробу сиропа и анализируют ее на содержание декстринов с помощью качественной реакции с этиловым спиртом (так называемая спиртовая проба). Для этого в пробирку наливают 3—5 мл 96%-ного этилового спирта и добавляют к нему 2—3 капли профильтрованного через бумажный фильтр сиропа из конвертора. При наличии в гидролизате декстринов выпадает белая муть. Если декстринов нет, сироп смешивают со спиртом без выпадения мути (положительная спиртовая проба).

По достижении положительной спиртовой пробы через каждые 3—5 мин отбирают пробы гидролизата в количестве 0,5—1 л, сразу нейтрализуют их раствором соды до pH 4,7—5,0 и фильтруют. Продолжительность контрольного гидролиза обычно составляет 35—40 мин.

В каждой пробе определяют содержание редуцирующих веществ и строят кривую осахаривания, откладывая на оси абсцисс продолжительность осахаривания, на оси ординат — редуцирующие вещества (рис. 98). Такая кривая сначала поднимается вверх, а затем, достигнув максимума, начинает опускаться. Время, которому соответствует наибольшее содержание редуцирующих веществ, и будет оптимальным для данных условий. Буквой *S* на рис. 98 обозначено время достижения положительной спиртовой пробы. Гидролизат из конвертора на-

чинают выдувать на 2—3 мин раньше, чем это соответствует оптимальной продолжительности процесса.

Экспериментальное определение оптимальной продолжительности необходимо проводить при установившейся работе завода не менее одного раза в месяц, а при изменяющихся условиях — чаще.

Во избежание нарушения установленного режима осахаривания в производстве следует соблюдать следующие условия:

поддерживать постоянным качество крахмала;

не допускать колебаний концентрации осахариваемой массы более 0,5 %;

точно дозировать кислоту с учетом ее концентрации;

точно отмеривать порции крахмальной суспензии, не допуская недоливов и переливов;

строго поддерживать установленное давление, так как незначительное изменение его заметно влияет на продолжительность осахаривания. Поэтому для измерения давления необходимо пользоваться проверенным манометром с ценой деления 0,1 атм;

точно выдерживать установленную продолжительность осахаривания.

При соблюдении указанных условий готовность сиропа, определенная по спиртовой пробе, обычно наступает через одно и то же время. Поэтому часто продолжительность осахаривания устанавливают с момента достижения нужного давления.

Продолжительность отдельных операций при осахаривании крахмальной суспензии 25%-ной концентрации при дозировке кислоты 0,6 % и избыточном давлении 313 Па (3,2 атм) составляет (в мин):

Спуск и нагрев подкисленной воды	2
Заварка крахмала	7—10
Повышение давления	4—6
Осахаривание	
до спиртовой пробы	7—10
после нее	16—24
Выдувка	4—6
Полный оборот конвертора	40—58

Ферментативный гидролиз. Кислотное разжижение крахмала. На кислотное разжижение направляется крахмальная суспензия концентрацией 38 %. При более высокой концентрации труднее осуществить качественную разварку крахмала. Процесс осуществляется в конверторе. В качестве катализатора также используется соляная кислота, которая дозируется из расчета 0,10—0,12 % газа HCl к массе сухого крахмала. Всю порцию кислоты можно дозировать в мерник подкисленной воды. pH гидролизуемой массы в конверторе должен находиться в интервале 1,8—2,2.

В связи с низкой дозировкой кислоты и высокой концентрацией крахмальной суспензии особое внимание необходимо уделить стадии разварки крахмала, тщательно регулируя подачу суспензии в конвертор: вначале тонкой струей и лишь по мере увеличения объема гидролизованной массы подачу можно увеличивать. По окончании разварки давление поднимают до 240 кПа (2,4 атм) (избыточной); при этом давлении процесс доводят до конца.

Процесс разжижения контролируется по иодной пробе: 2—3 капли раствора иода добавляют в стеклянную пробирку, на $^2/_3$ заполненную водой. В пробирку добавляют 2—3 капли гидролизата из конвертора и наблюдают за окраской. Показателем хорошо проведенного процесса заварки крахмала является отсутствие мелких комочков неоклейстеризованного крахмала. Цвет иодной пробы должен быть вишнево-фиолетовый. Содержание редуцирующих веществ в таком гидролизате находится в пределах 15—20 %.

При содержании редуцирующих веществ ниже 15 % возможна ретроградация амилозы при последующем охлаждении гидролизатов в pH-сборнике, признаком которой является неисчезающее фиолетовое окрашивание при взятии иодной пробы при последующем ферментативном осахаривании.

При РВ выше 20 % снижается содержание глюкозы в конечных гидролизатах в связи с тем, что глюкоамилаза имеет большее сродство с высокомолекулярными декстринами. При высоком содержании низкомолекулярных декстринов, которые глюкоамилаза атаковывает значительно медленнее, трудно получить готовый продукт с нормальной спиртовой пробой.

Первый раз иодная проба берется по достижении в конверторе давления 196 кПа. При этом поступление пара в барботер прекращают и варку проводят «малым» паром. Следующую пробу берут через 1 мин и далее через каждые 30 с. По достижении необходимой окраски продукт сразу выдувают из конвертора в нейтрализатор.

Ниже приведена примерная продолжительность отдельных операций в конверторе (в мин).

Подача подкисленной воды	2
Подогрев подкисленной воды	1—1,5
Забор крахмальной суспензии	15—17
Подъем давления до 235 Па (2,4 атм)	5—9
Выдержка	2—3
Выдувка	2—2,5
Полный оборот	27—35

Нейтрализация. Охлаждение сиропа перед ферментативным осахариванием. Кислый сироп из конвертора как после кислотного гидролиза, так и кислотного разжижения, выдувается в обычный нейтрализатор (подробно описан в разд. «Крахмаль-

ная патока»), где нейтрализуется раствором кальцинированной соды 18%-ной концентрации до показателя pH 4,7—5,0 в случае кислотного гидролиза. При ферментативном разжижении крахмала нейтрализация осуществляется до pH, являющегося оптимальным при последующем ферментативном осахаривании крахмала.

Контроль за процессом лучше всего вести по показателю pH, определяемому с применением pH-метров. Но на практике контроль за процессом ведут с помощью индикатора бромтимолсинего. Для этого нейтрализованный сироп помещают в белую фарфоровую чашку или ковш из нержавеющей стали и добавляют индикатор. Нейтрализацию считают законченной, если капля раствора индикатора дает синее окрашивание. Показатель pH нейтрализованного раствора несколько раз в смену определяется в лаборатории с помощью pH-метра.

Разжиженный крахмал — это нестойкий продукт. Так, при охлаждении ниже 60 °С и длительном стоянии сироп становится белесым, мутным вследствие выпадения в осадок декстринов, частичек ретроградированного крахмала. При последующем подогреве часть осадка снова растворяется. При осахаривании амилоглюкозидазой гидролизат до конца имеет фиолетовое окрашивание, что нежелательно. Кроме того, фильтрационная способность такого гидролизата снижается. Поэтому этот продукт необходимо как можно быстрее охладить до 60 °С. Для охлаждения чаще всего используют вакуум-испаритель, обеспечивающий почти мгновенное охлаждение, или теплообменники пластинчатого типа.

Вакуум-испаритель конструкции НПО по крахмалопродуктам (рис. 99) состоит из цилиндрического корпуса с тангенциальным питающим патрубком для ввода продукта. В нижней части корпуса установлены перфорированные спиральные направляющие лопатки. В верхней части имеется сепаратор и сферический отбойник. Поступающая в испаритель горячая жидкость вследствие резкого расширения превращается в парожидкостную эмульсию, которая равномерным потоком стекает по стенке корпуса и выводится через патрубок. Образующийся при этом пар проходит через каналы между спиральными направляющими лопатками и устремляется вверх, по пути освобождаясь от частиц жидкости с помощью сферического отбойника, а также сепаратора.

Вакуум-испаритель, устанавливаемый на высоте 10 м, работает под разрежением (абсолютное давление 0,15—0,2 МПа). При указанном разрежении температура сиропа, покидающего испаритель, составляет 63—65 °С. Через гидрозатвор насосом такой продукт попадает в сборники для корректировки pH. Эти сборники также изготовляются из нержавеющей стали и снабжены перемешивающим устройством лопастного типа с частотой вращения 50—70 об/мин и кожухом для теплоносителя. Для улавливания комочков неоклейстеризованного крахмала, кото-

Рис. 99. Вакуум-испаритель

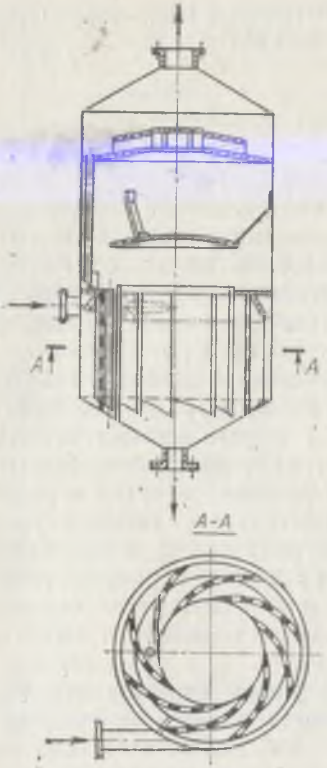
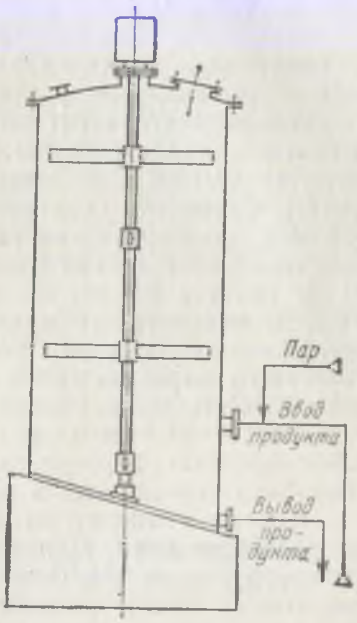


Рис. 100. Осахаривающая емкость



рые образуются при неудачно проведенном разжижении крахмала, в верхней крышке сборника имеется сетчатый карман. Через этот карман продукт поступает в сборник.

Благодаря циркуляции холодной воды в кожухе температура разжиженного крахмала быстро снижаетсея до 60 °С. Как правило, оптимальную величину pH удается достигнуть сразу в нейтрализаторе. В pH-сборнике этот показатель проверяется и в случае необходимости корректируется.

Далее в сироп добавляется раствор глюкоамилазы и после 5-минутного перемешивания продукт перекачивается в осахаривающие емкости, где осуществляется процесс ферментативного осахаривания крахмала.

Обычно устанавливаются два pH-сборника; вместимость каждого должна соответствовать объему продукта из одного конвертора.

Ферментативное разжижение крахмала. Разжижение осуществляется на непрерывнодействующих установках с прямым или косвенным паровым обогревом.

Для разжижения используется ферментный препарат бак-

териальной α-амилазы — Амилосубтилин Г10х, характеризующийся следующими оптимумами действия:

Концентрация субстрата, %	35—38
pH	6,3 до 6,8
Температура, °С	83±2
Стабилизатор	Ионы кальция

В отмеренную порцию крахмальной суспензии концентрацией 35—38 % добавляется раствор кальцинированной соды для доведения показателя pH до 6,3—6,8. С целью стабилизации α-амилазы в эту суспензию добавляют хлористый кальций в количестве 0,01 М Ca^{2+}. Вместо Na_2CO_3 можно использовать $Ca(OH)_2$. Суспензия подогревается до 50 °С, после чего в нее добавляют предварительно растворенный в холодной питьевой воде в соотношении 1 : 20 ферментный препарат Амилосубтилин Г10х из расчета 0,5 ед. АС на 1 г сухого крахмала, или же 0,015 % к массе сухого крахмала, направляемого на переработку. Смесь подается на I стадию разжижения, где в условиях интенсивного перемешивания и постоянной температуры на уровне 85 °С продукт быстро подогревается и выдерживается в течение 40—45 мин. При этом происходит разрыв длинных цепочек крахмала, в результате чего вязкость резко снижается.

II стадия заключается в кратковременном подогреве в течение 5 мин до температуры 135—140 °С для обеспечения полноты клейстеризации. Далее после почти мгновенного охлаждения продукта до 85 °С с помощью вакуум-испарителя его подают на II стадию разжижения, добавляют еще 0,25 ед. АС на 1 г сухого крахмала, или 0,005 % к массе сухого крахмала. Процесс на II стадии продолжается в течение 40—60 мин при постоянной температуре 85 °С и перемешивании. Общая дозировка ферментного препарата Амилосубтилин Г10х составляет 0,75 ед. АС на 1 г сухого крахмала, или 0,02 % к массе сухого крахмала. В случае эжекции пара на I стадии разжижения дозировка α-амилазы несколько возрастает.

Разжиженный продукт должен содержать 15—20 % редуцирующих веществ.

Ферментативное осахаривание крахмала. Процесс ферментативного осахаривания крахмала производится в периодически действующих осахаривающих емкостях размером 50—100 м³ и более в зависимости от производственной мощности завода. Продолжительность заполнения емкости должна составлять не более 8—12 ч.

Конструкционные материалы для изготовления осахаривающих емкостей следует подбирать осторожно, потому что некоторые металлы являются ингибиторами ферментов. Предпочтительно применять нержавеющую сталь, эмаль. Сталь 3 необходимо покрывать специальными видами покрытий.

Осахаривающие емкости устанавливают как внутри производственного помещения, так и снаружи.

На рис. 100 приведена конструкция осахаривающей емкости с объемом 143 м³. Процесс осахаривания осуществляется при постоянной температуре, являющейся оптимальной для действия данного фермента, и перемешивании. Поэтому емкость снабжена перемешивающим устройством в виде многоярусной вертикальной мешалки лопастного типа с частотой 12—15 об/мин. Кстати, перемешивание осуществляется в течение первых суток, а далее мешалки останавливают. При таком способе перемешивания к концу процесса осахаривания жиробелковая взвесь плотным слоем располагается в верхней части емкости. Она отфильтровывается в конце процесса фильтрования. Поэтому основная масса осахаренного сиропа, содержащая незначительное количество жиробелкового осадка, отфильтровывается с большей скоростью.

Перемешивать продукт в осахаривающей емкости можно с помощью рециркуляции.

Постоянная температура в емкости поддерживается благодаря непосредственному вводу пара в трубопровод, по которому подается продукт. Подача пара осуществляется автоматически в зависимости от температуры продукта. Подогрев можно осуществлять также горячей водой из термостата с помощью кожуха, змеевика и т. д. Снаружи емкость тщательно изолируется (толщина изоляции 12 см). Емкость необходимо снабдить воздушником.

Перед заливкой емкости стенки ее подогревают горячей водой, чтобы разжиженный крахмал не соприкасался с холодными стенками. Емкость должна иметь отвод в канализацию для удаления промывных вод.

Ферментный препарат добавляется либо в pH-сборники, либо непосредственно в осахаривающую емкость по мере ее заполнения.

Оптимальные условия действия применяемого в настоящее время препарата очищенной глюкоамилазы (Глюкоаваморин Г20х) следующие:

Концентрация субстрата, % СВ	30—35 до 40
pH	4,0—5,0
Температура, °С	57—60

Продолжительность процесса осахаривания зависит от дозировки глюкоамилазы. Экспериментально установлено, что при дозировке 2,75 ед. ГлА на 1 г сухого крахмала продолжительность осахаривания составляет 60 ч, при 2,5 ед. ГлА — 72, при 2,25 ед. ГлА — свыше 96 ч. Экономически целесообразно работать с низкими дозировками фермента, так как затраты на установку дополнительных осахаривающих емкостей быстро окупаются.

При проведении процесса при температуре ниже оптимальной продолжительность осахаривания увеличивается.

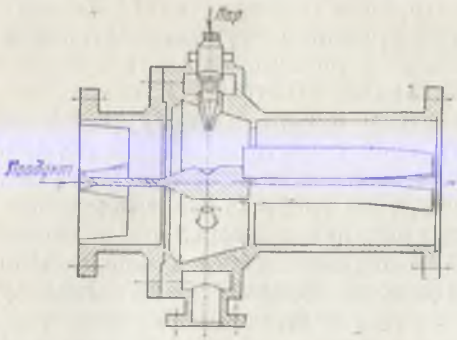


Рис. 101. Смеситель для инактивации фермента

При дозировке 2,75 ед. ГлА и больше нужно тщательно следить за накоплением редуцирующих веществ в сиропе, так как после достижения максимума начинается ресинтез глюкозы, приводящий к уменьшению содержания глюкозы в гидролизате, что крайне нежелательно.

По истечении первых суток после заливки осахаривающей емкости необходимо обязательно определить в гидролизате содержание сухих веществ, показатель pH, содержание редуцирующих веществ и иодную пробу (фильтрата), чтобы убедиться в нормальном течении процесса.

Для ориентировки в табл. 46 приведены данные по содержанию редуцирующих веществ в гидролизатах в зависимости от дозы фермента и продолжительности процесса.

Таблица 46

Дозировка глюкоамилазы, ед. ГлА на 1 г сухого крахмала	Содержание редуцирующих веществ при продолжительности процесса (в ч)			
	24	48	72	96
2,25	86—88	91—92	93—94	94,5—95
2,5	90—91	92—93	94—95	94—95
2,7	92—93	94—95	94	93—93,5

При достижении содержания редуцирующих веществ 94,5 % осахаренный сироп направляется на инактивацию с помощью подогрева до 80—85 °С. Для инактивации рекомендуется использовать смеситель (конструкции НПО по крахмалопродуктам), представляющий собой корпус с торцовым входным патрубком для продукта и кольцевым коллектором с радиальными соплами для пара (рис. 101). Продукт, смешиваясь с паром, подогревается до 75—80 °С. Можно применять пластинчатый теплообменник для этой цели. Установлено, что при выдерживании сиропа при 80 °С в течение 15 мин глюкоамилазная активность исчезает полностью. С повышением температуры подогрева продолжительность инактивации снижается.

В случае недостаточно хорошо разваренного в процессе кислотного разжижения крахмала осахаренный сироп при подо-

греве приобретает синее окрашивание с раствором иода. Такой продукт рекомендуется направлять на фильтрование без подогрева, хотя скорость фильтрования при этом будет ниже.

Во избежание инфицирования все аппараты, в которых находится сироп с ферментом, необходимо периодически (через 1—1,5 мес) подвергать санитарной обработке: промывать горячей водой, пропаривать в течение 1,5—2 ч.

Перед механической фильтрацией в осахаренный сироп добавляется раствор кальцинированной соды для доведения pH до 4,7—5,0, соответствующего изоэлектрической точке белков кукурузного крахмала, хотя этот показатель может быть достигнут сразу в нейтрализаторе.

Дозирование ферментного препарата. Препарат очищенной глюкоамилазы дозируется из расчета 2300—2700 ед. ГлА на 1 кг сухого крахмала, поступившего на переработку.

Допустим, в мернике крахмальной суспензии концентрацией 38 % содержится 2,43 т абсолютно сухого крахмала. Общая потребность в глюкоамилазной активности составляет

$$2430 \cdot 2500 = 6\,075\,000 \text{ ед. ГлА.}$$

Если глюкоамилазная активность препарата 1000 ед. ГлА/г, то в сироп из одного конвертора добавляют фермент в количестве

$$6075000/1000 = 6075 \text{ г, или } 6{,}08 \text{ кг.}$$

При использовании фермента в виде порошка взвешенную на весах порцию порошка предварительно растворяют в холодной воде питьевого назначения температурой не выше 25 °С в соотношении 1 : 10 в специальном сборнике эмалированном или из нержавеющей стали, снабженным мешальным механизмом, а также респираторной системой для улавливания пыли.

Продолжительность хранения раствора фермента не должна превышать 8—12 ч во избежание потери глюкоамилазной активности.

Препараты очищенной глюкоамилазы, разрешенные Минздравом СССР для применения при производстве глюкозы, не токсичны. Однако при работе с ними нужны определенные меры предосторожности: препарат не должен попадать в дыхательные органы и на кожу. Поэтому в процессе приготовления раствора ферментного препарата следует пользоваться респиратором и перчатками.

Фильтрование, очистка, уваривание и охлаждение глюкозных сиропов перед кристаллизацией. Способы очистки, уваривания жидких и густых сиропов, охлаждение сиропа перед кристаллизацией, а также оборудование, применяемое на этих стадиях глюкозного производства, аналогичны подробно изложенным в разд. «Крахмальная патока». Здесь рассматриваются лишь особенности, характерные для производства глюкозы.

В отличие от паточного производства жироотделитель (скиммер) для выделения жиробелковой взвеси из глюкозных сиропов, полученных с применением кислотного гидролиза крахмала, не применяют в связи с тем, что жиробелковая взвесь не всплывает на поверхность из-за низкой плотности нейтрализованного сиропа. Кроме того, эти сиропы достаточно хорошо фильтруются и без предварительного выделения взвеси. Фильтрация всех глюкозных сиропов протекает со значительно меньшими трудностями по сравнению с соответствующими сиропами паточного производства. Это объясняется пониженной плотностью, а также пониженной вязкостью глюкозных сиропов благодаря отсутствию в их составе декстринов.

При гидролизе крахмала с применением ферментов гидролизаты имеют большую плотность, поэтому из них легче выделить жиробелковую взвесь сепарированием или флотацией. Из-за большей концентрации такие сиропы обладают большей вязкостью, поэтому фильтруются хуже. Однако в отечественной практике выделение жиробелковой взвеси не производится из-за отсутствия соответствующего оборудования. Поэтому нейтрализованный сироп сразу направляют на фильтрование. Для стадии механического фильтрования лучшим фильтрующим оборудованием является барабанный вакуум-фильтр марки БбНК, работающий с предварительным намывом на фильтрующую поверхность слоя (толщина 45—50 мм) вспомогательного фильтрующего материала и микросъемом осадка, когда при каждом обороте фильтра осадок срезается полностью, т. е. поверхность фильтрования обновляется и фильтрация происходит почти с постоянной скоростью.

Скорость фильтрования на вакуум-фильтре зависит от качества гидролизата. Для расчетов можно принимать, что средняя скорость фильтрования сиропов, полученных кислотно-ферментативным способом, составляет 200—220 л/(м^2·ч). Гидролизаты, полученные при полностью ферментативном гидролизе, фильтруются несколько хуже. Общая продолжительность цикла фильтрования зависит от толщины предварительно намытой лепешки и колеблется от 12 до 16 ч.

Осадок с барабанного вакуум-фильтра не нуждается в дополнительной промывке, поэтому сразу выводится на завод кормов либо в сухом виде, либо в виде суспензии (вода подводится к вакуум-фильтру).

Как уже упоминалось, для проведения процесса кристаллизации в одну стадию необходимо жидкий сироп с РВ=94,5 % после механической фильтрации смешать с оттеками после центрифугирования глюкозного утфеля (см. разд. «Центрифугирование глюкозных утфелей»). Содержание редуцирующих веществ в сиропе, направляемом на кристаллизацию, должно находиться в пределах 89,5—90,5 %.

Для дозирования устанавливают два мерника: один — для осахаренного сиропа, другой — для оттеков. Уровень продукта

в каждом мернике должен соответствовать расчетному соотношению смешиваемых продуктов.

Количество оттека X на 100 частей осахаренного сиропа будет

$$100 \cdot 94{,}5 + X \cdot 78{,}0 = (100 + X)\,90 \cdot X = 37{,}5.$$

Соотношение 100/37,5=2,67. Для получения сиропа с РВ= =90 % следует на каждые 2,67 части сухих веществ осахаренного сиропа добавить одну часть сухих веществ зеленой патоки.

Наряду с зеленой патокой в осахаренный сироп возвращается смесь белой патоки, клеровки глюкозной пыли и крупка. Среднее содержание РВ в этой смеси приблизительно равно содержанию РВ в осахаренном сиропе, поэтому в расчете соотношения не участвует.

Смесь осахаренного сиропа и оттеков далее подвергается обработке активным углем, бывшим в употреблении на стадии обесцвечивания густого сиропа.

В том случае, если сироп из осахаривающей емкости поступает на стадию механического фильтрования без термоинактивации, перед обесцвечиванием его подогревают до 70—75 °С при непрерывном перемешивании.

Для фильтрования суспензий с активным углем можно применять фильтр-пресс обычный или автоматический типа ФПАК-М. Средняя скорость фильтрования на фильтр-прессах 400 л/(м²·ч), на ФПАК-М — 900 л/(м²·ч).

Дважды отработанный активный уголь в отдельном сборнике смешивается с промоями из дренажных сборников и фильтруется на барабанном вакуум-фильтре типа БОК. Осадок активного угля в виде суспензии выводится в завод кормов, а фильтрат возвращается в контактные сборники жидкого сиропа.

Активный уголь после фильтрования жидкого сиропа можно направить в корыто барабанного вакуум-фильтра на стадию механического фильтрования с целью увеличения продолжительности цикла полезной фильтрации и многократного использования угля.

Жидкий сироп после фильтрования упаривают на многокорпусной выпарной установке до концентрации 54—57 %. Полученный густой сироп обесцвечивается свежим активным углем, который дозируется из расчета 0,5—0,7 % к массе сухих веществ сиропа и далее фильтруется. Технологический режим и оборудование на этой стадии те же, что и для жидкого сиропа. Средняя скорость фильтрования на фильтр-прессах составляет 400 л/(м²·ч), на ФПАК-М — 600 л/(м²·ч). Очищенный густой сироп должен быть почти бесцветным, без признаков опалесценции. В связи с этим особое внимание следует уделять последующей контрольной фильтрации. Прежде всего на этой операции лучше установить фильтр-пресс, причем на фильтрующее полотно предварительно намыть слой (толщина 1,5—2 мм)

фильтрующего порошка (порошок добавляется в сборник фильтрованного густого сиропа в количестве 10—20 кг).

В процессе фильтрации следует работать с давлением не более 0,5 МПа. Средняя скорость фильтрования принимается равной 400 л/(м²·ч). Продолжительность цикла — не менее 1 сут.

Для улучшения очистки глюкозных сиропов (главным образом от солей железа), а также для предотвращения нарастания цветности во время уваривания рекомендуется на верстате производства поддерживать режим переменного pH: нейтрализацию кислых сиропов производить до pH 4,7—5,0; после механического фильтрования перед выпаркой сиропы подкислять соляной кислотой до pH 4,4—4,5; после выпарки перед фильтрацией нейтрализовать густые сиропы раствором двууглекислой соды $NaHCO_3$ до pH 5,0—5,4; густой сироп перед вакуум-аппаратом снова подкислять соляной кислотой до pH 4,2—4,4. Кислоту можно добавлять непосредственно в вакуум-аппарат. Последнее снижение pH имеет существенное значение для процесса кристаллизации.

Густой сироп обычно уваривают в вакуум-аппарате. Во избежание повышения цветности процесс уваривания проводят при температуре не выше 70 °С. При кислотном гидролизе крахмала сироп уваривают до концентрации 74,5—75,5 %, при кислотно-ферментативном гидролизе и двухстадийной кристаллизации глюкозы — до концентрации 72,5—73,0 %. В случае одностадийной кристаллизации уваривание производится до такой же концентрации, как и при кислотном гидролизе.

Полученный после вакуум-аппарата глюкозный сироп насосом подают в холодильник, где охлаждают до температуры 48—50 °С. Процесс уваривания и охлаждения глюкозных сиропов ничем не отличается от этих операций в паточном производстве.

Вместимость холодильника рассчитывается таким образом, чтобы она соответствовала $^1/_2$ или $^1/_3$ части объема сиропа, заливаемого в один кристаллизатор. Вместимость вакуум-аппарата должна быть кратной вместимости холодильника, иначе неизбежны остатки небольших порций сиропа в холодильнике после заливки кристаллизатора или в вакуум-аппарате после заполнения холодильника, что нарушает нормальный ритм работы. Для большей равномерности в работе, а также во избежание длительного простаивания неохлажденных сиропов рекомендуется устанавливать два или три холодильника.

Из очищенного, окончательно уваренного и охлажденного глюкозного сиропа с помощью кристаллизации выделяют чистую гидратную глюкозу в виде кристаллов определенной формы.

Физико-химические основы процесса кристаллизации глюкозы. Кристаллизацией называют процесс выделения твердого вещества из раствора в виде кристаллов определенной геометрической формы. При растворении вещества концентрация

раствора постепенно увеличивается, осмотическое давление растет и наступает такое состояние, когда содержание сухих веществ в растворе перестает увеличиваться, т. е. остается постоянной. Такой раствор называют насыщенным, концентрацию растворенного вещества — растворимостью этого вещества в определенном растворителе. Растворимость обусловлена химической природой растворенного вещества и растворителя и зависит от температуры. С увеличением температуры растворимость (за редким исключением) растет.

При охлаждении насыщенного раствора или при испарении части растворителя может быть получен раствор, концентрация которого выше концентрации насыщения. Такой раствор называют пересыщенным. Пересыщение есть первое и основное условие в процессе кристаллизации. Вторым условием для начала процесса кристаллизации является наличие центров кристаллизации, вокруг которых происходит формирование кристаллов определенной формы.

Растворимость глюкозы. *D*-глюкоза хорошо растворяется в воде, причем растворяется с поглощением тепла. С увеличением температуры растворимость ее резко возрастает (см. табл. в приложении). *D*-Глюкоза имеет два стереоизомера: α- и β-формы. Обе эти формы глюкозы могут быть выделены в твердом виде. Растворимость их различна. α-Глюкоза является менее растворимой. Так, при 25 °С α-глюкоза имеет растворимость 30,2 %, β-глюкоза — 72 %.

Удельное вращение соответственно составляет 112,2 и 18,9°. При растворении в воде любой из них происходит мутаротация, в результате устанавливается равновесие α- и β-форм глюкозы и удельное вращение раствора находится в пределах 52,5—53°. Скорость, с которой устанавливается равновесие (скорость мутаротации), зависит от температуры и каталитического действия отдельных веществ: например, при комнатной температуре мутаротация в глюкозном растворе практически заканчивается за 24 ч, а при температуре кипения для этого требуется всего несколько минут. Прибавление к раствору нескольких капель аммиака также приводит к моментальному установлению равновесия между α- и β-формами глюкозы. В насыщенных и перенасыщенных глюкозных сиропах в состоянии равновесия содержится 36—37 % α-глюкозы и 64—63 % β-глюкозы.

В производственных условиях приходится иметь дело не с чистыми водными растворами глюкозы, а с глюкозными сиропами, содержащими наряду с глюкозой некоторые количества азотистых веществ, гидролизного жира, красящих веществ, NaCl. В таких сиропах глюкозы растворяется больше, чем в чистой воде. Растворимость глюкозы можно выражать в разных единицах: в весовых, объемных процентах, в мол/л и т. д.

Растворимость глюкозы, выраженная в кг на 1 кг воды, называется коэффициентом растворимости C_0.

Отношение коэффициента растворимости глюкозы для нечи-

стого раствора C_1 к коэффициенту растворимости глюкозы в чистой воде C_0 при одной и той же температуре называют коэффициентом насыщения $\alpha_0 = C_1/C_0$. Коэффициент насыщения показывает, во сколько раз глюкоза более растворима в присутствии данных несахаров, чем в чистой воде. Коэффициент насыщения α_0 увеличивается с уменьшением глюкозного эквивалента и увеличением температуры. Кроме того, растворимость глюкозы в нечистых гидролизатах крахмала зависит от природы примесей.

Степень пересыщения раствора принято называть коэффициентом пересыщения, показывающим, во сколько раз больше в данном растворе приходится глюкозы на единицу воды, чем в насыщенном растворе при той же температуре, т. е.

$$\alpha = C/C_i,$$

где C — коэффициент растворимости глюкозы в пересыщенном водном растворе. Это истинный коэффициент пересыщения.

Для насыщенных растворов $\alpha = 1$, для пересыщенных $\alpha > 1$ и для ненасыщенных $\alpha < 1$. Для чистых глюкозных растворов $C_1 = C_0$. Для нечистых глюкозных растворов величину растворимости глюкозы C_1 следует каждый раз определять опытным путем при длительном перемешивании с кристаллами глюкозы.

Разность $\alpha - 1$ называют избыточной концентрацией, которая является движущей силой кристаллизации. Для глюкозных растворов избыточная концентрация с повышением температуры не пропорциональна избыточному пересыщению, а увеличивается быстрее.

Для технических расчетов часто используют видимый коэффициент пересыщения, который определяется с использованием данных по растворимости глюкозы в чистой воде,

$$\alpha_i = C/C_0.$$

Вязкость глюкозных растворов. На всех стадиях глюкозного производства вязкость глюкозных растворов имеет большое значение. С увеличением вязкости уменьшается скорость фильтрования сиропов, снижается коэффициент теплопередачи при уваривании и охлаждении сиропов, замедляется кристаллизация и ухудшаются условия отделения кристаллов глюкозы от межкристального оттека при центрифугировании глюкозных утфелей.

Вязкость глюкозных растворов ниже, чем паточных (при одинаковых концентрации и температуре). Это обусловлено углеводным составом. Вязкость глюкозных сиропов с повышением температуры уменьшается.

При постоянной температуре вязкость значительно увеличивается с повышением концентрации и при снижении глюкозного эквивалента — доброкачественности глюкозного сиропа. Вязкость

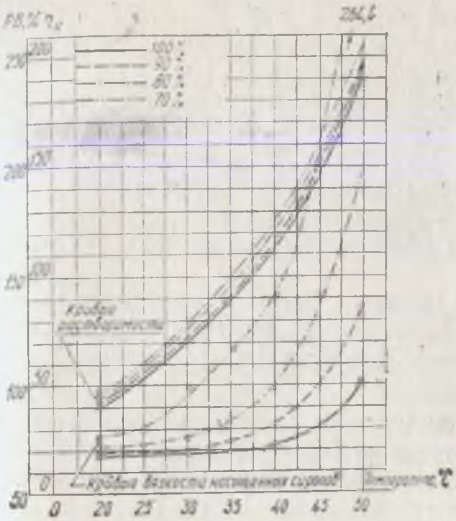


Рис. 102. Растворимость глюкозы и вязкость сиропа при разных значениях глюкозного эквивалента

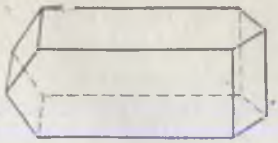


Рис. 103. Кристалл ангидридной глюкозы

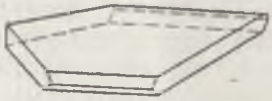


Рис. 104. Кристалл гидратной глюкозы

насыщенных глюкозных сиропов увеличивается с уменьшением глюкозного эквивалента и при увеличении температуры. Эта зависимость должна сохраняться и для пересыщенных растворов. Вязкость насыщенных глюкозных сиропов в зависимости от глюкозного эквивалента в температурном интервале 20—50 °С графически изображена на рис. 102.

Форма кристаллов глюкозы. Из пересыщенных водных растворов глюкозы выкристаллизовывается только α-форма из-за меньшей растворимости. В зависимости от температурных условий и других факторов глюкоза кристаллизуется в виде кристаллов ангидридной и гидратной глюкозы. В интервале температур 45—57 °С кристаллизуется ангидридная глюкоза, в интервале 25—45 °С — гидратная.

Кристаллы ангидридной глюкозы (рис. 103) относятся к ромбической системе (представляют собой удлиненные призмы). Кристаллы гидратной глюкозы относятся к моноклинической системе (представляют собой тонкие пластинки) (рис. 104), причем мелкие кристаллы бывают пентогональные, крупные — гексагональные.

Глюкоза имеет свойства полиморфизма, т. е. в зависимости от условий кристаллизации дает разные по форме и размеру кристаллы. Форма кристаллов гидратной глюкозы зависит от пересыщения и глюкозного эквивалента маточного раствора. Кристаллы глюкозы, легко поддающиеся центрифугированию, принято называть нормальными. Те кристаллы, которые вследствие своих форм и ломкости создают в центрифугах плот-

ный слой, почти непроницаемый для межкристального раствора, принято называть ложными. К нормальным кристаллам относятся кристаллы, представленные на рис. 103, 104.

При температурах ниже 35 °С глюкозные растворы склонны к образованию ложных кристаллов (одиночные кристаллы игольчатой формы или удлиненные кристаллы, начинающиеся от общего ядра). Но при наличии готовых форм кристаллизации в виде нормальных кристаллов глюкозы и надлежащем пересыщении нормальные кристаллы образуются и при этих температурах.

Процесс кристаллизации глюкозы. Процесс кристаллизации глюкозы состоит из двух самостоятельных явлений: образование центров кристаллизации и рост кристаллов (собственно кристаллизация).

Появление центров кристаллизации в пересыщенном растворе глюкозы происходит с трудом. Поэтому в производственных условиях в него всегда вносят затравку в виде нормальных кристаллов глюкозы.

Интенсивность отложения твердого вещества на гранях кристаллов (скорость кристаллизации) имеет большое практическое значение. Так, замедление этого процесса вызывает увеличение объемов, а следовательно, и стоимости аппаратуры, связанной с кристаллизацией.

Для сахарозы скоростью кристаллизации K называют количество миллиграммов сахара, кристаллизующегося за 1 мин на 1 м² поверхности образовавшихся кристаллов. Количество выкристаллизовавшегося сахара P пропорционально времени кристаллизации Z и поверхности кристаллов F, т. е.

$$P = KFZ \text{ или } K = P/FZ.$$

Для глюкозы, определение поверхности кристаллов которой связано с большими трудностями, И. Е. Садовый рекомендует принимать за скорость кристаллизации количество миллиграммов глюкозы, кристаллизующееся из 100 г сиропа за 1 мин на поверхности 1 г кристаллов.

По диффузионной теории кристаллизации, развитой проф. П. М. Силиным, кристалл представляется окруженным неподвижным слоем раствора толщиной r. У грани кристалла раствор имеет концентрацию C_0, соответствующую насыщению, а на расстоянии — концентрацию C, соответствующую пересыщению данного раствора. Вследствие разности концентраций $C - C_0 = \Delta C$ сахар диффундирует через слой r и выкристаллизовывается на гранях кристалла.

Диффузионная теория кристаллизации, разработанная П. М. Силиным, объясняет влияние различных факторов на скорость кристаллизации сахарозы. Общие ее положения (как показал И. Е. Садовый) применимы и к кристаллизации глю-

козы, но при этом сказывается различие физико-химических свойств глюкозы и сахарозы.

К отличительным свойствам глюкозы следует отнести наличие в глюкозных растворах муторатации, отсутствующей в растворах сахарозы. В процессе кристаллизации на грани кристалла откладывается α-глюкоза и равновесие между α- и β-формами нарушается. Доставка свежих порций α-глюкозы к грани кристалла связана не только с диффузией α-глюкозы к грани кристалла, но, по-видимому, также с диффузией β-глюкозы от грани кристалла, с превращением ее в α-глюкозу, т. е. явлением муторатации.

Кристаллизация глюкозы происходит с выделением теплоты. По данным С. Ф. Ралля, 1 г·моль гидратной глюкозы (198 г) выделяет при кристаллизации 219,8 кДж, а 1 г·моль ангидридной глюкозы (180 г) — 9,9 кДж. Теплота растворения сахарозы равна 4,0 кДж на 1 г·моль (342 г).

Выделяющаяся в процессе кристаллизации теплота приводит к повышению температуры, а следовательно, к снижению степени пересыщения глюкозы на грани кристалла, что не может не влиять отрицательно на скорость кристаллизации.

Глюкоза отличается от сахарозы еще и тем, что вязкость ее насыщенных растворов с увеличением температуры возрастает, что также может замедлять кристаллизацию в начале процесса.

Факторы, влияющие на скорость кристаллизации глюкозы. Пересыщение. Скорость кристаллизации пропорциональна избыточной концентрации глюкозы или же избыточному пересыщению. Увеличение пересыщения достигается охлаждением кристаллизуемого сиропа или повышением концентрации раствора выпариванием перед кристаллизацией.

Скорость кристаллизации повышается с увеличением коэффициента пересыщения.

В процессе кристаллизации должен поддерживаться оптимальный коэффициент пересыщения. При значении его ниже оптимального скорость кристаллизации замедляется, при более высоком его значении возникает большое количество центров кристаллизации, поэтому образуется много ложных и очень мелких кристаллов. При центрифугировании утфеля с неоднородными кристаллами создается плотный слой, который трудно поддается промывке.

Содержание редуцирующих веществ (РВ). Процесс кристаллизации глюкозы в большей мере зависит от содержания глюкозы в сиропе. При снижении содержания РВ резко снижается скорость кристаллизации. Практически при РВ 67—68 % скорость кристаллизации равна нулю, т. е. глюкоза независимо от пересыщения теряет способность кристаллизоваться.

Замедлению кристаллизации способствует также присутствие некоторых поверхностно-активных веществ, которые препятствуют отложению глюкозы на грани кристалла. К таким веще-

ствам относятся азотсодержащие красящие вещества. Значительным тормозящим действием обладает и присутствующий в глюкозных сиропах NaCl.

Содержание РВ оказывает большое влияние и на качество получаемой глюкозы. Чем ниже содержание РВ, тем больше несахаров вместе с глюкозой включаются в кристаллы. Кристаллы глюкозы получаются даже после длительной промывки кремового цвета, и качество их ниже стандартного. Из сиропов с низким содержанием РВ образуются мелкие и крупные кристаллы глюкозы с шероховатой поверхностью.

Величина и количество кристаллов. Уже отмечалось, что скорость кристаллизации глюкозы пропорциональна поверхности кристаллов. Мелкие кристаллы имеют большую поверхность, и, следовательно, скорость кристаллизации их выше. Тем не менее в процессе кристаллизации стремятся к получению утфелей с однородными кристаллами среднего размера (0,2—0,3 мм) в связи с тем, что от мелких кристаллов хуже отделяется межкристальный раствор при центрифугировании.

Опытом установлено, что процесс кристаллизации глюкозы протекает нормально, когда для затравки берут готовый утфель в количестве 20—30 %.

Известно, что в качестве затравки лучше использовать кристаллы глюкозы (размером не более 0,15 мм), чем утфель, так как в последнем случае при смешении затравочных кристаллов с сиропом, направляемым на кристаллизацию, снижаются содержание РВ и избыточная концентрация глюкозы в сиропах. При этом повышается производительность кристаллизатора, так как кристаллов для затравки нужно добавить 7—10 % по массе сиропа вместо 20—30 %. Но применение утфеля удобнее в условиях глюкозного производства.

Во избежание истирания кристаллов практически поддерживается такой режим кристаллизации, чтобы к концу процесса в утфеле было около 45 % кристаллов.

Перемешивание. Интенсивность перемешивания утфеля в процессе кристаллизации не влияет на скорость кристаллизации. Это объясняется тем, что с увеличением частоты вращения мешалки увеличивается скорость движения всей массы утфеля, а движение отдельных кристаллов относительного межкристального раствора остается тем же и обусловливается только силой тяжести. Поэтому в процессе кристаллизации режим перемешивания должен быть таким, чтобы лишь препятствовать осаждению кристаллов на дно. Максимальная окружная скорость не более 3 м/с удовлетворяет этому требованию.

Температура. Она оказывает двоякое влияние на скорость кристаллизации. С одной стороны, повышение температуры способствует ускорению диффузии и муторатации, благодаря чему увеличивается скорость кристаллизации, с другой — с повышением температуры уменьшается коэффициент пересы-

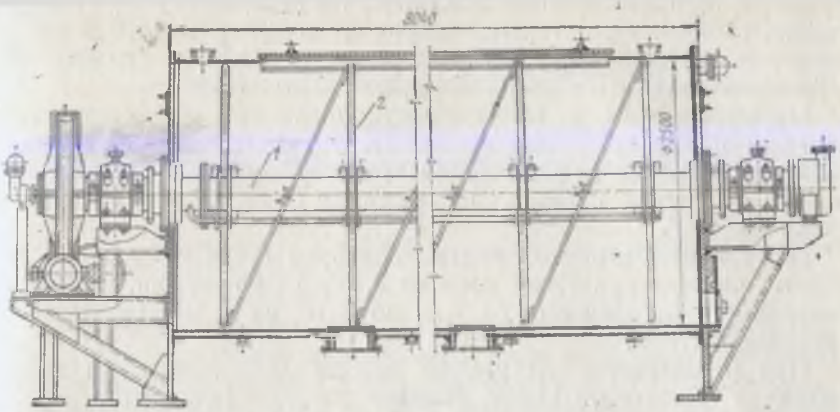


Рис. 105. Кристаллизатор с дисками

щения глюкозных сиропов, что способствует замедлению кристаллизации.

Практически глюкозные утфеля кристаллизуют в интервале температур 45—25 °С.

Вязкость насыщенных глюкозных растворов уменьшается с понижением температуры. Чтобы поддержать в кристаллизаторе определенную избыточную концентрацию глюкозы и получить к моменту центрифугирования межкристальный раствор с наименьшей вязкостью, кристаллизацию проводят при постепенном снижении температуры. При этом скорость охлаждения зависит от доброкачественности кристаллизуемого глюкозного сиропа.

Кристаллизация глюкозы. Кристаллизацию гидратной глюкозы проводят обычно в периодически действующих кристаллизаторах. Этот аппарат представляет собой горизонтальный двустенный цилиндр, снабженный мешалкой, приводящейся в движение через червячную передачу. Мешалка состоит из горизонтального вала, на спицах которого укреплена лента в виде спирали, почти вплотную пригнанная к стенкам цилиндра. При вращении вала с частотой 0,25—0,5 об/мин лента и спицы мешалки размешивают утфельную массу. Между стенками цилиндра циркулирует охлаждающая вода. Кристаллизатор имеет сверху люк, через который загружается сироп, и люк-лаз, необходимый для наблюдения за процессом. Готовый утфель спускают из кристаллизатора через шибер, находящийся в нижней части кристаллизатора с торца. Это так называемые кристаллизаторы Бокка.

В последнее время изготовляются из нержавеющей стали кристаллизаторы, в которых кроме кожуха имеется развитая дисковая поверхность охлаждения (рис. 105). Вал *1* кристаллизатора выполнен из трубы. На вал насажены полые диски *2*. Вода подается и отводится из полых дисков через полый вал.

Рубашка кристаллизатора разделена на несколько секций внутренними стенками, которые выполняют также роль ребер жесткости. В каждый пояс и диски воду подают и отводят по отдельной линии с целью равномерного охлаждения.

Перемешивание в таких кристаллизаторах осуществляется дисками и специальными планками, укрепленными на дисках. Для перемещения утфеля вдоль кристаллизатора в дисках вырезаны секторные проемы со смещением относительно соседнего диска на 180°.

Полная вместимость кристаллизаторов составляет от 24 до 57,5 м³, частота вращения вала от 0,25 до 0,63 об/мин, удельная поверхность охлаждения от 1,75 до 3 м³ на 1 м³ вместимости кристаллизатора.

При установившейся работе завода охлажденный в холодильнике глюкозный сироп заливают в кристаллизатор, предварительно укрепив на спускной трубе мешочный фильтр с капроновой сеткой № 49, чтобы удержать механические примеси. В кристаллизаторе оставлено 30 % утфельной массы от предыдущего цикла в качестве затравки для создания центров кристаллизации. При кристаллизации I продукта перемешивание сиропа с затравочными кристаллами производится в течение 12—16 ч, для II продукта — 24 ч. При этом температура сиропа поддерживается на уровне 43 °С. По истечении указанного времени начинается медленное охлаждение сиропа строго по соответствующему температурному графику с целью поддержания постоянного коэффициента пересыщения: для I продукта — 1,15—1,20, для II продукта — 1,25—1,40.

Температура в кристаллизаторе должна снижаться плавно на протяжении всего периода, особенно в начале. При очень быстром снижении ее может выпасть много мелких кристаллов («мука») и утфель будет плохо фуговаться. В случае выпадения «муки» утфель подогревают до 43 °С и снова охлаждают в соответствии с установленным графиком.

При очень медленном снижении температуры растут крупные кристаллы, дающие растворы, окрашенные в желтый цвет.

График снижения температуры утфеля от 43 до 28—30 °С зависит от содержания редуцирующих веществ в кристаллизуемом сиропе, причем при более высоком содержании РВ (соответственно глюкозы) можно быстрее снижать температуру, благодаря чему сокращается продолжительность процесса в целом.

В табл. 47 приведен график снижения температуры утфеля при однопродуктовой кристаллизации.

Температуру утфеля в кристаллизаторах регулируют подачей охлаждающей воды. Желательно каждый кристаллизатор оснастить прибором для регистрации температуры. Для всех кристаллизаторов устанавливают два сборника. В одном из них поддерживается температура около 30 °С, в другом — около 20 °С. Для подогрева воды в каждом сборнике установлен паровой барботер. Воду подают в кристаллизаторы центробежными

Таблица 47

Смена	Температура (в °С) утфеля в течение суток			
	первых	вторых	третьих	четвертых
I	Перемешивание	41,5	36,5	30,5
II	43,0	39,5	35,0	28,0
III	42,5	38,0	33,0	Центрифугирование

насосами. Пройдя через охлаждающую поверхность кристаллизатора, вода возвращается обратно в сборник. Кристаллизаторы после заливки охлаждают водой температурой 30 °С. Когда температура утфеля снизится до 30 °С (замер температуры утфеля производится не реже четырех раз в смену), его охлаждают водой температурой 20 °С. Это вызвано тем, что разница температур между утфелем и охлаждающей водой не должна превышать 8—10 °С, иначе возможно местное переохлаждение утфеля и выпадение мелких кристаллов («муки»), что нежелательно.

Такой способ регулирования температуры утфеля предусматривает низкий расход воды и пара, так как вода подогревается за счет теплоты утфеля и ее приходится периодически заменять холодной водой с целью охлаждения.

По внешнему виду готовый утфель представляет собой кашицеобразную массу, свободно отваливающуюся от мешалки. Если утфель передержать в кристаллизаторе, то кристаллы начинают перетираться, масса становится белесовато-матового цвета. Такой утфель плохо разделяется при центрифугировании, как и в случае преждевременного центрифугирования.

Особенно тщательно контролируется окончание процесса кристаллизации. Его определяют по содержанию сухих веществ и доброкачественности межкристальной жидкости, которые должны быть соответственно не более 65—67 % и 71 % для схемы с кислотным гидролизом и 60—62 % и 76—78 % для схемы с кислотно-ферментативным гидролизом.

При отсутствии затравочных кристаллов в кристаллизаторе, например в пусковой период, процесс кристаллизации начинают следующим образом.

Глюкозный сироп плотностью 70—72 % СВ для I продукта и 74—75 % СВ для II продукта температурой 48—50 °С заливают в кристаллизатор до 30 % его вместимости, добавляют 150—160 кг гидратной кристаллической глюкозы в воронку, через которую сироп поступает в кристаллизатор. Такой способ обеспечивает быстрое и хорошее перемешивание кристаллов с сиропом. Через 40—43 ч появляются хорошие кристаллы глюкозы. В кристаллизатор далее заливают еще 30 % его вместимости уже плотностью 72—73 % СВ, и кристаллизацию проводят в

Рубашка кристаллизатора разделена на несколько секций внутренними стенками, которые выполняют также роль ребер жесткости. В каждый пояс и диски воду подают и отводят по отдельной линии с целью равномерного охлаждения.

Перемешивание в таких кристаллизаторах осуществляется дисками и специальными планками, укрепленными на дисках. Для перемещения утфеля вдоль кристаллизатора в дисках вырезаны секторные проемы со смещением относительно соседнего диска на 180°.

Полная вместимость кристаллизаторов составляет от 24 до 57,5 м³, частота вращения вала от 0,25 до 0,63 об/мин, удельная поверхность охлаждения от 1,75 до 3 м³ на 1 м³ вместимости кристаллизатора.

При установившейся работе завода охлажденный в холодильнике глюкозный сироп заливают в кристаллизатор, предварительно укрепив на спускной трубе мешочный фильтр с капроновой сеткой № 49, чтобы удержать механические примеси. В кристаллизаторе оставлено 30 % утфельной массы от предыдущего цикла в качестве затравки для создания центров кристаллизации. При кристаллизации I продукта перемешивание сиропа с затравочными кристаллами производится в течение 12—16 ч, для II продукта — 24 ч. При этом температура сиропа поддерживается на уровне 43 °С. По истечении указанного времени начинается медленное охлаждение сиропа строго по соответствующему температурному графику с целью поддержания постоянного коэффициента пересыщения: для I продукта — 1,15—1,20, для II продукта — 1,25—1,40.

Температура в кристаллизаторе должна снижаться плавно на протяжении всего периода, особенно в начале. При очень быстром снижении ее может выпасть много мелких кристаллов («мука») и утфель будет плохо фуговаться. В случае выпадения «муки» утфель подогревают до 43 °С и снова охлаждают в соответствии с установленным графиком.

При очень медленном снижении температуры растут крупные кристаллы, дающие растворы, окрашенные в желтый цвет.

График снижения температуры утфеля от 43 до 28—30 °С зависит от содержания редуцирующих веществ в кристаллизуемом сиропе, причем при более высоком содержании РВ (соответственно глюкозы) можно быстрее снижать температуру, благодаря чему сокращается продолжительность процесса в целом.

В табл. 47 приведен график снижения температуры утфеля при однопродуктовой кристаллизации.

Температуру утфеля в кристаллизаторах регулируют подачей охлаждающей воды. Желательно каждый кристаллизатор оснастить прибором для регистрации температуры. Для всех кристаллизаторов устанавливают два сборника. В одном из них поддерживается температура около 30 °С, в другом — около 20 °С. Для подогрева воды в каждом сборнике установлен паровой барботер. Воду подают в кристаллизаторы центробежными

Таблица 47

Смена	Температура (в °С) утфеля в течение суток			
	первых	вторых	третьих	четвертых
I	Перемешивание	41,5	36,5	30,5
II	43,0	39,5	35,0	28,0
III	42,5	38,0	33,0	Центрифугирование

насосами. Пройдя через охлаждающую поверхность кристаллизатора, вода возвращается обратно в сборник. Кристаллизаторы после заливки охлаждают водой температурой 30 °С. Когда температура утфеля снизится до 30 °С (замер температуры утфеля производится не реже четырех раз в смену), его охлаждают водой температурой 20 °С. Это вызвано тем, что разница температур между утфелем и охлаждающей водой не должна превышать 8—10 °С, иначе возможно местное переохлаждение утфеля и выпадение мелких кристаллов («муки»), что нежелательно.

Такой способ регулирования температуры утфеля предусматривает низкий расход воды и пара, так как вода подогревается за счет теплоты утфеля и ее приходится периодически заменять холодной водой с целью охлаждения.

По внешнему виду готовый утфель представляет собой кашицеобразную массу, свободно отваливающуюся от мешалки. Если утфель передержать в кристаллизаторе, то кристаллы начинают перетираться, масса становится белесовато-матового цвета. Такой утфель плохо разделяется при центрифугировании, как и в случае преждевременного центрифугирования.

Особенно тщательно контролируется окончание процесса кристаллизации. Его определяют по содержанию сухих веществ и доброкачественности межкристальной жидкости, которые должны быть соответственно не более 65—67 % и 71 % для схемы с кислотным гидролизом и 60—62 % и 76—78 % для схемы с кислотно-ферментативным гидролизом.

При отсутствии затравочных кристаллов в кристаллизаторе, например в пусковой период, процесс кристаллизации начинают следующим образом.

Глюкозный сироп плотностью 70—72 % СВ для I продукта и 74—75 % СВ для II продукта температурой 48—50 °С заливают в кристаллизатор до 30 % его вместимости, добавляют 150—160 кг гидратной кристаллической глюкозы в воронку, через которую сироп поступает в кристаллизатор. Такой способ обеспечивает быстрое и хорошее перемешивание кристаллов с сиропом. Через 40—43 ч появляются хорошие кристаллы глюкозы. В кристаллизатор далее заливают еще 30 % его вместимости уже плотностью 72—73 % СВ, и кристаллизацию проводят в

течение 88 ч, после чего направляют на центрифугирование половину утфеля. В третий раз кристаллизатор заливают уже полностью сиропом плотностью 74,5—75 % СВ и кристаллизуют по принятому режиму.

При отсутствии достаточного количества кристаллической глюкозы в сироп, находящийся еще в холодильнике и охлажденный до 42—43 °С, добавляют 100—150 кг глюкозной пудры. После хорошего перемешивания сироп с затравочными кристаллами заливают в кристаллизатор на 25—30 % его вместимости и кристаллизуют как обычно, используя полученный утфель в качестве затравки. Как правило, в начале производства первые утфеля получаются худшего качества, чем при установившейся работе завода.

В настоящее время проводятся работы по созданию непрерывного процесса кристаллизации, который представляется возможным автоматизировать.

В табл. 48 приведена характеристика продуктов на стадии кристаллизации глюкозы для трех технологических схем производства кристаллической глюкозы.

Таблица 48

Показатели	Технологическая схема				
	с кислотным гидролизом		с кислотно-ферментативным гидролизом		с кислотно-ферментативным гидролизом и однопродуктовой кристаллизацией
	I продукт	II продукт	I продукт	II продукт	
Содержание редуцирующих веществ сиропов, поступающих на кристаллизацию, %	91—92,5	84—85	94,0—94,5	89—90	89,5—90,5
Содержание глюкозы, %	—	—	92—92,5	—	87—88
Концентрация сиропа, заливаемого в кристаллизатор, % СВ	74,5—75,0	76—77	72,5—73	74—75	74,5—75
Количество затравочных кристаллов, %	30	30—35	25	30	30
Продолжительность процесса кристаллизации, ч	88	192	72	96	80—88
Концентрация межкристального раствора к началу центрифугирования, % СВ, не более	65	72	60—62	62—64	60—62
Температура утфеля в начале центрифугирования, °С	27—28	28—30	27—28	27—28	27—28
Содержание редуцирующих веществ в межкристальном оттеке, %	78—80	68—71	89—90	76—77	77—78

Центрифугирование глюкозных утфелей. Для отделения межкристального раствора от кристаллов глюкозы применяют центрифуги вертикального типа периодического действия марки ПН-1000 и автоматизированные центрифуги марки ФПН-1251Л-2 с фактором разделения соответственно 1180 и 1480.

На рис. 106 представлена центрифуга марки ФПН-1251Л-3, которая состоит из перфорированного барабана, электродвигателя, головки привода с тормозящим устройством, кожуха, механизма для среза осадка. Стенки барабана имеют отверстия диаметром 5—6 мм на расстоянии 25—30 мм друг от друга. На поверхность барабана изнутри вкладывается вначале проволочная сетка крупного плетения, затем медная штампованная сетка с отверстиями диаметром 0,4 мм. Центрифуга работает на четырех скоростях. Управление центрифугой полностью автоматизировано. Лишь срезающий механизм имеет ручное управление.

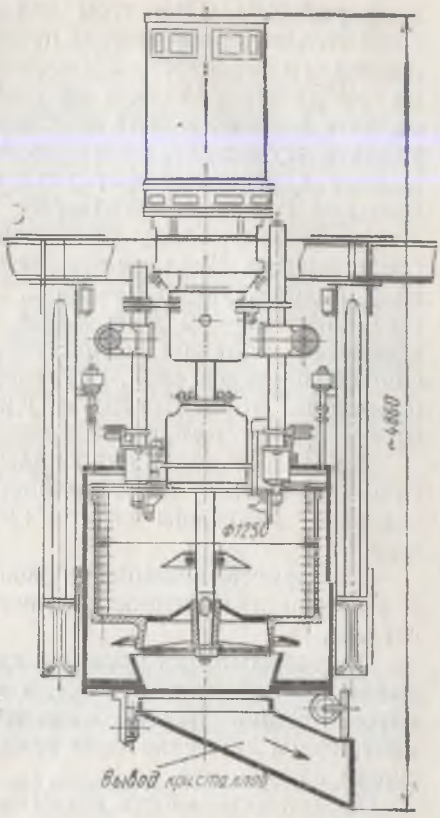


Рис. 106. Центрифуга ФПН-1251Л-3

Из кристаллизатора утфель по трубопроводу спускают в утфелераспределитель, расположенный над центрифугами. Утфелераспределитель представляет собой длинное узкое корыто с мешалкой в виде шнека, вращающегося с частотой не более 1,5 об/мин во избежание перетирания утфеля. Он вмещает такое количество утфеля, которое достаточно для загрузки всех центрифуг.

Цикл работы центрифуги состоит из следующих операций. Когда центрифуга разовьет частоту вращения 300—400 об/мин, открывают шибер в утфелераспределителе и быстро загружают барабан утфелем. При медленной загрузке процесс центрифугирования заканчивается раньше, прежде чем утфель равномерно распределится по поверхности барабана. Это может привести к аварии.

Загруженную центрифугу переводят на полную скорость, при которой она работает почти до полного удаления межкристаль-

ного раствора. При этом толщина слоя на сетке центрифуги значительно уменьшается, происходит уплотнение слоя, уменьшается его пористость. Межкристальный раствор остается только на гранях кристаллов, и центробежная сила не в состоянии преодолеть адгезию между кристаллами и пленкой раствора. Чтобы удалить эту пленку, слой кристаллов промывают водой, которую подают с помощью форсунки по 3—4 л в минуту. Для промывания глюкозы используют чистый охлажденный конденсат или умягченную воду (жесткость не более 1 °Н), свободную от солей железа. Вода может быть холодной, но лучше применять воду, подогретую до 40—45 °С. Расход воды на отбелку глюкозы составляет 20—25 % к массе сырых кристаллов. Не следует применять большое количество, так как она не успевает просачиваться через слой, скопляется на его поверхности, образуя промоины. В результате не удается достичь равномерной промывки; кроме того, это вызывает вибрацию центрифуги.

Указанного количества воды достаточно, чтобы удалить красящие вещества с поверхности кристаллов. Если красящие вещества включены внутрь кристалла, их не удается отмыть водой.

При кристаллизации глюкозы из сильноокрашенных растворов при центрифугировании очень трудно получить чистые кристаллы.

Получаемый при промыве кристаллов водой второй оттек называют белой патокой. Когда выходящая из центрифуги белая патока станет почти бесцветной, промывку прекращают, но центрифуга еще некоторое время продолжает работать для просушки сахара.

Продолжительность просушки зависит от величины и формы кристаллов глюкозы, толщины слоя кристаллов, частоты вращения барабана. Перед разгрузкой центрифуги ротор останавливают, снимают лопаткой серый налет с поверхности слоя (направляя в клеровочный сборник), придают ротору обратное вращение с частотой 50 об/мин и разворачивают ножевое устройство. Нож врезается в слой глюкозы против направления вращения ротора. Нож постепенно опускается вниз, полностью освободив от глюкозы барабан центрифуги. После этого нож возвращают в исходное положение и цикл центрифугирования повторяют.

Продолжительность рабочего цикла центрифуги зависит от качества утфеля. Так, при кислотном способе продолжительность центрифугирования утфеля I продукта составляет 40—48 мин, утфеля II продукта — до 1 ч. В случае кислотно-ферментативного способа длительность этой операции сокращается и составляет для I и II продукта около 30 мин.

Центрифугирование утфеля II продукта производят без промывки кристаллов водой. Пробеленные кристаллы I продукта имеют влажность 13—15 % и содержание глюкозы не менее 99,5 %. Кристаллы непробеленного желтого сахара при кислот-

ном способе гидролиза имеют влажность 14—16 %, а содержание глюкозы колеблется в пределах 94—97 %.

При внедрении кислотно-ферментативного способа гидролиза крахмала глюкоза II продукта также направляется на сушку вместе с глюкозой I продукта. Межкристальный оттек, получаемый при центрифугировании утфеля I продукта, и зеленую патоку направляют на переработку, а оттек, получаемый при центрифугировании утфеля II продукта, — гидрол выводят из производства.

При одностадийной кристаллизации режим работы центрифуг должен быть отрегулирован таким образом, чтобы исключить попадание белой патоки в зеленую, выводимую из производства на реализацию, чтобы не повышать в ней содержание редуцирующих веществ. Для этого переключение сегрегатора на белую патоку следует производить до включения промывки кристаллов глюкозы водой (примерно через 2 мин после загрузки центрифуги). Ниже приведен примерный цикл работы центрифуги ФПН-1251Л-2 (в мин).

Загрузка	0,25
Отделение зеленой патоки	3—4
Промывка водой	1—1,5
Просушка и выгрузка	7—10

Общая продолжительность цикла центрифугирования составляет 15—20 мин. Примерно 40 % зеленой патоки выводится из производства, остальная часть (60 %) и белая патока возвращаются в жидкий сироп.

При гидролизе крахмала с применением ферментов возможно возникновение инфицирования не только на стадии ферментативного осахаривания, но и в целом на верстате производства, в том числе в кристаллизаторах. При этом культивируются в основном осмофильные дрожжи, плесени, кислотообразующие бактерии. Наличие указанной микрофлоры резко снижает качество кристаллической глюкозы (растворы глюкозы слегка опалесцируют). Такая глюкоза плохо хранится, особенно недосушенная.

С целью предупреждения инфицирования необходимо периодически (в зависимости от местных условий) освобождать полностью от продукта основные аппараты, в том числе кристаллизаторы, утфелераспределители, сборники промывной воды, сборники промоев и разливов сиропа (особенно заземленные), трубопроводы, и обрабатывать их 3%-ным раствором хлорной извести или 2%-ным раствором формалина. После тщательной последующей промывки водой аппараты и сборники необходимо пропарить насыщенным паром. Для пропарки кристаллизаторов пар подводится не только внутрь аппарата, но и в кожух.

Сушка, рассев и хранение кристаллической глюкозы. Кристаллическая гидратная глюкоза в своем составе содержит кристаллизационную воду в количестве 9,1 %. Именно до этой

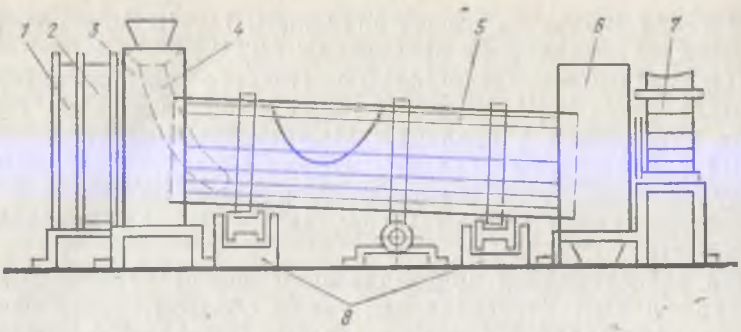


Рис. 107. Барабанная сушилка для глюкозы

влажности необходимо высушить глюкозу, чтобы она нормально хранилась. Если глюкозу не досушить, то она в процессе хранения комкуется и качество ее ухудшается из-за развития микрофлоры. Высушивать ее до более низкой влажности нецелесообразно, так как она гигроскопична и при хранении влажность ее повысится до 9 %.

Из центрифуг сырые кристаллы глюкозы с влажностью 14—15 % направляют в сушилку. Для транспортировки рекомендуется устанавливать ленточный шнек, хорошо разрыхляющий сырой сахар. Высушивание кристаллов глюкозы производят нагретым воздухом. Во время высушивания большое значение имеет температурный режим, так как кристаллы глюкозы начинают плавиться в собственной воде уже при температуре 60 °С.

Для сушки гидратной глюкозы в основном применяют барабанные сушилки. Барабанная сушилка (рис. 107) состоит из вращающегося барабана *5*, опирающегося на ролики *8*. Барабан устанавливается с уклоном в сторону движения глюкозы 20—25 мм на 1 м. Барабан вращается от индивидуального мотора через червячную передачу *7* с частотой 3,2—6,0 об/мин. На внутренней поверхности барабана помещены лопатки, перемешивающие кристаллы для лучшего контакта с воздухом. Более сложные насадки применять не следует из-за того, что глюкоза обладает свойством налипать на внутренние поверхности и в случае применения сложных насадок их тяжелее чистить. Концы барабана заключены в неподвижные загрузочную *3* и разгрузочную *6* камеры.

Воздух в барабанную сушилку рекомендуется подавать двумя вентиляторами — нагнетающим и отсасывающим для создания некоторого разрежения в сушилке. Если пользоваться одним нагнетающим вентилятором, то барабан сушилки будет находиться под давлением, что приведет к распылу глюкозы. При наличии одного отсасывающего вентилятора в барабане создается значительное разрежение и из-за подсосов воздуха

затруднительно создать нормальный температурный режим сушки. Сушка ведется в параллельном потоке воздуха, так как в этих условиях обеспечиваются лучшие теплотехнические показатели и сухая глюкоза получается при более низкой температуре, чем при противотоке.

В случае повышенной температуры сухая глюкоза плохо просеивается через сита при последующем рассеве и во время хранения слеживается.

Воздух протягивается вентилятором через матерчатый фильтр *1* и паровой калорифер *2*, где нагревается до 50—55 °С и проходит через барабан, после чего выбрасывается через мокрый пылеуловитель (скруббер) в атмосферу.

Влажные кристаллы глюкозы поступают в сушилку через течку *4* и по мере перемещения вдоль барабана высушиваются и поступают в разгрузочную камеру температурой не выше 40 °С. Из этой камеры, пройдя магнитный сепаратор для улавливания случайно попавшихся кусочков металла, глюкоза шнеком и норией направляется на просеивание для отделения крупки.

Крупка представляет собой небольшие комочки, образовавшиеся из слипшихся кристаллов глюкозы, с поверхности которых достаточно удален межкристальный раствор из затвердевших кусочков утфеля, отвалившихся от стенок кристаллизатора или шнеков, а также из оплавленных в сушилке кусочков сырой глюкозы. При соблюдении всех технологических режимов, особенно при центрифугировании утфеля, количество крупки не превышает 3—5 %, но не более 10 %.

На высушивание 1 т сырой глюкозы в барабанной сушилке расходуется 180 кг пара давлением 68,6 Па (избыточное), воздуха — 4600 кг и 10,2 кВт·ч электроэнергии.

В последнее время для высушивания глюкозы в нашей стране начали применять пневматические сушилки, где осуществляется почти мгновенная сушка глюкозы. Расход пара при этом уменьшается на 15—20 %, в два раза меньше расходуется воздуха, примерно в 4 раза меньше требуется производственной площади для ее размещения. Пневматическая сушилка для глюкозы по конструкции и принципу действия аналогична пневматической сушилке для сушки крахмала. Однако барабанная сушилка более надежна в работе.

Рассев глюкозы производят на ситах типа бурата, обтянутых штампованной металлической сеткой с отверстиями диаметром 1—1,5 мм. Просеянную глюкозу направляют в бункер для упаковки.

Крупку вместе с раствором глюкозной пыли из скруббера подают в клеровочный сборник и возвращают на линию I продукта в сборники для контакта жидкого сиропа с активным углем.

Кристаллическую гидратную глюкозу упаковывают по 40 кг в двойные мешки: внутренний — многослойный бумажный, внеш-

ний — тканевый. Глюкоза фасуется в мелкую тару — в бумажные пакеты и коробки массой нетто от 100 г до 1 кг.

Упакованную глюкозу направляют в склад для хранения. Относительная влажность воздуха в складе должна быть не более 75 %.

Переработка зеленой патоки. Схема производства кристаллической глюкозы с кислотным гидролизом крахмала предусматривает следующую технологию переработки зеленой патоки.

Зеленую патоку разбавляют водой или промывными водами до содержания 30—35 % СВ, добавляют соляную кислоту из расчета 0,60—0,65 % газа HCl к массе сухих веществ и подвергают кислотному гидролизу в конверторе при температуре 140—143 °С (избыточное давление пара 214—294 Па) с целью перевода продуктов реверсии в глюкозу. Продолжительность осахаривания составляет 30—32 мин — с момента установления указанного давления до начала выдувания. Эффект осахаривания зеленой патоки тем больше, чем ниже ее доброкачественность, т. е. чем больше она будет истощена (в ней больше продуктов реверсии) в процессе кристаллизации I продукта.

В результате осахаривания содержание РВ в зеленой патоке возрастает на 3—6 %, что позволяет увеличить выход кристаллической глюкозы на 8—10 % по сравнению с тем, когда зеленая патока не гидролизуется, улучшается процесс кристаллизации глюкозы I и II продуктов.

Гидролизат зеленой патоки нейтрализуют, как обычно, раствором кальцинированной соды до pH 4,8—5,0, добавляют к нему промои, получаемые при промывке осадка фильтр-перлита и активного угля. Суспензию фильтруют и уваривают на трехкорпусной выпарной установке до концентрации 52—56 % СВ.

Отфильтрованный осадок выводят из производства.

Густой сироп II продукта обесцвечивают активным углем, бывшим в употреблении на очистке густого сиропа I продукта, фильтруют и уваривают. Как и при уваривании сиропов I продукта, в вакуум-аппарате продукт подкисляют соляной кислотой до pH 4,2—4,3 и уваривают до концентрации 76—77 %, охлаждают в холодильнике до 50—53 °С и заливают в кристаллизаторы.

По технологии производства глюкозы с кислотно-ферментативным осахариванием крахмала и двухпродуктовой кристаллизацией зеленая патока имеет доброкачественность 88—90 % и не нуждается в дополнительном осахаривании. Поэтому зеленую патоку вместе с белой патокой I и II продуктов подогревают в теплообменнике до 70—75 °С и без разбавления сразу обрабатывают свежим активным углем с целью обесцвечивания. Активный уголь дозируется из расчета 0,7 % к массе сухих веществ оттека. После обработки суспензию фильтруют, затем подвергают контрольной фильтрации, после чего продукт уваривают до концентрации 74—75 % (pH доводят также соляной кислотой до 4,2—4,3).

Уваренный сироп после охлаждения направляют на кристаллизацию. При однопродуктовой кристаллизации линия II продукта отсутствует полностью.

Характеристика и использование гидрола. Гидрол — побочный продукт производства кристаллической глюкозы. Он представляет собой сиропообразную жидкость коричневого цвета. Продукты реверсии и разложения глюкозы, протеин, соли и другие примеси, содержащиеся в очищенных гидролизатах, почти полностью переходят в гидрол. Качество гидрола существенно зависит от способа гидролиза крахмала. В табл. 49 приведены

Таблица 49

Показатели	Гидрол при кислотном гидролизе крахмала	Гидрол при кислотно-ферментативном гидролизе крахмала
Содержание СВ, %, не менее	65	60
Содержание РВ, %	68—72	76—77
Содержание глюкозы, %	54—55	68—69
Содержание золы, %, не более	7	2
Содержание NaCl, %, не более	6	1,5
pH, не ниже	4,0	4,0
Механические примеси	Не допускаются	

основные показатели качества (в пересчете на сухое вещество) гидрола, получаемого по схеме с кислотным и кислотно-ферментативным гидролизом крахмала.

С гидролом уходит 20 % и более глюкозы, образующейся при гидролизе крахмала. Гидрол содержит до 70 % редуцирующих веществ, сбраживаемых на спирт.

Гидрол применяется главным образом для приготовления питательных сред при производстве антибиотиков, в кожевенном производстве при дублении кожи, в производстве искусственного волокна как восстановитель. Он может быть также использован для производства спирта и комбинированных кормов (как составная часть).

Гидрол транспортируется в основном в цистернах, а также в деревянных и стальных бочках.

Расчет продуктов производства кристаллической глюкозы. На предприятиях крахмало-паточной промышленности внедряется технологическая схема производства кристаллической глюкозы с кислотно-ферментативным гидролизом крахмала и одностадийной кристаллизацией глюкозы.

Ниже приведен пример расчета продуктов по стадиям производства для этой схемы с учетом опыта работы Верхнеднепровского крахмало-паточного комбината.

Состав перерабатываемого крахмала, % на сухое вещество	
Азотистые вещества (нерастворимые)	0,50
Растворимые вещества	0,15
Зола	0,10
Жир экстрагируемый	0,10
Жир гидролизный	0,55
Всего примесей	1,40
чистого крахмала	98,60
Итого	100,00

Глюкозный эквивалент, %	
крахмала	98,60
осахаренного сиропа	94,5
первого оттека (зеленая патока)	78,0
второго оттека (белая патока)	93,5
кристаллизуемого сиропа	—
кристаллической глюкозы (условно)	100,00
Количество сухих веществ белой патоки (% к сухим веществам непробеленной глюкозы)	10,0
Количество сахарной крупки и пыли (% по сырым кристаллам)	10,0
Потери сухих веществ сиропа, %	4,00
Количество газа HCl, % по СВ	0,10
Количество глюкоамилазы, % (препарат с ГлА=1000 ед/г)	0,25

Таблица 50

Стадия производства	Количество примесей крахмала, %	Потери сухих веществ, %		
		определенные	неопределенные	всего
Разжижение и нейтрализация	—	—	0,10	0,10
Осахаривание	—	—	0,05	0,05
Механическое фильтрование с осадком	1,21	0,85	0,05	0,90
Фильтрование жидкого сиропа и зеленой патоки с салфетками	—	0,01	0,01	0,02
Фильтрование густого сиропа с салфетками	—	0,02	0,01	0,03
Фильтрование угольной грязи с осадком	—	0,80	0,05	0,85
Выпаривание и уваривание	—	1,80	0,05	1,85
Кристаллизация и центрифугирование	—	—	0,10	0,10
Сушка и рассев	—	—	0,10	0,10
	1,20	3,48	0,52	4,00

В табл. 50 дано распределение потерь по станциям производства.

Количество сухих веществ продуктов, получаемых при переработке 100 кг безводного крахмала, определяется следующим образом.

1. Теоретический выход сухих веществ осахаренного сиропа из крахмала определяется по формуле С. Ф. Ралля и С. В. Чепиго

$$T_в = \frac{98,6}{1 - 0,001 \cdot 94,5} + 0,15 + 1,40 + 0,25 = 110,69\ \%,$$

где 98,6 — доброкачественность крахмала, %; 94,5 — глюкозный эквивалент осахаренного сиропа, %; 0,15 — количество NaCl, образовавшейся при нейтрализации соляной кислоты содой, %; 1,40 — примеси крахмала; %; 0,25 — количество фермента, %.

2. Теоретический выход сухих веществ очищенного сиропа составит

$$T_в = \frac{98,6}{1 - 0,001 \cdot 94,5} + 0,25 + 0,35 = 109,49\ \%,$$

где 0,25 — количество азотистых веществ; 0,35 — содержание золы.

3. Потери примесей крахмала

$$110,69 - 109,49 = 1,20\ \text{кг}.$$

4. Практический выход очищенного глюкозного сиропа при потерях 4,0 % будет

$$109,49 - 4,0 - 105,49\ \text{кг}.$$

5. Выход безводной кристаллической глюкозы по отношению к массе сухих веществ кристаллизуемого сиропа определяется по формуле Переплетчикова

$$B = [100\,(94,5 - 78)]/(100 - 78) = 75,0\ \%$$

или $75,0 \cdot 105,49 = 79,12$ % к массе безводного крахмала.

6. Количество сухих веществ зеленой патоки (первого оттека), которая выводится из производства, определяется по разности между практическим выходом сиропа и выходом кристаллической глюкозы:

$$105,49 - 79,12 = 26,37\ \text{кг}.$$

7. Количество глюкозной крупки из рассева и пыли из скруббера сушилки, поступающее на клеровку, составляет 10 % к массе сырых кристаллов глюкозы, а к массе безводного крахмала составит

$$79,12 \cdot 10/(100 - 10) = 8,79\ \text{кг}.$$

8. Количество сухих веществ пробеленного сахара с учетом потерь при сушке и рассеве (0,1 %) будет

$$79,12 + 8,79 + 0,10 = 88,01\ \text{кг}.$$

9. В белую патоку переходит 10 % сухих веществ непробеленной глюкозы, что к безводному крахмалу составит

$$88,01 \cdot 10/(100 - 10) = 9,78\ \text{кг}.$$

10. Количество сухих веществ зеленой патоки, возвращаемой в жидкий сироп после механического фильтрования осахаренного сиропа, определяется в соответствии с тем условием, что после смешения сироп, направляемый на кристаллизацию, должен иметь глюкозный эквивалент, равный 90 %:

$$\frac{108,41 \cdot 94,5 + X \cdot 78}{108,41 + X} = 90,0; \quad X = 40,65\ \text{кг}.$$

Таким образом, 26,37 кг (т. е. 40 %) зеленой патоки выводится из производства, 40,71 кг (60 %) возвращается в производство.

На основании полученных данных составляется баланс сухих веществ по каждой стадии производства (табл. 51). В таблице приведены масса и объем продуктов на основных стадиях производства при переработке 100 кг безводного крахмала. Пользуясь этими данными, можно легко опре-

Таблица 51

Станция	Поступает	Уходит	Передано на следующую станцию
Осахаривание крахмальной суспензии			
Крахмал	100,0	—	—
Соляная кислота	0,10	—	—
	100,10	—	100,10
Кислотное разжижение			
Подкисленная крахмальная суспензия	100,10	—	—
Прирост сухих веществ в результате гидролиза	2,01	0,10	—
$\frac{98,6}{1-0,001\cdot 20,0}-98,6$			
Потери	—	—	—
	102,11	0,10	102,01
Нейтрализация			
Разжиженный крахмал	102,01	—	—
Образовавшаяся NaCl	0,15	—	—
HCl, прореагировавшая с содой	—	0,08	—
Потери	—	0,05	—
	102,16	0,13	102,03
Осахаривание			
Разжиженный крахмал	102,03	—	—
Ферментный препарат	0,25	—	—
Прирост сухих веществ в результате гидролиза	8,31	—	—
Потери	—	0,05	—
	110,59	0,05	110,54
Механическая очистка			
Осахаренный сироп	110,54	—	—
Потери примесей крахмала	—	1,20	—
Потери сухих веществ сиропа	—	0,90	—
	110,54	2,10	108,44
Обесцвечивание и фильтрование жидкого сиропа			
Осахаренный сироп	108,44	—	—
Зеленая патока	40,65	—	—

Продолжение

Станция	Поступает	Уходит	Передано на следующую станцию
Белая патока	9,78	—	—
Глюкозная пыль и крупка	8,79	—	—
Потери	—	0,02	—
	167,66	0,02	167,64
Выпаривание			
Жидкий сироп	167,64	—	—
Потери	—	1,00	—
	167,64	1,00	166,64
Обесцвечивание и фильтрование			
Сироп с выпарки	166,64	—	—
Потери	—	0,88	—
	166,64	0,88	165,76
Уваривание			
Густой сироп	165,76	—	—
Потери	—	0,85	—
	165,76	0,85	164,91
Кристаллизация и центрифугирование			
Сухие вещества утфеля	164,91	—	—
Зеленая патока	—	26,37	40,65
Белая патока	—	9,78	—
Потери	—	0,10	—
	164,91	36,25	88,01
Сушка и рассев			
Пробеленная глюкоза	88,01	—	—
Глюкозная крупка и пыль	—	8,79	—
Потери	—	0,10	—
		8,89	79,12
Готовая глюкоза	—	—	79,12
Выводимая зеленая патока	—	—	26,37

делить массу и объем продуктов при переработке любого количества крахмала.

В табл. 52 приведены количество и качество продуктов производства кристаллической глюкозы из 100 кг безводного крахмала.

Таблица 52

Продукт	Содержание сухих веществ, %	Плотность, т/м³	Доброкачественность, %	Содержание на 100 кг абсолютно сухого крахмала		
				абсолютно сухих веществ	кг	л
Крахмальная суспензия	38,0	1,17	—	100	268,24	230
Кислота соляная	32,3	1,14	—	0,1	0,40	0,35
Сироп после разжижения	33,0	1,144	20,0	102,01	309,12	270,21
Раствор соды	18,0	—	—	—	3,13	1,98
Сироп после нейтрализации	33,0	1,144	20,0	102,02	309,15	270,23
Раствор глюкоамилазы	—	—	—	0,25	5,0	5,0
Сироп после осахаривания	33,0	1,144	94,5	110,54	334,97	292,81
Сироп после механического фильтрования	32,0	1,138	94,5	108,41	338,78	297,96
Жидкий сироп на фильтрование	38,2	1,170	90,0	167,62	437,92	374,29
Жидкий сироп перед выпариванием	38,2	1,170	—	167,64	438,85	375,08
Сироп после выпаривания	55,5	1,263	—	166,64	300,25	237,73
Выпаренная вода	—	1,000	—	—	138,60	—
Густой сироп после фильтрования	54,5	1,258	—	165,76	304,15	241,77
Сироп после вакуум-аппарата на кристаллизацию	75,0	1,384	—	164,91	219,88	159,10
Выпаренная вода	—	1,000	—	—	84,27	—
Сырые кристаллы глюкозы	86,0	—	100,0	88,01	101,63	—
Зеленая патока	60,0	1,290	78,0	67,02	111,70	86,59
Белая патока	45,0	1,205	90,0	9,78	21,73	18,07
Глюкозная пыль и крупка	91,0	—	100,0	8,79	9,66	—
Возвращенная зеленая патока	60,0	1,290	78,0	40,65	67,75	52,52
Выведенная зеленая патока	60,0	1,290	78,0	26,37	43,95	34,07
Готовая глюкоза	91,0	—	100,0	79,12	86,95	—
Осадок после механического фильтрования	15,9	1,061	—	2,10	—	—
Отработанный активный уголь	15,0	1,061	—	0,80	—	—

Нормы расхода сырья и основных вспомогательных материалов при производстве 1 т кристаллической глюкозы. Эти нормы приведены ниже.

Крахмал абсолютно сухой, кг	1150
Кислота соляная, кг	5,0
Сода кальцинированная, кг	4,0
Сода каустическая (60%), кг	0,31
Уголь активный, кг	18,0
Порошок фильтрующий, м³	0,3
Глюкоамилаза (активность 1000 ед. ГлА/г)	3,0
Пар технологический, т	5,0
Электроэнергия, кВт	350
Вода, м³	180
Фильтр-диагональ, м	0,80
Ткань капроновая, м²	0,09
Масло кукурузное, л	0,3

Технология производства медицинской глюкозы. Медицинской глюкозой называют рафинированную кристаллическую глюкозу доброкачественностью не ниже 99,9 %, удовлетворяющую требованиям Государственной фармакопеи СССР.

В зависимости от условий перекристаллизации медицинскую глюкозу вырабатывают в гидратной и ангидридной формах.

Сырьем для производства медицинской глюкозы является гидратная кристаллическая глюкоза, отвечающая требованиям ГОСТ 975—75.

Если медицинская глюкоза получается в едином производстве с гидратной кристаллической глюкозой, то разрешается использование кристаллов гидратной глюкозы влажностью 14—16 %.

Технологическая схема производства медицинской гидратной глюкозы. Кристаллы гидратной глюкозы растворяются при перемешивании и подогревании до температуры 75—80 °С в течение 30—35 мин в уваренной смеси белой и 75—80 % от общего количества зеленой патоки, полученных при центрифугировании утфеля и промывании кристаллов перекристаллизованной глюкозы. При недостаточном количестве или отсутствии межкристального оттека в начале производства используют дистиллированную воду. К полученному сиропу концентрацией 72—72,5 % СВ добавляют суспензию активного угля в количестве 0,8—1,0 % к массе сухих веществ сиропа и после 30—35-минутной обработки при температуре 75—80 °С фильтруют. Полученный сироп подвергают контрольной фильтрации. Совершенно прозрачный, без посторонних примесей бесцветный сироп охлаждают до температуры 53—55 °С и заливают в кристаллизаторы.

В качестве затравочных кристаллов используется утфель от предыдущего цикла кристаллизации в количестве 10—20 % от рабочего объема кристаллизатора.

За время заливки сиропа в кристаллизатор и перемешивания его с затравочными кристаллами температура смеси должна быть снижена до 43—44 °С. Для поддержания коэффициента пересыщения на уровне 1,15—1,25 температуру утфеля в процессе кристаллизации снижают за 48 ч до 37—38 °С.

Температура охлаждающей воды должна находиться в пределах 38—32 °С.

Процесс кристаллизации считается законченным, когда содержание кристаллов в утфеле достигнет 45—50 %, а концентрация межкристального раствора уменьшится на 10—12 % по сравнению с концентрацией исходного сиропа. Готовый утфель с кристаллизатора через шибер и течку сливается в утфелераспределитель и загружается в центрифуги для отделения межкристального раствора — зеленой патоки.

Затем кристаллы медицинской глюкозы промывают в центрифуге дистиллированной водой температурой 35 °С. Белая патока имеет концентрацию 40—45 % СВ, зеленая патока — 50—55 %.

Белую и зеленую патоки уваривают вместе в вакуум-аппарате до содержания 59—60 % СВ и направляют для растворения кристаллической глюкозы в реакторы. Систематически примерно 25 % зеленой патоки выводится из производства для предотвращения накопления красящих веществ. Но при появлении опалесценции в растворе глюкозы необходимо вывести зеленую патоку на I цикл полностью. При первоначальных приготовлениях затравочных кристаллов при отсутствии утфеля в кристаллизаторе вводятся затравочные кристаллы при температуре 45 °С в виде готовых кристаллов медицинской глюкозы из расчета 500 г на 1 т кристаллизуемого сиропа. С появлением кристаллов в залитой массе содержимое кристаллизатора охлаждают согласно графику охлаждения утфелей.

Однако при указанном способе приготовления первоначальных затравочных кристаллов утфель после первого оборота кристаллизатора получается низкого качества. Плохо отделяется межкристальный раствор, и недостаточно промываются кристаллы.

На Верхнеднепровском крахмало-паточном комбинате применяется следующий способ приготовления первых затравочных кристаллов. Один реактор сиропа вместимостью 6 м³ плотностью 66 % СВ при температуре 52—

55 °С заливают в предварительно прогретый кристаллизатор. Сюда же добавляют 20 кг сухой медицинской глюкозы в качестве центров кристаллизации. После появления кристаллов в залитой массе, рост которых ведется при температуре 43—44 °С, добавляют еще один реактор сиропа плотностью 66 % СВ.

После того как затравочные кристаллы загустеют до консистенции нормального утфеля, примерно через 32 ч кристаллизатор доливают до полного объема сиропом плотностью 68 % СВ. После перемешивания сироп в кристаллизаторе охлаждают согласно графику охлаждения утфелей.

За первый оборот кристаллизатора утфель получается идентичным утфелю за второй оборот кристаллизатора, хорошо фугуется и промывается. Глюкоза соответствует требованиям Госфармакопеи.

Сырые промытые кристаллы сушат в сушилке в потоке чистого воздуха, предварительно подогретого в калорифере до температуры 85 °С. Высушенную глюкозу просеивают, пропускают через магнитный сепаратор и упаковывают по 35—40 кг.

Упакованную медицинскую гидратную глюкозу хранят на складе на специальных стеллажах.

Как правило, оборудование для производства медицинской глюкозы изготовляют из нержавеющей стали.

Характеристика гидратной медицинской глюкозы. Медицинская гидратная глюкоза имеет формулу $C_6H_{12}O_6H_2O$. Молекулярная масса — 198. По внешнему виду — белый порошок, без остатка проходящий через сито с отверстиями размером 1,5 мм, имеет сладкий без постороннего привкуса вкус.

При температуре выше 60 °С глюкоза начинает плавиться в собственной кристаллизационной влаге. Поэтому в процессе сушки она должна нагреваться до температуры не более 50—55 °С.

Все показатели и нормы для медицинской глюкозы должны соответствовать Государственной фармакопеи СССР X издания.

По внешнему виду медицинская глюкоза — это бесцветный или белый мелкокристаллический порошок, без запаха, сладкого вкуса, растворим в 1,5 частях воды, трудно растворим в спирте, нерастворим в эфире, проходит без остатка через металлическое сито с отверстием размером 1,5 мм.

При растворении 5 частей глюкозы в 25 мл H_2O полученный раствор должен быть прозрачным и бесцветным (сравнивается с эталоном).

Требования к качеству медицинской глюкозы приведены ниже.

Влага, %, не более	10
Зола сульфатная, %, не более	0,1
Хлориды	Не более эталона
Сульфаты	»
Кальций	Отсутствует
Барий	»
Декстрины	Отсутствуют
Предел кислотности	Розовое окрашивание
Содержание солей тяжелых металлов	Не допускается
Содержание мышьяка	»

Для испытания на подлинность к раствору (0,2 глюкозы в 5 мл воды) прибавляют 10 мл жидкости Фелинга и нагревают до кипения — выпадает кирпично-красный осадок. Удельное вращение от +51,5 до 53 (10 %-ный водный раствор).

Технологическая схема получения гидратной медицинской глюкозы Верхнеднепровского крахмало-паточного комбината. Медицинскую гидратную глюкозу получают путем перекристаллизации и рафинации кристаллической гидратной глюкозы.

Сырые кристаллы глюкозы после центрифуг влажностью 14—16 % шнеком подают в клеровочные реакторы. В реакторы поступает также уваренная белая патока с вакуум-аппаратов, полученная при промывке медицинской глюкозы на центрифугах. При недостатке оттека растворение кристаллов глюкозы производится дистиллированной водой. Глюкозу растворяют до концентрации 70—72,5 % и подогревают с помощью циркуляции в трубчатом теплообменнике до температуры 75—80 °С.

В клеровочные реакторы подают также суспензию активного угля марки Б из расчета 0,8—1,0 % к массе сухих веществ раствора.

Контакт сиропа при перемешивании с активным углем проводят в течение 30—35 мин, после чего сироп направляют на рамный фильтр-пресс. Первые порции фильтрованного сиропа возвращают в исходную емкость, а прозрачный и бесцветный сироп поступает в сборник перед контрольной фильтрацией, откуда его подают на контрольный фильтр-пресс. Совершенно прозрачный, без посторонних примесей сироп поступает в сборник перед холодильником (теплообменником). С контрольной фильтрации возвращается сироп в клеровочные чаны.

Из сборника сироп направляют в теплообменник, где охлаждается проточной водой до температуры 52—53 ° С и через фильтр с ситовым капроном № 73 поступает в кристаллизаторы. В кристаллизаторах в качестве затравочных кристаллов оставляется не меньше 10 % утфеля от предыдущего цикла кристаллизации. При заливке сиропа в пустые кристаллизаторы затравочная масса приготовляется по ранее описанному методу. Заливка кристаллизатора длится 16—20 ч. После перемешивания сиропа с затравочной массой температура смеси должна быть 43—44 °С. Кристаллизация утфеля длится 48 ч с момента конца заливки при охлаждении утфеля до температуры 40—39,5 °С.

Утфель считается готовым к центрифугированию, когда концентрация межкристального оттека снизится на 10 % СВ.

Готовый утфель через течку выпускают в утфелераспределитель и загружают в центрифуги.

Для центрифугирования утфелей установлены центрифуги типа ФПН-1001. Частота вращения ротора — 1450 об/мин, рабочая поверхность— 2,35 м². Во избежание биения валов центрифуг на сетке ротора центрифуги оставляют подслой кристаллов толщиной 5 мм. Это обеспечивает равномерность загрузки центрифуги утфелем. Для промывки кристаллов используют дистиллированную воду температурой 25—36 °С.

Белую патоку концентрацией 40—45 % СВ и частично зеленую направляют на уваривание в вакуум-аппарат до плотности 59—60 %, а затем возвращают в клеровочный сборник.

Около 25 % от общего количества зеленой патоки концентрацией 55—60 % СВ с целью предотвращения накопления красящих веществ и других несахаров выводится с верстата и направляется в цепь I продукта.

Пробеленные кристаллы медицинской глюкозы влажностью 13—15 % шнеком подаются на норию, а затем через питатель в сушильный барабан. Сушильный барабан (D=2000 мм, длина 6000 мм). Барабан вращается с частотой 4 об/мин, с уклоном 1,5°. В качестве сушильного агента используют воздух, подогретый в калорифере до температуры 85 °С. Греющий пар имеет давление P=2,0 атм. Перед поступлением в калорифер воздух очищается на фильтрах. Глюкозная пыль из сушильного барабана отсасывается вентилятором через циклон в мокрый скруббер. Из скруббера раствор глюкозы поступает в клеровочный сборник. На выходе из сушильного барабана глюкоза проходит цилиндрическое сито с отверстиями размером 1,5 мм (встроенное в барабан), где отделяются кристаллы от крупки и посторонних включений. Крупка через специальный сборник с мешалкой растворяется и возвращается в сборник. Просеенные кристаллы, пройдя через магнитный сепаратор, питателем подаются на пневмотранспортер и в бункер для затаривания. Из бункера сухая глюкоза поступает на автоматические весы, где ее порциями по 34—40 кг упаковывают в бумажные и джутовые мешки. Бумажный и джутовый мешки зашивают на зашивочной машине. Упако-

ванную гидратную медицинскую глюкозу ленточным транспортером направляют в склад, где ее укладывают в штабеля на деревянные стеллажи.

Медицинская глюкоза должна храниться в упакованном виде, в сухом, чистом и проветриваемом складе. В складе, где хранится глюкоза, поддерживается относительная влажность воздуха не более 75 %.

Расход вспомогательных материалов, тепла, воды и электроэнергии в производстве гидратной медицинской глюкозы. На Верхнеднепровском крахмало-паточном комбинате расход вспомогательных материалов пара, воды и электроэнергии на 1 т готовой продукции составляет:

Активный уголь марки Б, кг	15
Фильтровальная ткань, ТУ 504—68, м²	1,085
Бязь отбеленная, ТУ 11680—76, м²	0,9
Ситовая капроновая ткань № 73, ТУ 4403—67, м²	0,1
Сетка штампованная щелевая для центрифуг, ТУ 234-724—71, м²	0,014
Сетка плетеная из нержавеющей стали размером 3,5× ×1,0 мм, подкладная, м²	0,014
Масло кукурузное, кг	0,1
Хлорная известь для санитарной обработки, кг	0,116
Раствор формалина для санитарной обработки, кг	0,010
Пар, Дж	7,9
Вода техническая и питьевого назначения, м³	220
Электроэнергия, кВт·ч	435

Санитарно-гигиенический режим в производстве медицинской гидратной глюкозы. В крахмало-паточной промышленности не проводится специальный микробиологический контроль производства крахмалопродуктов. Между тем, микрофлора крахмало-паточного производства очень разнообразна. Основным источником ее является сырье, вода, воздух производственных помещений.

При несоблюдении санитарно-гигиенических требований отдельные представители микрофлоры могут вызвать микробиологические процессы, приводящие к порче продуктов, ухудшению их качества и снижению выхода. Особенно часто эти процессы возникают в производстве патоки и глюкозы. Развитие кислотообразующих бактерий приводит к закисанию сиропов, ухудшению условий их уваривания. Большой вред наносят производству патоки и глюкозы дрожжи, которые переводят глюкозу, мальтозу в спирт и углекислоту с образованием большого количества побочных продуктов, также ухудшающих качество выпускаемой продукции.

Исследования показали, что микрофлора глюкозного производства в основном представлена дрожжеподобными микроорганизмами, плесневыми грибами и капсулообразующими бактериями.

Установлено, что при несоблюдении санитарно-гигиенического режима в производстве медицинской гидратной глюкозы, а также в кристаллической пищевой глюкозе может содержаться значительное количество микроорганизмов.

В отдельных партиях медицинской гидратной глюкозы, заложенных на экспериментальное хранение, были обнаружены бактерии кокковой и палочковой форм, дрожжи, плесневые грибы Mucor, Aspergillus, осмофильные дрожжи.

Степень обсемененности готовой глюкозы микроорганизмами находится в зависимости от загрязненности продуктов по верстату производства. Установлено, что сироп, поступающий в кристаллизаторы медицинской глюкозы, содержит незначительное количество микроорганизмов. Дрожжей и плесневых грибов в сиропе не обнаружено. Но вследствие того что воздух в помещении кристаллизаторов, центрифуг, в сушильном отделении и отделении упаковки глюкозы при несоблюдении санитарно-гигиенических условий может содержать микроорганизмы, значительно превышающие норму для производственных помещений (не более 100 ед. микроорганизмов на 1 м³), по вер-

стату от кристаллизаторов до станции упаковки глюкозы может быть допущено наращивание микроорганизмов в готовом продукте.

Одним из источников обсемененности микрофлорой может являться также вода, поступающая на промывку глюкозы в центрифугах.

Микробиологические процессы могут быть и при хранении в случае возникновения условий, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов, главными из которых являются наличие влаги и соответствующей температуры.

Для поддержания надлежащего санитарно-гигиенического состояния и предотвращения нарастания микрофлоры на верстате производства все оборудование производства медицинской глюкозы ежесменно должно пропариваться и промываться горячей водой в течение не менее 30 мин. Еженедельно помещение и оборудование должны обрабатываться 3%-ным раствором хлорной извести с наружной поверхности и 2%-ным раствором формалина внутри емкости, после чего тщательно промываться горячей водой. Для санитарно-гигиенической обработки цеха производство раз в неделю останавливается на 8 ч для проведения санитарного дня. Все промывные воды и пропарки откачиваются в канализацию.

С целью уменьшения микробиологической загрязненности помещения, цеха медицинской глюкозы необходимо постоянно контролировать и своевременно дезинфицировать стены, полы, спецодежду рабочих общих профессий (слесари, насосчики, смазчики, электрики, КИП и др.). Поэтому производство медицинской глюкозы должно размещаться в отдельном здании или обособленном помещении.

Раздел II. ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА

Глава 8. ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛА И КРАХМАЛОПРОДУКТОВ

Задачей технохимического контроля производства является руководство технологическими процессами с целью получения максимальных выходов крахмала и крахмалопродуктов при высоком их качестве. Это может быть получено только при соблюдении оптимальных технологических режимов и строгом учете потерь крахмала и сухих веществ в производстве. Контроль за работой всех технологических станций, за качеством вырабатываемой продукции, за выходами и потерями крахмала и сухих веществ возлагается на заводские лаборатории. Они же осуществляют работу по учету производства крахмалопродуктов, совместно с руководителями предприятий составляют месячные, квартальные, полугодовые и годовые технические химико-аналитические отчеты. За каждый отчетный период составляется баланс продуктов. Для этого определяются количество и качество поступившего в переработку сырья (картофель, кукуруза, пшеница), количество продуктов в незавершенном производстве (верстате), количество выработанной готовой продукции, расшифровываются потери сухих веществ и крахмала по станциям.

Заводские лаборатории определяют соответствие выпускаемой продукции стандартам и техническим условиям, оформляют техническую документацию на каждую партию вырабатываемого крахмалопродукта.

ОТБОР И ПОДГОТОВКА СРЕДНИХ ПРОБ

Средняя проба — это небольшая часть продукта, отобранная от исследуемой партии. Она должна полностью соответствовать качеству всей массы продукта, в противном случае это приведет к искажению определенных показателей и в связи с этим — к неправильным выводам.

Средняя проба отбирается либо от определенного количества мест, либо из одного места через определенные промежутки времени. Жидкие пробы, содержащие летучие вещества, а также предназначенные для определения влажности, должны храниться в герметически закрытых сосудах. Для получения средней пробы, наиболее точно соответствующей партии исследуемого продукта, следует очень строго соблюдать правила отбора и составления средних проб.

Средние пробы картофеля отбирают в процессе разгрузки от каждой транспортной единицы из верхнего, среднего и нижнего слоев. Если картофель от одного поставщика поступает в нескольких транспортных единицах,

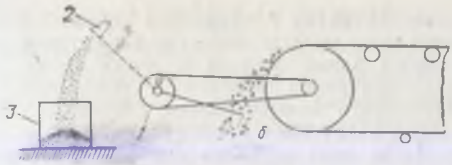


Рис. 108. Устройство для отбора проб сыпучих продуктов

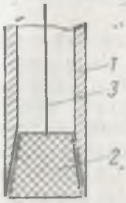


Рис. 109. Щуп для отбора проб сыпучих продуктов

← Рис. 110. Нижний конец зонда для отбора проб

то пробы отбирают от каждой третьей единицы. При поступлении картофеля в автосамосвалах, саморазгружающихся вагонах пробы отбирают из разных мест насыпи сразу после выгрузки. Отбор проб картофеля от партий, находящихся на хранении в буртах, закромах, траншеях, производят от каждого бурта (закрома, траншеи) по всей высоте, ширине и длине насыпи из разных мест через равные промежутки времени.

Во избежание повреждения клубней пробы картофеля отбирают обычно деревянными, роликовыми лопатами или деревянными совками. Масса разовой пробы примерно 3 кг, для больших партий (60 т и более) — не менее 10 кг.

Средние пробы кукурузы в зерне отбирают, как правило, возовыми или вагонными щупами из нескольких мест машины или вагона. Из автомашин пробы отбирают в 4 местах, из двухосных вагонов — в 5, из четырехосных — в 11 местах. В каждом месте отбирают пробы из трех слоев насыпи — верхнего на глубине 10 см, среднего и нижнего у пола вагона. Разовая проба не должна быть менее 0,1 кг. Масса средней пробы, полученной после перемешивания разовых проб, составляет от 2 до 5 кг.

Отбор проб сухих крахмалопродуктов (крахмал, декстрин, глюкоза, корма и др.) производят из струи перемещаемого продукта механическим пробоотборником или специальным совком, которым струя продукта пересекается по всей ширине и толщине периодически, через равные промежутки времени, но не реже чем через 2 ч. Масса разовой пробы 0,2—0,3 кг. На рис. 108 представлена схема устройства для механического отбора проб сыпучих продуктов в потоке. На валу *1*, приводимом в движение от трансмиссии транспортера, на рычаге закреплен маленький ковшичек *2*, которым при вращении захватывается и ссыпается в специальный сборник *3* небольшая часть продукта.

Из мешков пробы отбирают из одного угла мешочным щупом, устройство которого показано на рис. 109. Перед введением щупа в мешок место, в которое он вводится, должно быть тщательно очищено от посторонних примесей. Щуп вводят снизу вверх желобком вниз, после чего поворачивают его на 180° и вынимают.

Пробы жидких продуктов крахмало-паточного производства отбирают обычно вручную малыми порциями через определенные промежутки времени. Для отбора проб из баков, цистерн и других емкостей применяют специальный зонд, устройство которого показано на рис. 110. Он представ-

ляет собой стальную или алюминиевую трубку *1* диаметром около 25 мм, длиной, несколько большей диаметра или высоты емкости, из которой отбирается проба. Нижний конец трубки ровно отрезан и имеет небольшое коническое расширение, снабженное деревянной пробкой *2*, прикрепленной к металлическому пруту *3*, длина которого больше длины трубки на 15—20 см. При отборе проб зонд медленно погружают в продукт, при этом оба конца его должны быть открыты. Когда зонд коснется дна емкости, пробкой закрывают нижнее отверстие зонда, вынимают его и, открыв пробку, содержимое сливают в чистую сухую посуду.

Для отбора проб сравнительно чистых жидкостей (фильтраты, конденсат, слабые суспензии, барометрическая вода), протекающих по трубопроводу, используют автоматическое приспособление, состоящее из приемного сосуда, соединенного резиновым шлангом с трубкой, введенной в стенку трубы, по которой течет жидкость. На трубке установлен кран для регулирования потока отбираемой пробы.

Разовые пробы жидкостей или сыпучих продуктов тщательно перемешиваются, и из них отбирается средняя проба для анализа. Если продукт неоднороден, то проба должна быть предварительно тщательно измельчена. Для измельчения применяют фарфоровые или стальные ступки, дробилки, кофейные мельницы. Для тонкого измельчения проб применяют механические ступки, шаровые мельницы или мельницы ударного действия. Пробы картофеля истирают на ручной или механической терках. Средние пробы продуктов, подлежащих хранению в течение одних или нескольких суток, высушиваются или, если это необходимо, консервируются небольшим количеством (5—10 капель на 1 л продукта) формалина или толуола.

Подробно порядок отбора проб продуктов крахмало-паточного производства определен в соответствующих инструкциях, ГОСТах, ОСТах, технических условиях.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА

Определение содержания сухих веществ или влаги. Содержание сухих веществ в продуктах крахмало-паточного производства определяют массовым или рефрактометрическим методами.

Массовый метод основан на высушивании навески исследуемого продукта до постоянной массы. Разница, полученная до и после высушивания навески, дает величину истинного содержания влаги в продукте.

Для высушивания применяют сушильные шкафы с электрическим обогревом и терморегулятором для поддержания постоянной температуры. Он представляет собой цилиндрический корпус с изолированными стенками. Внутри цилиндра установлены три горизонтальные полки. Цилиндр плотно закрывается дверкой с поворотным запором. Сверху в корпусе цилиндра имеется отверстие для вставки термометра. На наружной поверхности камеры расположена нагревательная обмотка из специального жаростойкого сплава. Пространство между нею и наружным корпусом шкафа заполнено теплоизоляционным материалом. Под сушильной камерой на подставке расположен терморегулятор, состоящий из электромагнитного реле, кенотрона трансформатора и конденсатора. На передней стенке подставки расположены сигнальная лампа, выключатель и рукоятка терморегулятора со шкалой.

При определении влажности трудновысушиваемых продуктов (кукурузного экстракта, глютена и др.) применяют высу-

шивание с песком и стеклянной палочкой. В стаканчик помещают навеску 2—3 г исследуемого продукта, добавляют немного горячей дистиллированной воды, перемешивают палочкой и сушат в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы.

Для определения содержания сухих веществ в растворах и жидких продуктах применяют метод высушивания с бумажными роликами. При этом значительно увеличивается поверхность испарения и ускоряется процесс высушивания. Ролики готовят свертыванием полосок фильтровальной бумаги длиной 500—600 мм и шириной 10—15 мм. Ролики (обычно 3 шт.) помещают в предварительно высушенную бюксу и сушат при 105 °С в течение 2—3 ч, после чего взвешивают. Вынув ролики в бюксу, берут навеску продукта 2—3 г, добавляют небольшое количество подогретой до 40—50 °С дистиллированной воды. Затем в бюксу помещают ролики и после впитывания ими раствора сушат в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы.

Содержание сухих веществ СВ вычисляют по формуле

$$CB = (M_2 - M_1)\,100/M,$$

где M — навеска исследуемого продукта, г; M_1 — масса бюксы с высушенными роликами (или песком), г; M_2 — масса бюксы с роликами (или песком) после высушивания, г.

Иногда для оперативного контроля не требуется высокая точность анализа, но в то же время необходимо быстро получить результат. В этом случае пользуются специально разработанными методами, в которых применяется сушка навески продукта в термостате при 130—160 °С в течение определенного времени.

Рефрактометрическим методом определяют содержание сухих веществ в растворах — в патоке, а также в промежуточных продуктах паточно-глюкозного производства. Этот метод основан на зависимости между показателем преломления и плотностью исследуемого продукта.

Луч света, падая из одной среды в другую, частично отражается от ее поверхности, а частично проходит через нее. Схема отражения и преломления света при переходе из одной среды в другую представлена на рис. 111.

Углом падения α_1 называют угол, образованный падающим лучом OE и нормалью OL. Угол преломления α_2 составляют та же нормаль и луч, прошедший через преломляющую среду. При переходе луча из менее плотной среды в более плотную угол преломления меньше угла падения. Отношение синуса угла падения луча α_1 к синусу угла преломления α_2 называют показателем или коэффициентом преломления n, т. е.

$$n = \sin\alpha_1/\sin\alpha_2.$$

Величина показателя преломления растворов зависит от их концентрации, температуры и длины волны луча света, но не зависит от величины угла падения луча.

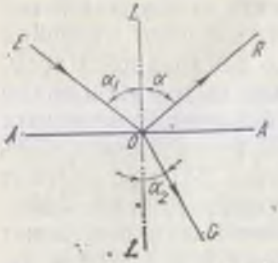


Рис. 111. Схема преломления и отражения света

Рис. 112. Полное внутреннее отражение луча

Обычно в технике определяют показатель преломления для желтого луча натриевого пламени — $n_л$. Если луч света переходит из воздуха в чистую воду, то показатель преломления ее составит 1,33298. С увеличением концентрации раствора увеличивается и показатель преломления его. Зависимость показателя преломления от температуры выражается следующим уравнением:

$$n_t = n_0 - 0{,}412573t - 0{,}051929t^2.$$

Определив показатель преломления раствора, можно определить его концентрацию.

При переходе луча света из более плотной среды с показателем преломления n в менее плотную с показателем преломления n_1 угол преломления луча α_2 будет больше угла падения луча α_1. Если увеличивать угол падения луча, то наступит момент, когда угол преломления станет равным 90°. Угол падения луча α_1, при котором преломленный луч образует угол 90°, называется предельным углом полного внутреннего отражения. Схема полного внутреннего отражения представлена на рис. 112. Если известна величина предельного угла полного внутреннего отражения α_2 и показатель преломления более плотной среды n_1, то величину n_2 можно вычислить по формуле

$$n_2 = n_1 \sin \alpha_2 / \sin \beta_1.$$

Поскольку $\beta_1 = 90°$, а $\sin \beta_1 = 1$, $n_2 = n_1 \sin \alpha_2$.

Таким образом, луч света, падающий на поверхность двух сред под углом меньше предельного угла полного внутреннего отражения, пройдет через вторую менее плотную среду, а лучи, падающие под углом больше предельного, будут отражены от поверхности раздела и через нее не пройдут.

На законах преломления и отражения светового луча основано устройство рефрактометров — приборов для определения содержания сухих веществ в растворах. В этих приборах более

плотной средой является стеклянная призма, менее плотной — испытуемый раствор.

Существует несколько типов рефрактометров. На рис. 113 показан лабораторный рефрактометр РПЛ-3. Шкала его градуирована по раствору чистой сахарозы, поэтому при определении на нем содержания сухих веществ в продуктах крахмало-паточного производства есть некоторая погрешность, однако она весьма незначительна и находится в пределах погрешности прибора.

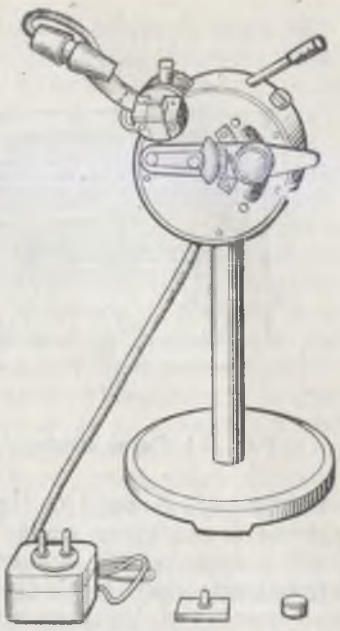


Рис. 113. Лабораторный рефрактометр РПЛ-3

Для определения сухих веществ стеклянной палочкой с оплавленным концом или пипеткой 2—3 капли исследуемого раствора наносят на нижнюю призму и закрывают ее верхней откидной призмой. При помощи осветителя свет направляют на верхнюю призму при закрытом нижнем отверстии. Если раствор сильно окрашен, то освещают нижнее отверстие при закрытом верхнем. Передвигают окуляр снизу вверх до появления в поле зрения границы света и тени. Передвижением компенсатора достигают четкости границы. Затем границу совмещают с указателем, имеющим вид круга с пунктирной линией. На левой стороне шкалы нанесены значения коэффициента преломления в пределах 1,3000—1,5400, на правой стороне — процентное содержание сухих веществ от 0 до 95.

Определение проводят при температуре 20 °С, которую поддерживают путем пропускания в течение нескольких минут воды из термостата. Если определение проведено с отклонением температуры от 20 °С, то необходимо ввести поправку к показаниям рефрактометра в соответствии с инструкцией.

Призмы рефрактометра должны содержаться в чистоте. Для этого по окончании определения их поверхность тщательно смывают водой и насухо протирают мягкой тряпочкой. Делают это очень осторожно, чтобы не повредить поверхность призм. Периодически следует проверять показания рефрактометра по дистиллированной воде при 20 °С. Если обнаружится отклонение, т. е. пунктирная линия не совпадет с нулевым показателем шкалы, то с помощью специального ключа ее устанавливают в нулевое положение.

На рефрактометрах типа РДУ (рефрактометр дисперсионный универсальный) можно определять коэффициенты преломления в более широких пределах, чем в рефрактометрах РПЛ-3, а

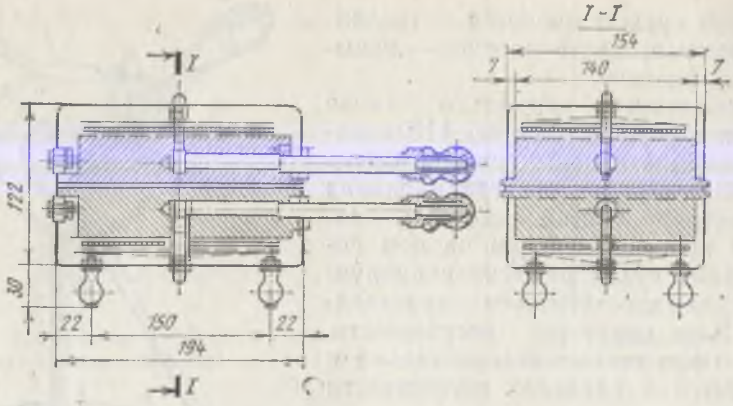


Рис. 114. Схема прибора Чижовой

именно от 1,3 до 1,7. Призмы в нем изготовлены из мягкого стекла (показатель преломления 1,75). Между ними помещают слой исследуемой жидкости толщиной 0,15 мм. Определение проводится при 20 °С путем пропускания через рубашку воды из термостата. Вращая призмы вокруг оси при помощи системы (алидады), к которой прикреплена лупа, через трубу устанавливают границу между светом и тенью. Четкость границы устанавливают компенсатором. Затем через лупу отсчитывают по шкале коэффициент преломления исследуемого раствора. Свет в призмы направляют зеркалом.

В лабораторной практике крахмало-паточных предприятий для определения сухих веществ применяют приборы К. Н. Чижовой. Схема такого прибора представлена на рис. 114. Определение влажности на нем основано на прогревании навески продукта инфракрасными (тепловыми) лучами, излучаемыми нагретым корпусом. Прибор состоит из двух массивных плит круглой или прямоугольной форм, шарнирно соединенных между собой. Материалом для плит служит обычно сплав алюминия и чугуна. В приборе имеется приспособление для изменения расстояния между плитами. Влага в нем выпаривается в тонком слое, что позволяет сократить длительность определения. Прогревание плит осуществляется электрическими нагревателями. Снаружи плиты закрыты железным кожухом, к верхней и нижней поверхностям их болтами прикреплены электронагреватели (смоляные с намотанной лентой из нихрома). В плиту до середины по центру вставлена металлическая гильза для термометра, который вкладывается таким образом, чтобы его конец доходил почти до конца канала. С наружной стороны на гильзы надеты ручки из теплоизолирующего материала. Электрообогреватели имеют два диапазона нагрева: сильный, когда оба нагревателя включены параллельно (мощность 800—1000 Вт), и слабый, когда нагреватели включены последовательно (мощность

200 Вт). Прибор снабжен специальным переключателем. Сильный нагрев включают в начале работы, когда прибор необходимо быстро разогреть, а слабый служит для поддержания необходимой температуры. Во время работы прибора необходимо строго следить за температурой. Обычно определения на нем производят в интервале 160—170 °С. Колебания температуры плит в период определения обычно составляют ±2÷5 °С. Более точно температура прибора регулируется лабораторным автотрансформатором ЛАТР-1. Расстояние между плитами перед началом работы должно быть отрегулировано так, чтобы после помещения между ними навески исследуемого продукта плиты были строго параллельны. За счет аккумулирования тяжелыми металлическими плитами тепла происходит испарение влаги.

На плитке К. Н. Чижовой определяют влажность в сухих продуктах (крахмал, декстрин, корма и др.), а также в полупродуктах производства (сырой крахмал, мезга и др.). Исследуемый продукт помещают в конвертик, сделанный из непроклеенной бумаги (например, газетной). Размер конвертика 16×16 см. Для этого квадратный лист дважды сгибают по диагонали в виде треугольников и загибают края примерно на 1,5 см. Пакетики перед определением должны быть просушены в течение 3 мин при температуре 160 °С. После охлаждения в течение 2 мин в эксикаторе их взвешивают с точностью до ±0,01 г. Затем во взвешенный пакет помещают навеску исследуемого продукта, который равномерно распределяют в пакете. Не допускается в исследуемом материале наличие комочков. Если они есть в продукте, то он предварительно должен быть измельчен. После взвешивания пакеты помещают на нижнюю плитку, закрывают верхней плиткой и устанавливают необходимый нагрев.

Величина навесок, температура, при которой происходит высушивание, и продолжительность высушивания, по данным А. Д. Максимовой, приведены в табл. 53.

По окончании высушивания пакет с навеской охлаждают в эксикаторе в течение 1—2 мин, после чего взвешивают.

Таблица 53

Продукт	Масса навески, г	Режим высушивания	
		Температура, °С	Продолжительность, мин
Сухой крахмал картофельный	5	165—170	5
Сырой крахмал картофельный	5	165—170	10
Сырая картофельная мезга	5	165—170	6
Картофельная кашка	5	165—170	6
Декстрин картофельный	5	165—170	3
Сухой крахмал кукурузный	4	160—165	5
Сухой кукурузный корм	4	160—165	4
Декстрин кукурузный	4	160—165	3

Рис. 115. Сахарометр

Влажность продукта B (в %) определяют по формуле

$$B_л = (a - b)\,100/(a - c),$$

где a — масса пакета с навеской до высушивания, г; b — масса пакета с навеской после высушивания, г; c — масса высушенного бумажного пакета, г.

Этой же формулой пользуются при расчете влажности продуктов, определенной в сушильном шкафу, только в значение c ставят значение массы пустой взвешенной бюксы.

Определение сухих веществ по относительной плотности продукта. Большую часть продуктов и полупродуктов крахмало-паточного производства представляют собою растворы или суспензии. Для быстрого определения содержания сухих веществ в них пользуются методом определения относительной плотности. Приборы для определения плотности называют ареометрами. В крахмало-паточной промышленности пользуются стеклянными ареометрами, градуированными по раствору сахарозы при 20 °С. Их называют сахарометрами. Общий вид такого сахарометра представлен на рис. 115. Концентрация сиропов или суспензий крахмало-паточного производства, определенная ареометром, называется видимой концентрацией. Ее обозначают °$С_А$. Для перевода видимой концентрации в истинное содержание сухих веществ (% СВ) для различных продуктов необходимо пользоваться специальными таблицами.

Плотность вещества D, т. е. его количество, отнесенное к единице объема, определяется по формуле

$$D = m/V,$$

где m — масса вещества, кг; V — объем вещества, м³.

В международной системе единиц плотность обозначают в кг/м³, принимая за единицу плотность вещества, 1 м³ которого имеет массу 1000 кг.

Относительная плотность d — это отношение плотности данного продукта к плотности воды при температуре 3,98 °С. Относительная плотность величина безразмерная. Ареометр состоит из расширенной нижней цилиндрической части, утяжеленной специальным грузом (обычно дробью), и верхней — тонкой стеклянной трубочки, в которую вставлена бумажная шкала, градуированная либо в величинах относительной плотности, либо в процентах содержания сахарозы.

Определение относительной плотности производят путем осторожного погружения ареометра в цилиндр с исследуемым раствором и отсчета по шкале относительной плотности. Отсчет производят либо по верхнему, либо по нижнему мениску в зависимости от калибровки ареометра. Если отсчет следует производить по верхнему мениску, на шкале ареометра должна быть соответствующая надпись. Определение рекомендуется проводить при температуре 20 °С, при которой градуирован ареометр. В случае определения относительной плотности при другой температуре необходимо ввести поправку на температуру по специальной таблице.

Определение относительной плотности пикнометром. Пикнометрический метод определения относительной плотности растворов является наиболее точным. Пикнометры представляют собой калиброванные при 20 °С сосуды различной формы и вместимости. Объемы их обычно 10, 25 и 50 мл.

Перед определением пикнометр тщательно моют, споласкивают дистиллированной водой и высушивают в сушильном шкафу. После охлаждения до 20 °С его взвешивают на аналитических весах с точностью до четвертого

знака. Затем заполняют дистиллированной водой чуть выше метки и помещают на 60 мин в водяную баню, имеющую температуру 20 °С±0,2. Обычно для этого используют термостат с электрообогревом и контактным термометром. Далее, не вынимая пикнометр из бани, излишек воды в нем осторожно удаляют кусочком фильтровальной бумаги так, чтобы горлышко выше метки было совершенно сухим. После этого пикнометр вынимают, закрывают его пробкой, тщательно вытирают снаружи и взвешивают на аналитических весах. Выливают из пикнометра дистиллированную воду, споласкивают его несколько раз исследуемым раствором и далее поступают так же, как при взвешивании воды.

Относительную плотность раствора определяют по формуле

$$d_t = (c - a)/(b - a),$$

где a — масса пустого пикнометра, г; b — масса пикнометра с дистиллированной водой, г; c — масса пикнометра с исследуемым раствором, г.

Определение крахмала и сахаров поляриметрическим методом. В лабораторной практике для определения содержания крахмала, редуцирующих сахаров в сырье, патоке, полупродуктах крахмало-паточного производства применяют главным образом поляриметрический метод. Он основан на свойстве некоторых веществ (например, сахарозы, глюкозы и др.) изменять направление световых колебаний. Такие вещества называют оптически активными. Оптическая активность веществ характеризуется величиной удельного вращения, т. е. определенным углом поворота плоскости поляризации слоем раствора, содержащего какое-либо оптически активное вещество толщиной 100 мм при концентрации его 100 г в 100 мл.

Некоторые вещества в растворе вращают плоскость поляризации вправо. Их называют правовращающими. К ним относятся сахароза, глюкоза, рафиноза и др. Вещества, вращающие плоскость поляризации влево, называют левовращающими. К ним относится, например, фруктоза.

Удельное вращение оптически активных веществ в растворах определяется по формуле

$$[\alpha]_D^{20} = 100\alpha/cl,$$

где $[\alpha]_D^{20}$ — удельное вращение, измеренное при 20 °С и при D-лучах желтого света; α — наблюдаемый угол поворота плоскости поляризации; c — концентрация оптически активного вещества в растворе, г/100 мл; l — длина трубки, или толщина слоя раствора, дм.

Удельное вращение для некоторых оптически активных веществ зависит от концентрации раствора. Ряд веществ в растворах изменяют степень своей оптической активности. Так, свежеприготовленные растворы глюкозы, мальтозы, фруктозы и других углеводов с течением времени меняют угол вращения плоскости поляризации. Это явление объясняется наличием нескольких изомерных модификаций веществ, переходящих в растворе одна в другую, и называется мутаротацией. Так, глюкоза имеет две изомерные формы: α и β. Удельное вращение α-глюкозы равно +110°, β-глюкозы +19°. Удельное вращение равновесной их смеси равно +52,5°.

При определении концентрации сахаров поляриметрическим методом растворы их должны быть чистыми, так как ряд веществ — белки, аминокислоты и другие также обладают оптической активностью. В процессе анализа их удаляют различными осадителями.

Среднее значение $[\alpha]_D^{20}$ для крахмала составляет $+200 \div +205$, сахарозы $+66{,}5$, мальтозы $+128{,}5$, глюкозы $+52{,}5$.

Для определения содержания сахаров в растворе применяют специальные приборы — поляриметры. Вначале применяли поляриметры с круговой шкалой, т. е. кругом, разделенным на 360°. По этой шкале отсчитывали угол отклонения плоскости поляризации.

Однако в крахмало-паточной промышленности пользуются поляриметрами, у которых установлена не круговая, а линейная шкала, градуированная по сахарозе. Сто делений такой шкалы соответствуют 34,58° круговой шкалы. Такие поляриметры называются сахариметрами. Удельное вращение вещества по показанию сахариметра можно рассчитывать по формуле

$$[\alpha]_D^{20} = 34{,}58n/c \cdot l,$$

где n — показание шкалы сахариметра.

Зная удельное вращение вещества и длину поляриметрической трубки, можно определить концентрацию оптически активного вещества в растворе и, наоборот, можно найти показатель удельного вращения неизвестного оптически активного вещества.

Некоторые вещества, например исландский шпат, обладают свойством превращать естественный луч, электромагнитные колебания которого происходят во всевозможных плоскостях, в поляризованный, в котором колебания происходят только в одной плоскости. Этого достигают методом двойного лучепреломления. Луч света, пройдя через кристалл исландского шпата, раздваивается, причем один луч при этом имеет коэффициент преломления 1,658, а другой 1,486. Световые колебания этих лучей при выходе из кристалла находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях. Для того чтобы из кристалла выходил только один поляризованный луч, в приборе применяют призмы Николя.

Общий вид призмы Николя и поляризация в ней луча изображены на рис. 116. Она представляет собой призму, вырезанную из естественного кристалла исландского шпата, разрезанную по плоскости *abcd* и склеенную канадским бальзамом или полимеризованным льняным маслом. Луч *SO* с большим коэффициентом преломления в кристалле, дойдя до слоя канадского бальзама, полностью отражается и поглощается зачерненной боковой поверхностью кристалла. Проходит через призму Николя только луч с меньшим коэффициентом преломления *Sh*,

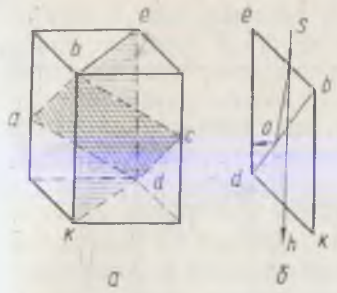


Рис. 116. Призма Николя (*а*) и поляризация в ней луча (*б*)

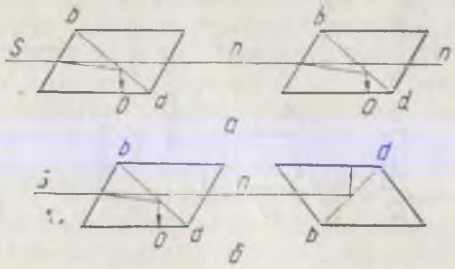


Рис. 117. Схема хода лучей при взаимнопараллельном (*а*) и взаимноперпендикулярном (*б*) расположении призм Николя

световые колебания которого совпадают с плоскостью главного сечения призмы *bedk*.

Простейший поляриметр состоит из двух последовательно расположенных призм Николя. Первая призма называется поляризатором, вторая — анализатором. Если призмы расположены так, что плоскости их главных сечений совпадают, то световые колебания лучей, выходящих из поляризатора, совпадут с колебаниями света в анализаторе и свет пройдет через него. Если же плоскости главных сечений их будут перпендикулярны, то свет через анализатор не пройдет, так как световые колебания лучей в этих призмах не будут совпадать. На рис. 117 представлена схема хода лучей при параллельном (*а*) и перпендикулярном (*б*) расположении призм Николя.

Если между поляризатором и анализатором при взаимно перпендикулярном расположении плоскостей главных сечений поместить трубку с раствором оптически активного вещества, например с сахарозой, то можно измерить угол, при котором погаснет свет, и определить величину оптической активности исследуемого вещества. Однако такие поляриметры, называемые теневыми, не нашли широкого распространения, так как глазу весьма трудно установить точный переход к полной темноте. Поэтому в практике получили применение полутеневые поляриметры. Схема такого поляриметра помещена на рис. 118. В них поляризатор состоит из двух призм Николя — большой *P* и малой *p*. Малая призма устанавливается по отношению к большой под углом 5—10° таким образом, что она закрывает собою половину большой призмы. В результате поле зрения делится на две половины. Если в такой поляриметр между поляризатором и анализатором поместить трубку с раствором оптически актив-

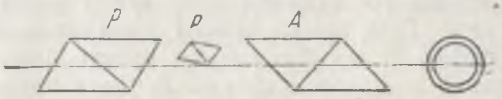


Рис. 118. Принципиальная схема полутеневого поляриметра

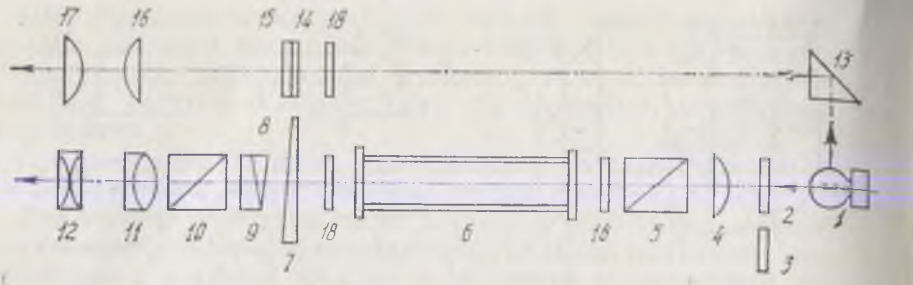


Рис. 119. Схема сахариметра с клиновой компенсацией

ного вещества, то одна половина поля получается более освещенной, чем другая. Для измерения концентрации вещества в растворе освещенность обеих половин поля зрения выравнивают. Для этого анализатор устанавливают так, чтобы плоскость его главного сечения образовала угол 90° с биссектрисой угла между плоскостями главных сечений большой и малой призм поляризатора.

Полутеневые поляриметры бывают и с тройным полем зрения. В них поляризатор состоит из трех призм Николя — одной большой и двух малых, которые закрывают два боковых сегмента поля зрения. В полутеневых поляриметрах применяют также поляризатор, состоящий из одной призмы. Для этого применяют призму Корню, которая представляет собой призму Николя, разрезанную вдоль по малой диагонали на две части. Из каждой половины вырезают клин под углом 2,5°, после чего их вновь склеивают. Таким образом, призма Корню представляет собой как бы две призмы Николя, плоскости главных сечений которых расположены под углом $\beta = 5°$. Если установить анализатор так, чтобы плоскость его главного сечения образовала угол 90° с линией, делящей пополам угол β поляризатора, обе половины поля будут освещены слабо, но с одинаковой интенсивностью.

Поляриметры-сахариметры снабжены специальной сахарной шкалой, которая рассчитана на нормальную навеску сахарозы (26,00 г в 100 мл дистиллированной воды). В этом случае при поляризации раствора сахарозы в трубке длиною 200 мм при 20 °С показание на шкале поляриметра будет равно 100°.

В лабораториях крахмало-паточных заводов применяются универсальные сахариметры СУ-3 с одинарным компенсатором, который состоит из пары кварцевых клиньев и одного стеклянного контрклина. Схема такого сахариметра показана на рис. 119. Эти сахариметры не требуют монохроматического света натриевого пламени, они могут работать при обычном белом свете. Для более четких показаний в них применяется светофильтр *3* из бихромата калия или стекла соответствующего цвета и матовое стекло *2*. Свет проходит через линзу конден-

сатора *4*, поляризатор *5*, слой исследуемого раствора *6*, кварцевые клинья *7, 8, 9* и через призму полного внутреннего отражения *13* попадает в окуляры *16* и *17*. Перемещая большой клин *7* относительно малого *9*, через окуляры *11* и *12* и анализатор *10* подбирают необходимую толщину кварцевой пластинки для компенсации угла поворота плоскости поляризации раствора и достижения одинаковой освещенности полей зрения. По шкале *14* с нониусом *15* через окуляры *16* и *17* и защитное стекло *18* производят отсчет с точностью до $\pm 0{,}1°$. Пределы измерений в сахариметре СУ-3 составляют от -40 до $+110°$. В настоящее время выпускаются фотоэлектрические сахариметры системы Кудрявцева, которые дают объективное показание содержания сахара в растворе. Компенсация вращения плоскости поляризации раствором в них производится автоматически. Поляризатором и анализатором в этих поляриметрах служат поляроиды, установленные в положение «накрест». Прибор настраивается не на полутень, а на минимум прохождения света через анализатор. В остальном схема поляриметра Кудрявцева принципиально не отличается от схемы полутеневого сахариметра.

Поляриметрические трубки бывают длиной 100, 200 и 400 мм. Трубки длиной 200 мм называют нормальными. В трубках длиной 400 мм поляризуют очень разбавленные, малоокрашенные растворы, в трубках длиной 100 мм, наоборот, — концентрированные растворы.

Поляриметры, как правило, устанавливаются в темном помещении при температуре 20 °С.

Подробно методы определения содержания крахмала, декстрозы изложены в соответствующих разделах.

Определение кислотности и pH. Все процессы производства крахмалопродуктов происходят в кислой среде. Поэтому для контроля за соблюдением технологического режима необходимо определять кислотность и величину pH как в промежуточных, так и в конечных продуктах.

Кислотность является также одним из важных показателей качества готовой продукции. Этот показатель включен в стандарты на все виды крахмалопродуктов.

Кислая среда обусловлена наличием в растворах ионов водорода, щелочная — гидроксильных ионов.

Различают титруемую кислотность и активную. Титруемой кислотностью (или щелочностью) называют кислотность или щелочность среды, когда в реакцию вступают не только ионы, но и молекулы вещества. Она определяется титрованием среды и характеризует молекулярную концентрацию кислоты или щелочи в растворе. Ее обозначают количеством 0,1 н. раствора щелочи (кислоты), пошедшей на титрование 100 г сухих веществ продукта. Однако титруемая кислотность не всегда дает полную характеристику технологического процесса. В отдельных случаях необходимо определять активную кислотность, т. е.

концентрацию в растворе свободных ионов водорода H^+. Концентрация ионов водорода определяется числом грамм-эквивалентов ионизированного водорода, находящегося в 1 л раствора. Грамм-эквивалент водорода равен 1. Для удобства пользования концентрацию водородных ионов обозначают в единицах pH, который представляет собой отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов:

$$pH = -\lg a_{н}.$$

Например, если в 1 л раствора содержится 0,1 г ионов водорода, концентрация их составит 10^{-1} г·экв. В этом случае величина pH будет равна 1. Для нейтральной среды — pH 7, pH менее 7 соответствует кислой среде, более 7 — щелочной.

В табл. 54 приведена характеристика сред при различных значениях pH и концентрации ионов водорода в интервале от 10^0 до 10^{-14}.

Таблица 54

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Реакция среды	Сильно-кислая				Слабо-кислая			Нейтральная	Слабо-щелочная			Сильно-щелочная			

В лабораториях крахмало-паточных предприятий pH определяют потенциометрическими или колориметрическими методами.

Потенциометрический метод определения pH. Этот метод основан на измерении электродвижущей силы между двумя электродами. Один электрод погружают в исследуемый раствор. Потенциал его зависит от концентрации водородных ионов в нем. Такими электродами могут служить водородно-платиновый, сурьмяный, стеклянный или хингидронный. Второй электрод имеет известный постоянный потенциал. Обычно в качестве второго электрода в приборах используют каломельный или хлорсеребряный.

Промышленные потенциометры выпускаются со шкалами либо в милливольтах, либо в единицах pH. Поскольку продукты крахмало-паточного производства имеют в основном кислую реакцию, при определении pH применяют элементы, состоящие из хингидронного и каломельного электродов. Если при определении температура раствора отличается от 20 °С, показатель электропроводности λ_t необходимо пересчитать на λ_{20} по следующей формуле:

$$\lambda_{20} = \lambda_t/[1 + 0{,}02135\,(t - 20)].$$

В pH-метрах имеется автоматическая или ручная компенсация влияния температуры на величину электропроводности. Они снабжены также ламповым усилителем тока, позволяющим производить измерения ЭДС от 0 до 1300 В или pH соответственно от 0 до 13.

Перед началом работы прибор следует настроить с помощью контрольного буферного раствора. Буферный раствор готовят путем смешивания растворов одно- и двухзамещенного фосфатов калия (9,073 г в 1 л раствора однозамещенного фосфата калия и 11,867 г в 1 л двузамещенного фосфата калия). pH этой смеси равен 6,8.

Наиболее совершенными потенциометрами, выпускаемыми отечественной промышленностью, широко применяемыми в лабораторной практике, являются ЛПУ-01 и pH 340. Подробно правила эксплуатации и использования этих приборов изложены в заводской инструкции, прилагаемой к прибору.

Колориметрический метод определения pH. Этот метод основан на свойстве индикаторов изменять окраску раствора в зависимости от концентрации водородных ионов. Индикаторы представляют собой слабые кислоты или щелочи, ионы которых имеют иную окраску, чем их недиссоциированная форма. Степень диссоциации зависит от концентрации водородных ионов и выражается формулой

$$[H^+] = K(1 - A)/A,$$

где K — константа диссоциации; A — степень диссоциации индикатора.

Если молекулы индикатора бесцветны, а ионы окрашены, то интенсивность окраски раствора возрастает пропорционально степени диссоциации индикатора и при полной его диссоциации достигнет максимума. Поэтому величина степени диссоциации индикатора в вышеприведенной формуле может быть заменена величиной степени интенсивности окраски, т. е.

$$[H^+] = K(1 - F)/F,$$

где K — коэффициент пропорциональности.

Это свойство индикаторов позволяет определять pH колориметрическим методом. Для этого готовят стандартную колориметрическую шкалу pH из смесей слабых кислот (или оснований) и их солей. Такие растворы называются буферными. Они сохраняют постоянное значение pH. Однако этот метод сложен и, как правило, в крахмало-паточной промышленности не применяется.

В лабораторной практике чаще применяют безбуферные методы определения pH с использованием одноцветных индикаторов. Например, в аппарате Михаэлиса используют следующие индикаторы: β-динитрофенол с интервалом pH 2,2—4,0; α-динитрофенол — 2,8—4,5; γ-динитрофенол — 4,0—5,5; *п*-нитрофенол — 5,2—7,0; *м*-нитрофенол — 6,7—8,4. Однако все эти индикаторы дают желтое окрашивание, из-за чего определение pH паточных и глюкозных сиропов по Михаэлису затруднительно, так как они также имеют желтую окраску.

Определение содержания золы. Золой называют минеральный остаток вещества после его сжигания и прокаливания в определенных условиях. При простом сжигании и прокаливании навески продукта получают сырую или углекислую золу. В процессе сжигания улетучивается углекислота, получающаяся при окислении бо́льшей части органических веществ. Соли органических веществ переходят в карбонаты. В сырой золе содер-

жится также некоторое количество несгоревшего углерода и кремнезем. Если из массы сырой золы вычесть углекислоту, песок и уголь, то получится чистая зола.

В лабораториях обычно определяют сырую золу. Этот показатель включен в ГОСТы и технические условия почти на все виды крахмалопродуктов.

Во избежание улетучивания хлористых соединений щелочных металлов, серы, фосфора и других веществ определение сырой золы проводят в два этапа. Сначала навеску осторожно озоляют над пламенем горелки, а затем прокаливают в муфельной печи. При озолении обычно добавляют различные окислители или разрыхлители, например несколько капель растительного масла.

Определение содержания золы проводят следующим образом. Навеску исследуемого продукта (5—10 г) взвешивают в предварительно прокаленном до постоянной массы тигле, добавляют несколько капель чистого растительного масла и осторожно проводят обугливание на электроплитке или газовой горелке. После того как вспучивание прекратится, тигель помещают в муфельную печь, разогретую до температуры 600—650 °С. Прокаливание проводят до полного озоления, после чего тигель с золой охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Последующие прокаливания по 30 мин каждое повторяют, пока разница между двумя последовательными взвешиваниями не будет более 0,0005 г. Содержание золы $З$ (в % на сухое вещество продукта) вычисляют по формуле

$$З = B \cdot 100 \cdot 100 / a A,$$

где B — масса сухого остатка золы, г; a — навеска исследуемого вещества, г; A — содержание сухих веществ в продукте, %.

Определение содержания жира. Контроль за содержанием жира осуществляют в конечных и промежуточных продуктах кукурузокрахмального производства. Обычно определяют содержание «сырого жира», т. е. нелетучих веществ, извлекаемых из навески продукта растворителем. К таким нелетучим веществам относятся свободные жирные кислоты, фосфатиды и др. Чаще всего в качестве растворителя применяют этиловый эфир, который предварительно просушивают хлористым кальцием. Во избежание образования перекисных соединений хранить эфир следует в темном месте.

Исследуемый продукт высушивают при 60 °С (лучше под вакуумом). Затем его тонко измельчают таким образом, чтобы на сите с отверстиями 0,5 мм не оставалось остатка. Навески вязких, мажущихся продуктов (например, глютена) перед высушиванием смешивают с чистым прокаленным песком.

Величины навесок в граммах для основных продуктов кукурузокрахмального производства приведены ниже.

Крахмал	15—20	Корма, мезга, глютен	5—8
Зерно кукурузы	8—10	Жмых	5—8
Кашка кукурузная	8—10	Зародыш	2—5

Метод Соксле. Отвешивают навеску исследуемого продукта в пакетик из фильтровальной бумаги, помещают его на большое часовое стекло и сушат 2 ч в сушильном шкафу при 60 °С. Затем помещают навеску в пакетике в экстрактор *2* аппарата Соксле, представленный на рис. 120. Пакетик должен быть на 5—10 мм ниже верхнего колена сифона *4*. В чистую, высушенную при 105 °С и взвешенную колбу *1* наливают чистый безводный эфир в количестве примерно в 1,5 раза больше объема экстрактора. Колбу соединяют с экстрактором, который присоединяют к холодильнику *5*. Все части прибора должны быть соединены плотно, чтобы исключить утечку эфира. Затем, пустив воду в холодильник, колбу аппарата помещают в водяную баню. Пары эфира по трубке *3* попадают в холодильник, конденсируются и капают в экстрактор на пакет с навеской. Эфир растворяет жир, содержащийся в навеске, и через верхнее колено сифона *4* снова переливается в колбу *1*. Экстрагирование ведут в течение 8—10 ч и заканчивают его, когда капля эфира из экстрактора не дает жирного пятна на кусочке фильтровальной бумаги. После этого пакетик с навеской из экстрактора удаляют, а находящийся в колбе эфир отгоняют, присоединив колбу к холодильнику и нагревая до 50—60 °С. Колбу с оставшимся жиром высушивают до удаления запаха эфира при температуре 70 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Рис. 120. Аппарат Соксле для определения жира

Содержание жира в продукте X (в % к сухому веществу) рассчитывают по формуле

$$X = b \cdot 100 \cdot 100/[a(100 - W)],$$

где a — навеска исследуемого продукта, г; b — масса остатка жира после экстракции, г; W — влажность исследуемого продукта, %.

Определение жира в жидких продуктах. В жидких продуктах содержание жира определяют следующим образом. 10 мл жидкости, в которой предварительно определена относительная плотность, помещают в мерный цилиндр с притертой пробкой вместимостью 100 мл, добавляют туда 2 мл 10%-ного раствора аммиака и 10 мл 96%-ного этилового спирта. Содержимое тщательно перемешивают встряхиванием. Затем приливают 25 мл этилового эфира, взбалтывают 3—5 мин, добавляют 25 мл петролейного эфира, снова хорошо перемешивают и ставят для отстаивания до ясно выраженного раздела слоев. После этого замеряют объем эфирного слоя, сливают 40 мл его во взвешенную фарфоровую чашку и на водяной бане выпаривают из нее эфир. Оставшийся в чашке сырой жир высушивают в сушильном шкафу при 100 °С в течение 1 ч.

Чашку охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Содержание жира X (в %) определяют по формуле

$$X = 0{,}25bV/d,$$

где b — масса жира после высушивания, г; V — общий объем эфирного слоя, мл; d — относительная плотность исследуемой жидкости.

Рефрактометрический метод. Этот метод в настоящее время является самым быстрым. На его проведение затрачивается не более 30 мин, поэтому его целесообразно применять для оперативного контроля.

По этому методу тщательно измельченную пробу продукта высушивают при 130 °С в течение 30—40 мин. 5 г ее помещают в тарированную фарфоровую чашку с шероховатым дном. Приготовляют растворитель, состоящий из смеси α-бромнафталина — 26 % и машинного масла — 74 %. Отвешивают 6—7 г растворителя в тарированном цилиндре вместимостью 10 мл и переносят в чашку с навеской исследуемого продукта. По разности между массой цилиндра с растворителем и после его освобождения устанавливают точную массу растворителя. В чашку добавляют 2 г промытого и прокаленного мелкозернистого кварцевого песка. Чашку устанавливают на водяную баню для подогрева смеси, одновременно тщательно растирают пестиком в течение 5 мин. После растирания содержимое ступки с помощью пестика переносят на бумажный складчатый фильтр, фильтрат перемешивают стеклянной палочкой и рефрактометрируют при 20 °С. Также отдельно рефрактометрируют растворитель и кукурузное масло. Содержание жира X (в % на сухое вещество) определяют по формуле

$$X = g_1 d/d_1 g\,(n_1 - n_2)/(n_2 - n_3),$$

где g_1 — масса растворителя, г; d и d_1 — относительная плотность соответственно кукурузного масла (0,923) и растворителя (1,041); g — навеска исследуемого продукта, г; n_1, n_2 и n_3 — показатели преломления соответственно растворителя (1,5393), исследуемого продукта и кукурузного масла (1,4760).

При изменении качества перерабатываемой кукурузы, а также при замене порции растворителя показатели преломления и относительной плотности должны уточняться.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

Схема контроля сырого крахмала. В процессе производства сырого картофельного крахмала контролируются состав исходного сырья — картофеля, получаемого полуфабриката — сырого крахмала, а также всех промежуточных продуктов и отходов производства.

Перечень продуктов и определяемых показателей, периодичность определений и места отбора проб приведены в табл. 55.

Контроль качества картофеля. Определение загрязненности картофеля. Загрязненность картофеля определяют либо на тарелочных весах грузоподъемностью не более

Таблица 55

Продукт	Определяемый показатель	Норматив, %	Количество определений в смену
Картофель, поступающий в производство	Загрязненность	—	1
	Содержание крахмала	—	1
	Содержание мороженых клубней	—	1
	Содержание гнилых клубней	—	1
Вода после мойки	Содержание крахмала	—	1
	Содержание дробленого картофеля	—	1
Кашка после измельчения	Коэффициент измельчения	Не ниже 90—93	1
	Содержание общего крахмала	—	1
	Содержание связанного крахмала	—	1
Кашка, поступающая на центрифугу соковыделения	Содержание сухих веществ	18—22	1
Кашка после центрифуги соковыделения	Содержание сухих веществ	35—40	1
Картофельный сок	Концентрация	5—6	1
	Содержание крахмала	0,08—0,10	1
Мезга	Влажность	90	1
	Содержание связанного крахмала	40—42	1
	Содержание свободного крахмала	3—4	1
Крахмальное молоко на осадочные центрифуги	Концентрация	3—5	3
Крахмальное молоко, поступающее на станцию размывки	»	6—8	3
Крахмальное молоко после станции размывки	Концентрация	36—38	3
	Содержание мезги	0,1	1
Крахмальное молоко на механическое обезвоживание			
на центрифугу	Концентрация	36—38	3
на вакуум-фильтр	Концентрация	27—28	3
Сырой крахмал	Влажность	40	1

20 кг, либо на весах Парова. Весы Парова, общий вид которых представлен на рис. 121, имеют неравноплечное коромысло, на коротком плече которого находятся большой подвижной груз для уравновешивания и сережка для подвешивания корзин. Весы снабжены двумя проволочными корзинами и одной корзиной со сплошными стенками. Две используют при определении содержания крахмала в картофеле, третью — при определении загрязненности его.

Длинная часть коромысла представляет две параллельные линейки с передвижными гирями. Передняя линейка снабжена

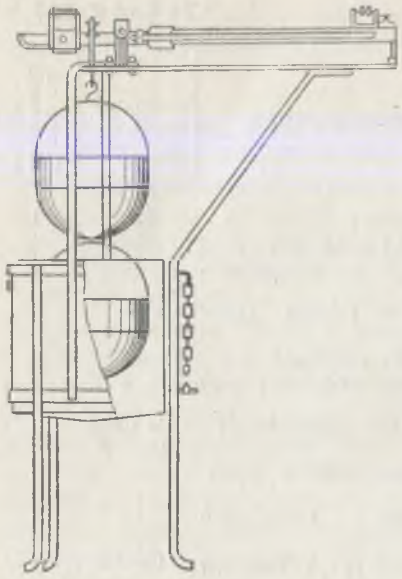


Рис. 121. Весы Парова

малой гирей, она градуирована по содержанию крахмала с точностью до 0,1 %. Кроме того, она служит для отвешивания картофеля в воде. Задняя линейка снабжена большой гирей с встроенной внутрь передвижной линеечкой. Она градуирована в процентах загрязненности — от 0 до 60.

Для определения загрязненности навеску картофеля 5 кг пересыпают в бачок со сплошными стенками, который подвешивают на короткое плечо коромысла. Затем малую гирю весов отводят до упора влево, задвигают внутрь до упора передвижную линейку на большой гире весов и фиксируют ее в таком положении винтом. Большую гирю передвигают на нулевое деление, соответствующее 5 кг, так чтобы острие имеющегося на ней штифта указателя точно бы попало в углубление. Затем взвешенный картофель пересыпают в ведро с водой и отмывают его от грязи. Вымытый картофель высыпают на противень с сетчатым дном на 2—3 мин, чтобы с клубней стекла вода. Затем пересыпают картофель в тот же бачок, подвешивают его к весам и передвижением большой гири на коромысле уравновешивают весы. Отсчет загрязненности производят по шкале задней линейки. К показанию шкалы добавляют поправку на приставшую к клубням воду (1 %).

Можно также определять загрязненность картофеля и на обычных чашечных весах грузоподъемностью не более 20 кг. Для этого взвешивают пробу картофеля, затем отмывают ее от грязи, дают стечь воде и вновь взвешивают. В процессе мойки часть воды прилипает к клубням, поэтому из массы отмытого картофеля вычитают 1 % и рассчитывают содержание $Г$ (в %) по следующей формуле:

$$Г = (А - Б)\,100/А,$$

где $А$ — масса загрязненного картофеля, г; $Б$ — масса мытого картофеля за вычетом 1 % массы приставшей к клубням воды, г.

При наличии на полу емкости, в которой поступил картофель земли, определяют ее массу и вычисляют в процентах к массе партии картофеля. Таким образом, определяют содержание свободной примеси в картофеле. Сумма свободной при-

меси и загрязненности, определенной на весах, составляет общую загрязненность картофеля.

Определение крахмалистости картофеля. Крахмалистость картофеля определяют либо на весах Парова, либо поляриметрическим методом Эверса.

а) Определение крахмалистости на весах Парова. В верхнюю проволочную корзину весов отвешивают 5,0 кг сухого и чистого или 5,05 кг отмытого необсушенного картофеля. Весы уравновешивают. Затем коромысло весов закрывают, а картофель пересыпают в нижнюю корзину, после чего ее осторожно погружают в воду так, чтобы вытесняемая вода стекала ровной струей. После стока избыточной воды большую гирю передвигают до упора влево, выдвигают передвижную линейку вправо до конца и закрепляют ее. Затем весы уравновешивают передвижной малой гирей вправо и отмечают деление, на котором остановится указатель, находящийся с правой стороны гири или внутри нее в специально вырезанном прямоугольном отверстии. Точность определения крахмалистости на весах Парова 0,1 %. Весы калиброваны на температуру воды в бачке 17,5 °С. При отклонении от этой температуры вносится поправка в соответствии с табл. 56.

Таблица 56

Температура воды при взвешивании, °С														
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
К показанию весов прибавить											От показания весов отнять			
0,27	0,26	0,25	0,23	0,20	0,17	0,15	0,12	0,09	0,06	0,02	0,02	0,08	0,10	0,12

б) Определение крахмалистости поляриметрическим методом Эверса. Методом Эверса определяют крахмалистость картофеля в том случае, если перерабатывается гнилой или подмороженный картофель. Весы Парова для такого картофеля дают большую погрешность, и применять их нельзя. Для определения по Эверсу каждый клубень пробы измельчают наполовину, кашку тщательно перемешивают и берут из нее навеску 5,0 г, которую переносят в мерную колбу на 100 мл. В колбу добавляют 50 мл соляной кислоты концентрацией 1,124 % и помещают ее в кипящую водяную баню ровно на 15 мин. В течение первых 3 мин содержимое колбы слегка взбалтывают. По прошествии 15 мин колбу вынимают, добавляют в нее воду до общего объема примерно 80—90 мл и охлаждают до 20 °С. Затем добавляют 0,5—2,0 мл 4%-ного раствора фосфорно-вольфрамовой кислоты, или 0,5—1,0 мл 1%-ного раствора пикриновой кислоты, или по 1 мл 30%-ного раствора сернокислого цинка и 15%-ного раствора желтой кровяной соли.

После осаждения белков колбу доливают до метки, тщательно взбалтывают и фильтруют. Первые порции фильтрата сливают, затем фильтрат поляризуют в трубке длиной 200 мм.

Так как в картофеле, особенно в подмороженном, содержится некоторое количество оптически активных веществ, в показания поляриметра вводят поправку. Для этого 10 г кашки переносят в мерную колбу на 100 млн, добавляют примерно 75 мл воды и при частом перемешивании оставляют на 30 мин. Затем добавляют 5 мл 10%-ного раствора танина. Содержимое колбы перемешивают, добавляют 5 мл свинцового уксуса и доливают до метки насыщенным раствором сернокислого натрия. После перемешивания содержимое колбы фильтруют. Берут 50 мл фильтрата, помещают в колбу на 10 мл, добавляют 2,5 мл 25%-ной HCl и помещают на 15 мин в кипящую водяную баню. Затем колбу охлаждают, добавляют один из вышеуказанных осадителей белков, доливают до метки, взбалтывают и фильтруют. Фильтрат поляризуют в 200-миллиметровой трубке. Разность между первым и вторым показателями поляриметра умножают на коэффициент 1,78 и получают содержание крахмала в картофеле в процентах.

При анализе свежего картофеля поправку на растворимые сахара можно не учитывать.

Определение содержания гнилого картофеля. Из пробы картофеля массой 5—6 кг выбирают явно загнившие клубни и взвешивают их. Массу загнивших клубней выражают в процентах к массе картофеля:

$$X = m \cdot 100/M,$$

где m — масса загнивших клубней, г; M — масса пробы картофеля, г.

Из оставшихся клубней пробы без выбора разрезают 25 %. Если клубни окажутся здоровыми, то количество гнилого картофеля принимают равным X. Если при разрезании клубней обнаружены кольцевая гниль или железистая пятнистость, то разрезают все оставшиеся клубни и определяют массу больных клубней. Содержание гнилого картофеля рассчитывают по формуле

$$X_2 = (m + m_1)\,100/M,$$

где m_1 — масса больных клубней, кг.

Определение содержания мороженого картофеля. Взвешивают пробу картофеля массой 5—6 кг, отбирают из нее мороженые клубни и взвешивают их. Содержание мороженых клубней выражают в процентах к массе клубней в пробе, так же как и при определении содержания гнилого картофеля.

Моечная станция. Определение содержания крахмала и дробленого картофеля в моечной воде.

Определенный объем моечной воды пропускают через саржевое сито № 120. Остаток на сите промывают водой, моечную и

промывную воды смешивают вместе и отстаивают в течение 4 ч. Затем воду сливают, а осадок без потерь переносят в предварительно взвешенный химический стакан. Массу осадка определяют по разности между массой стакана с осадком и массой пустого. Затем осадок тщательно перемешивают и берут навеску 20 г. Содержание крахмала в осадке определяют по Эверсу так же, как в картофеле. Содержание крахмала X_3 (в %) в моечной воде определяют по следующей формуле:

$$X_3 = 0{,}445\, MP/V\, 1000,$$

где 0,445 — коэффициент, учитывающий навеску осадка и переводной коэффициент поляризации; M — масса осадка, г; V — объем общей пробы моечной воды, л; P — показание поляриметра, °.

Из массы, оставшейся на сите при процеживании пробы моечной воды, выбирают и взвешивают кусочки картофеля. Массу их выражают в процентах к массе моечной воды.

Станция измельчения картофеля. Контроль за работой станции измельчения картофеля осуществляют по показателю коэффициента измельчения, т. е. по отношению содержания в кашке свободного крахмала к общему его содержанию. Коэффициент измельчения определяют либо поляриметрически, либо методом отстаивания свободного крахмала.

Общее содержание крахмала в кашке определяют по Эверсу. Для определения содержания свободного крахмала 10 г кашки тщательно промывают на капроновом сите № 67, после чего ее без потерь переносят в мерную колбу на 100 мл. Далее определение ведут так же, как и определение общего крахмала, только показания поляриметра делят на 2. Таким образом, определяют связанный крахмал, а содержание свободного крахмала равно разности между общим и связанным крахмалом.

Коэффициент измельчения рассчитывают по формуле

$$K_{изм} = K_1 \cdot 100/K,$$

где K_1 — содержание свободного крахмала в кашке, %; K — содержание общего крахмала в кашке, %.

Содержание свободного крахмала в кашке можно определять методом отстаивания. Для этого 100 г кашки промывают на капроновом сите № 67 до отсутствия в промывной воде следов крахмала. Все промывные воды собирают в стеклянную посуду, дают отстояться в течение нескольких часов. Затем осадок крахмала без потерь переносят в мерный цилиндр на 100 мл и вновь дают осадку отстояться. Замеряют объем осадка в миллилитрах и, умножив его на коэффициент 0,6, получают количество свободного абсолютно сухого крахмала в процентах к массе кашки.

Станция соковыделения. Работа станции соковыделения контролируется по показателям содержания сухих веществ в кашке до и после центрифуги, а также по плотности и содержанию крахмала в картофельном соке.

Содержание сухих веществ в кашке определяют высушиванием навески в сушильном шкафу до постоянной массы или на плитке Чижовой.

По первому методу навеску кашки 3—4 г, отвешенную в предварительно высушенной бюксе, помещают в сушильный шкаф и подсушивают до воздушно-сухого состояния при 60 °С, затем температуру увеличивают до 105 °С и сушат до постоянной массы. Содержание сухих веществ рассчитывают в процентах к массе исходной кашки.

На плитке Чижовой высушивание проводят при 165—170 °С в течение 6 мин по методике, описанной выше. Содержание сухих веществ в кашке рассчитывают в процентах к массе кашки. Этот метод определения дает погрешность ±0,5 %.

Определение содержания сухих веществ в картофельном соке. В картофельном соке определяют содержание видимых сухих веществ ареометрическим или рефрактометрическим методами.

а) Ареометрический метод. Тщательно перемешанный картофельный сок заливают в цилиндр высотой примерно 300 мм. Дают некоторое время отстояться и удаляют выделившуюся пену. Затем осторожно, не касаясь стенок, погружают ареометр. Отсчет производят по нижнему или верхнему мениску в зависимости от градуировки ареометра.

б) Рефрактометрический метод. Более точным методом определения сухих веществ является рефрактометрический. Пробу картофельного сока после перемешивания отстаивают, снимают пену и осторожно помещают 2—3 капли между призмами рефрактометра. Определение можно проводить с использованием лабораторного или прецизионного рефрактометра. Если определение проводят на лабораторном рефрактометре, то показания, снятые по шкале прибора, соответствуют содержанию видимых сухих веществ в картофельном соке. Определение проводят при 20 °С. В случае отклонения температуры от 20 °С вводят поправку согласно инструкции.

Определение крахмала в картофельном соке. 2—3 л сока отстаивают в течение 3—4 ч, сливают осветленную жидкость, а осадок переносят без потерь в мерный цилиндр и вновь дают отстояться крахмалу. В цилиндр добавляют 2—3 капли серной кислоты; в этом случае граница осадка крахмала будет более резкой. Можно осадок отфуговать в градуированных пробирках на лабораторной центрифуге. 1 мл осевшего крахмала соответствует 0,6 г абсолютно сухого крахмала. Содержание X (в %) крахмала в картофельном соке рассчитывают по формуле

$$X = B_1 \cdot 0{,}6 / B_2 \cdot 10,$$

где B_1 — объем осевшего крахмала, мл; B_2 — объем картофельного сока, взятого на анализ, л.

Ситовые аппараты. Работа ситовой станции контролируется по содержанию сухих веществ, общего, свободного и связанного крахмала в мезге. Содержание сухих веществ в мезге определяют высушиванием в сушильном шкафу или на плитке Чижовой, так же как при анализе кашки.

Общий крахмал в мезге определяют поляриметрически по Эверсу. Так как в мезге почти нет редуцирующих сахаров, поправку на растворимые сахара не производят. Количество крахмала X (в процентах на сухое вещество) рассчитывают по формуле

$$X = P \cdot 178/B,$$

где P — показание поляриметра, град; B — содержание сухих веществ в мезге, %.

Содержание связанного крахмала в мезге определяют следующим образом. Навеску мезги 10 г промывают на капроновом сите № 67 до полного удаления свободного крахмала. Промытую мезгу переносят в мерную колбу на 100 мл с помощью 50 мл соляной кислоты концентрацией 1,124 % и ведут определение по Эверсу. Показания поляриметра делят на 2. Содержание связанного крахмала также рассчитывают в процентах на сухое вещество. Содержание свободного крахмала в мезге вычисляют по разности между содержанием общего и связанного крахмала или определяют отмыванием 100 г мезги на капроновом сите № 67.

Промывные воды отстаивают или отфуговывают в пробирках с делениями, замеряют объем осевшего крахмала и пересчитывают его количество в процентах на абсолютно сухое вещество.

Станция выделения крахмала. После выделения мезги на ситовых аппаратах крахмальное молоко сгущают на осадительных центрифугах. Контроль на этой станции осуществляют за концентрацией крахмального молока до и после центрифуги и за содержанием крахмала в соковой воде. Концентрацию крахмального молока определяют ареометром-сахарометром, показания которого переводят в объемные или массовые проценты по специальным таблицам.

Определение содержания крахмала в соковой воде производят так же, как в картофельном соке методом отстаивания.

Станция размывки. Концентрацию крахмального молока до и после размывки определяют ареометром-сахарометром, а содержание сухих веществ в объемных или массовых процентах — по специальным таблицам.

Определение содержания мезги в размытом крахмальном молоке. 1 л крахмального молока процеживают через капроновое сито № 64. Мезгу на сите промывают до тех пор, пока промывная вода не будет совершенно прозрачной. Затем без потерь переносят ее в доведенную до постоянной массы и взвешенную бюксу и сушат в сушильном

Содержание сухих веществ в кашке определяют высушиванием навески в сушильном шкафу до постоянной массы или на плитке Чижовой.

По первому методу навеску кашки 3—4 г, отвешенную в предварительно высушенной бюксе, помещают в сушильный шкаф и подсушивают до воздушно-сухого состояния при 60 °С, затем температуру увеличивают до 105 °С и сушат до постоянной массы. Содержание сухих веществ рассчитывают в процентах к массе исходной кашки.

На плитке Чижовой высушивание проводят при 165—170 °С в течение 6 мин по методике, описанной выше. Содержание сухих веществ в кашке рассчитывают в процентах к массе кашки. Этот метод определения дает погрешность ±0,5 %.

Определение содержания сухих веществ в картофельном соке. В картофельном соке определяют содержание видимых сухих веществ ареометрическим или рефрактометрическим методами.

а) Ареометрический метод. Тщательно перемешанный картофельный сок заливают в цилиндр высотой примерно 300 мм. Дают некоторое время отстояться и удаляют выделившуюся пену. Затем осторожно, не касаясь стенок, погружают ареометр. Отсчет производят по нижнему или верхнему мениску в зависимости от градуировки ареометра.

б) Рефрактометрический метод. Более точным методом определения сухих веществ является рефрактометрический. Пробу картофельного сока после перемешивания отстаивают, снимают пену и осторожно помещают 2—3 капли между призмами рефрактометра. Определение можно проводить с использованием лабораторного или прецизионного рефрактометра. Если определение проводят на лабораторном рефрактометре, то показания, снятые по шкале прибора, соответствуют содержанию видимых сухих веществ в картофельном соке. Определение проводят при 20 °С. В случае отклонения температуры от 20 °С вводят поправку согласно инструкции.

Определение крахмала в картофельном соке. 2—3 л сока отстаивают в течение 3—4 ч, сливают осветленную жидкость, а осадок переносят без потерь в мерный цилиндр и вновь дают отстояться крахмалу. В цилиндр добавляют 2—3 капли серной кислоты; в этом случае граница осадка крахмала будет более резкой. Можно осадок отфуговать в градуированных пробирках на лабораторной центрифуге. 1 мл осевшего крахмала соответствует 0,6 г абсолютно сухого крахмала. Содержание X (в %) крахмала в картофельном соке рассчитывают по формуле

$$X = B_1 \cdot 0{,}6/B_2 \cdot 10,$$

где B_1 — объем осевшего крахмала, мл; B_2 — объем картофельного сока, взятого на анализ, л.

Ситовые аппараты. Работа ситовой станции контролируется по содержанию сухих веществ, общего, свободного и связанного крахмала в мезге. Содержание сухих веществ в мезге определяют высушиванием в сушильном шкафу или на плитке Чижовой, так же как при анализе кашки.

Общий крахмал в мезге определяют поляриметрически по Эверсу. Так как в мезге почти нет редуцирующих сахаров, поправку на растворимые сахара не производят. Количество крахмала X (в процентах на сухое вещество) рассчитывают по формуле

$$X = P \cdot 178/B,$$

где P — показание поляриметра, град; B — содержание сухих веществ в мезге, %.

Содержание связанного крахмала в мезге определяют следующим образом. Навеску мезги 10 г промывают на капроновом сите № 67 до полного удаления свободного крахмала. Промытую мезгу переносят в мерную колбу на 100 мл с помощью 50 мл соляной кислоты концентрацией 1,124 % и ведут определение по Эверсу. Показания поляриметра делят на 2. Содержание связанного крахмала также рассчитывают в процентах на сухое вещество. Содержание свободного крахмала в мезге вычисляют по разности между содержанием общего и связанного крахмала или определяют отмыванием 100 г мезги на капроновом сите № 67.

Промывные воды отстаивают или отфуговывают в пробирках с делениями, замеряют объем осевшего крахмала и пересчитывают его количество в процентах на абсолютно сухое вещество.

Станция выделения крахмала. После выделения мезги на ситовых аппаратах крахмальное молоко сгущают на осадительных центрифугах. Контроль на этой станции осуществляют за концентрацией крахмального молока до и после центрифуги и за содержанием крахмала в соковой воде. Концентрацию крахмального молока определяют ареометром-сахарометром, показания которого переводят в объемные или массовые проценты по специальным таблицам.

Определение содержания крахмала в соковой воде производят так же, как в картофельном соке методом отстаивания.

Станция размывки. Концентрацию крахмального молока до и после размывки определяют ареометром-сахарометром, а содержание сухих веществ в объемных или массовых процентах — по специальным таблицам.

Определение содержания мезги в размытом крахмальном молоке. 1 л крахмального молока процеживают через капроновое сито № 64. Мезгу на сите промывают до тех пор, пока промывная вода не будет совершенно прозрачной. Затем без потерь переносят ее в доведенную до постоянной массы и взвешенную бюксу и сушат в сушильном

постоянной массы тигель, сначала подсушивают, а затем прокаливают в муфельной печи при 600—650 °С до постоянной массы. Содержание золы (песка), нерастворимой в 10%-ной HCl, X (в % на сухое вещество крахмала) вычисляют по формуле

$$X = (M_1 - M)\,5 \cdot 100/100 - A,$$

где M — масса тигля, г; M_1 — масса тигля с золой (песком), г; A — влажность крахмала, %.

Определение количества крапин в крахмале. Количество крапин подсчитывается визуально на площади поверхности крахмала, равной 1 дм². 50 г крахмала тщательно перемешивают и высыпают на лист белой бумаги или стекло. На поверхность крахмала кладут стеклянную пластинку с нанесенными на ней клетками площадью 1 см² каждая. Пробу крахмала слегка придавливают стеклом и считают крапины в трех клетках в разных местах пластинки. Затем крахмал перемешивают и повторяют подсчет крапин не менее 5 раз. Среднее арифметическое число крапин на 1 см² поверхности умножают на 100 и получают количество крапин, приходящееся на 1 дм² поверхности крахмала.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА

Контроль производства кукурузного крахмала начинается с определения качества зерна, поступающего в производство. Пробы зерна для анализа отбирают от каждой парти, поступающей на предприятие.

Разовые пробы из двухосных вагонов отбирают вагонным щупом в 5 точках поверхности насыпи зерна: в четырех углах вагона на расстоянии 50—75 см от стенок и посредине вагона. В четырехосных вагонах разовые пробы отбирают в 11 точках поверхности насыпи зерна. Общая масса разовых проб, отбираемых из двухосного вагона, около 2 кг, из четырехосного — около 4,5 кг.

Разовые пробы зерна из силосов и закромов отбирают из падающей струи в процессе выпуска зерна механическим пробоотборником или специальным ковшом путем пересечения струи продукта через равные промежутки времени. Общая масса разовых проб должна быть не менее 0,1 кг на каждую тонну перемещаемого зерна.

Разовые пробы зерна, поступающего на замачивание, отбирают специальным приспособлением под автоматическими весами или вручную из струи при засыпке зерна в чан. Разовые пробы замоченного зерна отбирают равными порциями в процессе выработки чана. Из разовых проб составляют среднюю пробу. Все пробы должны храниться в плотно закрывающейся посуде.

Схема контроля производства сырого кукурузного крахмала сернистокислотным способом приведена в табл. 57

Таблица 57

Продукт	Определяемый показатель	Нормативный показатель	Количество определений в смену
Сернистая кислота на заливку в замочные чаны	Содержание, %	0,2—0,3	2
Кукуруза на замачивание	Влажность, %	—	1
	Сорная примесь, %, не более	0,5	1
	Зерновая примесь, %	—	1
	Всхожесть, %, не менее	55	1
	Крахмал, %	—	1
	Протеин, %	—	1
	Жир, %	—	1
Замочная вода	Температура, °С	48—52	2
	Концентрация СВ, %	—	2
	Концентрация, %	—	2
Замоченная кукуруза	Влажность, %	40—42	Из каждого чана
	Растворимые вещества, %, не более	2,5	
Экстракт жидкий	Концентрация СВ, %, не менее	7,0	То же
Кашка после первого дробления	Целые зерна, %, не более	1,0	3
Кашка после второго дробления	Связанный зародыш, %, не более	0,3	2
Продукт на гидроциклон	Концентрация СВ, %	I стадия 12—13 II стадия 13—15 Контрольная стадия 13—15	
Кашка перед измельчением	Консистенция, мл/л	420—500	2
Измельченная кашка	Связанный крахмал, %, не более	20	1
Крупная мезга промытая	Крахмал свободный, %, не более	1,5	1
Мелкая мезга промытая	Крахмал свободный, %, не более	4,5	1
Крахмальное молоко после рафинирования	Остаток на капроновом сите № 73, г/л, не более	0,15	1
	Содержание сернистого ангидрида, %	0,02—0,03	1
	Концентрация СВ, %, не менее	9,0	4
Продукт, поступающий на сепараторы-разделители	Концентрация СВ, %	I стадия 11—13 II стадия 14—16 III стадия 17—18 IV стадия 17—18	4

Продолжение

Продукт	Определяемый показатель	Нормативный показатель	Количество определений в смену
Верхний сход с сепараторов-разделителей	Концентрация СВ, %	—	4
Нижний сход с последней стадии сепараторов-разделителей	Протеин, %	Не более 0,8	1
Сгущенный глютен	Концентрация СВ, %	5—8	4
	Крахмал, %, не более	20,0	1
Осветленная вода	Взвешенные вещества, %, не более	0,12	1
Крахмальное молоко на вакуум-фильтры	Концентрация СВ, %	28—32	2
Сырой крахмал после последней стадии промывания	Растворимые вещества, %, не более	0,1	1
	Кислотность, мл, 0,1 н. р-ра NaOH на 100 г СВ, не более	25	1
	Протеин, %, не более	0,8	1
Фильтрат с вакуум-фильтров	Концентрация СВ, %, не более	0,2	2
Вода на промывание и разведение крахмала	Температура, °С	60—70	2

Качество кукурузного зерна. Определение сорной и зерновой примесей. К сорной примеси относят проход, полученный при просеивании 100 г зерна через сито с отверстиями диаметром 2,5 мм. Проход через сито взвешивают и рассчитывают в процентах к массе зерна.

К зерновой примеси относят поврежденные зерна кукурузы, проходящие через сито с отверстиями диаметром 4,5 мм, битые, недоразвитые щуплые зерна, проросшие зерна, зерна с поврежденным эндоспермом. Количество их определяют взвешиванием и рассчитывают в процентах к массе зерна.

Определение всхожести. Всхожесть определяют в чашках Петри в термостате или в специально оборудованной комнате в течение 7 сут при температуре 20—30 °С. В качестве подстилки в чашках Петри применяют кварцевый песок, белую фильтровальную бумагу, марлю. Песок должен быть предварительно тщательно отмыт, высушен, просеян через сита с отверстиями диаметром 1 и 0,5 мм. Используют фракцию, прошедшую через сито с отверстиями размером 1 мм, но оставшуюся на сите с отверстиями размером 0,5 мм. Перед использованием песок прокаливают. При повторном использовании песка необходимо вновь тщательно его промыть, просеять и прокалить. Марлю перед употреблением стерилизуют кипячением.

Подстилку увлажняют водой комнатной температуры непосредственно перед закладкой зерен. Марля и фильтровальная

бумага увлажняются путем опускания в сосуд с водой, а песок — примерно до 80 %. Толщина подстилки в чашке должна быть равна $^2/_3$ ее высоты.

Из средней пробы зерна отсчитывают подряд 4 пробы по 50 шт. в каждой. Размещают их равномерно в чашках Петри на расстоянии не менее 0,5—1,5 см друг от друга, на глубину, примерно равную их толщине. Чашки помещают в термостат при температуре 20—30 °С. Подстилку периодически увлажняют из пульверизатора или леечки с мелким ситом. Через 7 сут подсчитывают количество семян, имеющих нормально развитые корешки размером не менее длины зерна. Всхожесть выражают в процентах к взятому для проращивания числу зерен.

Определение влажности зерна. Для определения влажности зерна пробу измельчают на лабораторной мельнице и хранят в закрытых банках. Влажность зерна определяют либо высушиванием навески в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы, либо высушиванием в течение 40 мин при 130 °С.

Определение содержания крахмала в зерне. Содержание крахмала в зерне определяют поляриметрически по Эверсу с поправкой на растворимые сахара так же, как и в картофельной кашке. Переводной коэффициент показателя поляризации в крахмал для продуктов кукурузокрахмального производства составляет 1, 879.

Определение содержания жира. Навеску тонкоизмельченного зерна в количестве 10 г помещают в пакетик из фильтровальной бумаги и на часовом стекле подсушивают в сушильном шкафу в течение 2 ч. Затем пакетик помещают в экстрактор аппарата Сокспе таким образом, чтобы он был ниже на 5—10 мм верхнего сифона. Далее определение проводят по методике, описанной выше.

Определение содержания азотистых веществ. Азотистые вещества в зерне кукурузы представлены белками, аминокислотами и их амидами, солями аммиака, азотной и азотистой кислот. О содержании азотистых веществ судят по количеству общего азота, умноженному на 6,25, исходя из того, что в белках в среднем содержится 16 % азота.

Наиболее точным методом определения общего азота является метод Кьельдаля. Он основан на окислении органических веществ серной кислотой при нагревании в присутствии катализаторов (ртуть, $CuSO_4$, CuO и др.). Из серной кислоты выделяется серный ангидрид SO_3, который в свою очередь распадается на сернистый ангидрид SO_2 и кислород. При этом органические вещества окисляются до CO_2, H_2O и NH_3. Выделившийся аммиак вступает в реакцию с серной кислотой и образует сульфат аммония.

Образующиеся при окислении органических соединений углекислота и вода, а также SO_2 улетучиваются, а сульфат аммония остается в растворе. Для количественного определения связан-

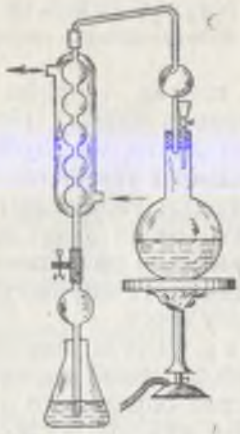


Рис. 122. Прибор для отгонки аммиака

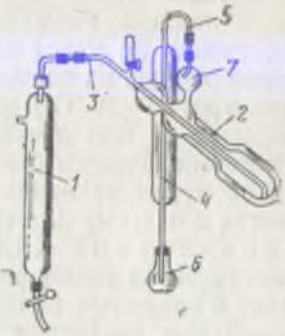


Рис. 123. Установка для определения азота микрометодом

ного кислотой аммиака в колбу после окончания сжигания материала прибавляют раствор гидроксида натрия до щелочной реакции и при кипячении разлагают сернокислый аммоний. Аммиак отводят в точно отмеренное количество титрованного раствора кислоты, при этом он вновь образует аммонийную соль. Далее оттитровывают избыток кислоты щелочью и по разности определяют количество аммиака, которое пересчитывают на азот.

Техника определения сводится к следующему. Навеску измельченной кукурузы в количестве около 2 г взвешивают в пробирке на аналитических весах. Затем осторожно переносят в колбу Кьельдаля вместимостью 500—750 мл так, чтобы часть навески не попала на горло колбы. Пробирку снова взвешивают, и по разности определяют точно величину навески. В колбу Кьельдаля добавляют 15—20 мл концентрированной H_2SO_4, около 0,5 г окиси меди или другого катализатора и закрывают ее грушеобразной стеклянной пробкой. Смесь сначала обугливают на медленном огне, затем нагрев усиливают и сжигают до тех пор, пока раствор не станет прозрачным светло-зеленого цвета. После этого колбу охлаждают и содержимое ее (200—250 мл дистиллированной воды) переводят в перегонную колбу вместимостью 750 мл. Подсоединяют колбу к холодильнику прибора для отгонки аммиака (рис. 122). Нижний конец трубки опускают в коническую колбу, в которую предварительно налито 50 мл 0,1 н. раствора серной кислоты и 2—3 капли раствора индикатора. В качестве индикатора может быть использован метиловый красный, метиловый оранжевый или комбинированный (0,2 г метилового красного и 0,1 г метилового синего в 200 мл 96%-ного спирта). Все части прибора плотно соединяют

во избежание потерь аммиака. В колбу добавляют немного пемзы или талька для спокойного кипения, затем вливают 40%-ный раствор гидроксида натрия из расчета 35—40 мл на 10 мл взятой для сжигания серной кислоты и тотчас плотно закрывают пробку. Отгонку ведут через каплеуловитель, чтобы избежать попадания кипящей щелочной жидкости в приемник. Конец отгонки проверяют по лакмусовой бумажке. В конце отгонки отводную трубку от холодильника приподнимают так, чтобы она была над уровнем кислоты. Наружную часть трубки споласкивают дистиллированной водой. Избыток серной кислоты в приемник оттитровывают 0,1 н. раствором гидроксида натрия. 1 мл нейтрализованной отогнанным аммиаком кислоты соответствует 0,0014 г азота. Содержание белка N (в % к сухим веществам продукта) определяют по формуле

$$N = \frac{(a-б)\,0{,}0014 \cdot 6{,}25 \cdot 100 \cdot 100}{P\,(100-W)} = \frac{87{,}5\,(a-б)}{P\,(100-W)},$$

где a — количество 0,1 н. кислоты, взятой в приемник, мл; $б$ — количество 0,1 н. щелочи, пошедшей на титрование, мл; W — влажность исследуемого продукта, %; P — навеска исследуемого продукта, г; 6,25 — коэффициент пересчета азота на белок.

Определение общего азота микрометодом. Для определения очень малых количеств азота (например, 0,5—5 мг) можно применять микрометод. Для этого берут навеску продукта примерно 0,2 г, взвешенную на аналитических весах. Помещают ее в колбу Кьельдаля вместимостью 100 мл, добавляют 0,02 г CuO или другого катализатора и 5 мл концентрированной серной кислоты. По окончании сжигания содержимое переносят в мерную колбу на 100 мл и доводят ее до метки дистиллированной водой. Отгонку аммиака производят на установке, показанной на рис. 123. Она состоит из основного сосуда *2*, холодильника *4*, приемной колбы *6*, парообразователя и сосуда для стока отработанной пробы. В колбу *6* из микробюретки помещают 2 мл 0,1 н. раствора серной кислоты, разбавляют ее 10 мл дистиллированной воды и соединяют с холодильником так, чтобы конец трубки был опущен в кислоту.

25 мл раствора из сожженной навески через воронку на трубке вливают в сосуд *2*, добавляют 1—2 капли индикатора, воронку осторожно споласкивают 5 мл дистиллированной воды, после чего вливают 5—6 мл 30%-ного раствора гидроксида натрия и закрывают кран воронки. Затем в сосуд *2* подают пар осторожным отвинчиванием зажима после парообразователя. Паросборник *1* должен быть предварительно пропарен при открытом нижнем зажиме. Парообразователем служит круглодонная колба, закрытая пробкой с двумя отверстиями. В колбу заливают воду, добавляют в нее небольшое количество фосфорной кислоты для связывания случайных примесей аммиака. Через одно отверстие в пробке колба соединяется с паросборником *1*, во второе отверстие вставляется вертикальная трубка длиной

25—30 см. Сосуд *2* соединен с холодильником *4* через каплеуловитель *7* и форштос *5* из тугоплавкого стекла. Жидкость в двустенном сосуде быстро нагревается и закипает. Отгонку заканчивают через 10—15 мин. За 5 мин до окончания трубку холодильника поднимают над уровнем кислоты. Затем споласкивают ее снаружи небольшим количеством воды и из микробюретки оттитровывают избыток кислоты 0,05 н. раствором гидроксида натрия при смешанном индикаторе. Расчет ведут аналогично макрометоду Кьельдаля.

Процесс замачивания зерна. Контроль процесса замачивания зерна осуществляют по влажности и содержанию растворимых веществ в замоченном зерне, концентрации замочной воды и содержанию в ней сернистого ангидрида.

Определение влажности замоченного зерна. Определение производят высушиванием навески в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы по методике, описанной выше.

Определение содержания растворимых веществ в замоченном зерне. Определение проводят следующим образом. 100 г измельченного зерна помещают в колбу на 250 мл, добавляют в нее 155 мл 25%-ного раствора сернистой кислоты и плотно закрывают пробкой. Содержимое в колбе взбалтывают в течение 30 мин, после чего фильтруют. 50 мл фильтрата упаривают в фарфоровой чашке на водяной бане, затем остаток в ней высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы. Содержание растворимых веществ P (в % на сухое вещество) рассчитывают по формуле

$$P = a(155 + W)\,100/50\,(100 - W),$$

где a — масса сухого остатка после высушивания 50 мл. фильтрата, г; W — влажность замоченного зерна, %.

Определение концентрации замочной воды. Определение производят ареометром в °C_A при температуре 20 °С. Если измерение проводят при другой температуре, то к показаниям ареометра вводят поправку согласно специальной таблице.

Определение содержания сернистого ангидрида SO_2. Определение производят иодометрически. Для этого 10 мл замочной воды титруют 0.02 н. раствором иода. В качестве индикатора добавляют 1 мл 1%-ного раствора крахмала. При появлении слабо-синего окрашивания добавляют несколько капель соляной кислоты, разбавленной 1 : 5, и продолжают титровать до устойчивого синего окрашивания. 1 мл 0,02 н. раствора иода соответствует 0,00064 г SO_2. Количество SO_2 в 100 мл замочной воды определяют по формуле

$$SO_2 = 0{,}0064a,$$

где a — число мл 0,02 н. раствора иода, пошедшее на титрование 10 мл замочной воды.

Станция дробления зерна. Контроль работы станции дробления ведут по содержанию целых зерен в дробленой кашке, а также связанного и дробленого зародыша.

Эти показатели определяют следующим образом. Пробу кашки после дробилок промывают водой на сите с отверстиями диаметром 1,6 мм, дают воде стечь, отвешивают 100 г продукта, высыпают на доску и пинцетом отбирают целые зерна кукурузы, связанный и дробленый зародыш. Отобранные фракции взвешивают на технических весах. Результаты дают количество указанных продуктов в процентах к массе кашки.

Станция выделения зародыша. Работу станции выделения зародыша контролируют по содержанию сухих веществ в кашке и SO_2 в молоке после отцеживания на сите с отверстиями диаметром 1,5 мм продукта, поступающего на станцию. Помимо этого определяют количество кашки и пелевы в выделенном зародыше. Для этого из 100 г зародыша отбирают кашку и пелеву и результат выражают в процентах к массе кашки.

Станция тонкого измельчения кашки. Контролируется консистенция кашки до измельчения, степень помола и содержание связанного крахмала в ней после измельчения.

Определение консистенции кашки. В воронку Бюхнера № 3—4 на плотно пригнанную фильтровальную ткань наливают 100—150 мл воды и подсоединяют ее к вакууму. После того как вода отфильтруется, колбу отсоединяют, выливают из нее воду и споласкивают. 500 мл хорошо размешанной кашки выливают в воронку, подключают ее к разрежению и быстро отфильтровывают жидкость. Первые мутные порции фильтрата вновь возвращают на воронку. Фильтрацию заканчивают через 30—40 мин после того как прекратится поступление жидкости в колбу. Отключают вакуум, фильтрат выливают в мерный цилиндр и определяют его объем. Консистенцию K (в мл сырой кашки, содержащейся в 1 л продукта) рассчитывают по формуле

$$K = 1000 - 2A,$$

где A — количество фильтрата, полученного при фильтрации 500 мл кашки.

Определение степени помола кашки. Из средних проб отмеряют по 0,5 л кашки до и после измельчения. Каждую пробу тщательно перемешивают, затем процеживают через сито с отверстиями диаметром 0,75 мм и промывают до полной прозрачности воды, стекающей с сита. Затем пробы фильтруют на воронке Бюхнера и каждую отдельно взвешивают. Степень помола $C_п$ (в %) рассчитывают по формуле

$$C_п = б \cdot 100/а,$$

где $а$ — масса промытой кашки, поступившей на измельчение, г; $б$ — разность между массой промытой кашки, поступившей на измельчение, и массой кашки после измельчения, г.

Станция промывания и обезвоживания зародыша, крупной и мелкой мезги. В промытых мезге и зародыше определяются содержание общего, свободного и связанного крахмала. В пробе определяют общий крахмал по Эверсу без поправки на растворимые сахара. Связанный крахмал в промытой на шелковом сите № 64 навеске (для промывки берут 10 г мезги, а показатель поляризации делят на 2) определяют также по Эверсу. Свободный крахмал рассчитывают по разности между общим и связанным.

Концентрация жидких сходов после промывки зародыша определяется ареометром.

Станция рафинирования суспензии. Контроль за работой станции рафинирования крахмального молока осуществляют по концентрации поступающей на рафинирование суспензии и содержанию мелкой мезги в рафинированном молоке.

Концентрацию молока определяют ареометром.

Анализ на содержание мелкой мезги в рафинированном молоке проводят следующим образом. 500 мл крахмального молока процеживают через шелковое сито № 64 или капроновое № 71. Остаток мезги на сите промывают большим количеством воды до полной отмывки свободного крахмала. Промытый остаток легкой струей воды из промывалки смывают в центр сита, накрывают тарированной фарфоровой чашкой № 2, затем сито аккуратно переворачивают и приставшую к нему мезгу небольшим количеством воды легко смывают в чашку. Содержимое выпаривают на водяной бане досуха и высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при 105—110 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Масса остатка, полученная после взвешивания и умноженная на 2, дает количество мезги в граммах на 1 л крахмального молока.

Станция разделения крахмало-белковой суспензии и промывания крахмала. Разделение крахмало-белковых суспензий осуществляется в несколько ступеней на сепараторных станциях. В продуктах, поступающих на станцию и сходящих с нее, определяют концентрации с помощью ареометра.

Контроль качества разделения ведут по содержанию протеина в густом сходе после последней ступени сепараторов и крахмала в глютене.

Содержание протеина в густом сходе после последней ступени сепараторов определяют по Кьельдалю или микрометодом. Для сжигания берут навеску суспензии соответственно 10 и 1 г и ведут определение, как описано выше.

Содержание крахмала в глютене определяют по Эверсу.

В крахмале после промывки определяют содержание растворимых веществ. Для этого пробу крахмального молока разводят дистиллированной водой до содержания 15 % СВ, тщательно перемешивают и замеряют концентрацию ареометром с точ-

ностью до 0,1. Затем суспензию наливают в колбу примерно на $^3/_4$ объема, взбалтывают содержимое в течение 15 мин, после чего фильтруют. 50 мл фильтрата в тарированной фарфоровой чашке выпаривают на водяной бане и сушат до постоянной массы. Содержание растворимых веществ P (в % к сухим веществам крахмала) рассчитывают по формуле

$$P = 2a(100/CB - 1),$$

где a — масса сухого остатка после выпаривания 50 мл фильтрата, г; CB — содержание сухих веществ в крахмальном молоке, %.

В глютеновой воде (верхнем сходе глютеновых сепараторов) определяют общее содержание сухих веществ. Для этого 50 мл глютеновой воды досуха выпаривают на водяной бане и высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы. Умножив результат на 2, получают содержание сухих веществ в процентах.

Растворимые сухие вещества в глютеновой воде определяют так же, как в крахмальном молоке. Взвешенные сухие вещества находят по разности между общим содержанием сухих веществ и растворимыми.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА СУХОГО КРАХМАЛА

В средних пробах крахмала с центрифуг или вакуум-фильтров определяют влажность и кислотность по методикам, описанным выше.

Согласно ГОСТу в сухом кукурузном крахмале определяют цвет, запах, влажность, зольность, количество крапин, кислотность, содержание SO_2, свободные минеральные кислоты, протеин. Методики исследований сухого крахмала предусмотрены ГОСТ. «Крахмал, методы исследований». Цвет, влажность, зольность, количество крапин, кислотность кукурузного крахмала определяют аналогично картофельному крахмалу.

Для определения содержания протеина в сухом кукурузном крахмале применяют метод Кьельдаля.

Содержание SO_2 в крахмале определяют объемным методом. Для этого берут 50 г крахмала, помещают его в колбу на 250 мл, дистиллированной водой доводят до $^3/_4$ объема колбы. Колбу закрывают пробкой и ставят на 2 ч при частом перемешивании. Затем доливают водой до метки, перемешивают и фильтруют. В коническую колбу берут 50 мл фильтрата, добавляют 25 мл нормального раствора гидроксида калия, закрывают колбу пробкой и оставляют стоять 15 мин. После этого добавляют в колбу 10 мл серной кислоты, разведенной 1 : 3, 1 мл 1%-ного раствора крахмала и титруют 0,02 н. раствором иода. Заканчивают титрование при появлении синего

окрашивания, не исчезающего при взбалтывании. Содержание SO_2 высчитывают по формуле

$$SO_2 = 640\,бК/а,$$

где $а$ — навеска крахмала, г; $б$ — количество миллилитров 0,02 н. раствора иода, пошедшего на титрование фильтрата; $К$ — поправочный коэффициент 0,02 н. раствора иода.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ

Схемой контроля производства сухих кукурузных кормов предусмотрено определение влажности и растворимых веществ в продуктах, поступающих в кормовой цех, т. е. в глютене, глютеновом фильтрате, крупной и мелкой мезге. В экстракте определяются также содержание протеина, золы, жира и SO_2. Методы определения этих показателей описаны выше.

В средних пробах сухого кукурузного корма определяют влажность, кислотность, степень помола, содержание протеина, золы, а также содержание песка и металломагнитных примесей.

Влажность корма определяют методом высушивания навески в количестве 5—6 г в сушильном шкафу до постоянной массы при 105 °С или в течение 40 мин при 130 °С. Содержание влаги рассчитывают в процентах к массе продукта.

Степень помола определяют просеиванием 1 кг корма через сито с отверстиями размером 10 мм. При этом на сите не должно быть остатка.

Кислотность кормов определяют следующим образом. 25 г сухого размолотого корма помещают в коническую колбу вместимостью 500 мл. Доливают 250 мл нейтральной воды, закрывают пробкой, взбалтывают в течение 10 мин, а затем периодически через 3—4 мин в течение 35 мин. После этого фильтруют через бумажный фильтр. 25 мл фильтрата титруют 0,1 н. раствором щелочи при индикаторе фенолфталеине. Кислотность корма выражают числом мл 0,1 н. раствора щелочи, необходимого для нейтрализации свободной кислоты, содержащейся в 100 г сухого вещества корма. Расчет ведут по формуле

$$К = V \cdot 100 \cdot 100/2{,}5\,(100 - W),$$

где V — количество миллилитров 0,1 н. раствора щелочи, пошедшего на титрование 25 мл фильтрата; W — влажность корма, %.

Содержание металломагнитных примесей определяют путем улавливания магнитом металлических частиц из 1 кг корма, распределенного тонким слоем на гладкой поверхности. Примесь снимают с магнита, осторожно очищают от приставших мелких частиц корма и взвешивают. Содержание металломагнитных примесей выражают в миллиграммах на 1 кг сухого корма.

Содержание золы, протеина в корме определяют по методикам, описанным выше.

По схеме контроля производства кукурузного масла анализируют исходное сырье, т. е. сухой кукурузный зародыш и готовую продукцию — нерафинированное кукурузное масло.

В средних пробах зародыша определяют влажность, содержание дробленого, горелого зародыша, пелевы, эндосперма и жира.

В измельченном зародыше после вальцев определяют также степень помола. Для этого 100 г зародыша просеивают через сито с отверстиями диаметром 1,5 и 1,0 мм. Остатки на каждом сите взвешивают. Если на первом сите остаток не превышает 15 %, а на втором — 35 %, то помол считают хорошим.

В готовом нерафинированном масле в среднесменных пробах определяют цвет, запах, прозрачность, кислотное число, отстой. В среднемесячных пробах определяют влагу и летучие вещества, иодное число, число омыления, неомыляемые вещества, фосфатиды, показатель рефракции.

Цвет, запах и прозрачность масла определяют при температуре около 20 °С. Для определения запаха масло наносят тонким слоем на стеклянную пластинку или растирают на тыльной поверхности руки. Для определения цвета масло наливают в стакан слоем не менее 50 мм и рассматривают его в проходящем и отраженном свете на белом фоне. При испытании устанавливают цвет и оттенок масла.

Для определения прозрачности 100 мл масла наливают в цилиндр и оставляют в покое при температуре 20 °С на 24 ч. После отстаивания масло должно быть прозрачным, не иметь мути и хлопьев при рассмотрении в проходящем и отраженном свете на белом фоне.

Определение кислотного числа. Кислотное число показывает число миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г масла. Пробу испытуемого масла хорошо перемешивают и профильтровывают. Затем в коническую колбу на технических весах отвешивают 3—5 г масла, приливают 50 мл нейтрализованной по фенолфталеину смеси одной части этилового спирта и 2—3 частей этилового эфира. Смесь взбалтывают, масло при этом должно полностью раствориться. Раствор быстро титруют 0,1 н. раствором гидроксида калия или натрия при индикаторе фенолфталеине до слабо-розовой окраски, устойчивой в течение 30 с. Кислотное число рассчитывают по формуле

$$К.\ ч. = 5{,}611aK/б,$$

где a — количество миллилитров 0,1 н. раствора щелочи, израсходованного на титрование; K — поправочный коэффициент раствора щелочи; $б$ — навеска масла, г.

Определение отстоя. Из тщательно перемешанной пробы масла берут 100 мл в цилиндр с притертой пробкой с

делениями по 0,5 мл и оставляют отстаиваться в течение 48 ч при комнатной температуре. Затем замеряют объем плотного отстоя и выражают его в объемных процентах.

Содержание влаги и летучих веществ в масле определяют высушиванием навески масла в сушильном шкафу до постоянной массы.

Определение иодного числа. Иодное число — это количество иода в граммах, химически соединяющееся со 100 г масла. Для определения иодного числа навеску масла 0,25 г помещают в коническую колбу с притертой пробкой вместимостью 500 мл. Добавляют сначала 10 мл хлороформа или тетрахлорметана и растворяют жир, а затем 25 мл иодно-ртутного раствора*. Колбу закрывают пробкой, смоченной в 10%-ном растворе иодистого калия. Смесь осторожно перемешивают и, если она прозрачна, ставят в темное место на 20—24 ч при 20 °С. Если смесь не прозрачна, то добавляют еще тетрахлорметан, а если она по прошествии 30 мин обесцветится, то в нее следует добавить такое же количество иодно-ртутного раствора. Одновременно ставят контрольный опыт (без масла). После настаивания в колбу с маслом добавляют 10 мл 1%-ного раствора иодистого калия; при этом не должно быть выпадения красного осадка иодистой ртути. В противном случае его следует растворить дополнительным количеством иодистого калия. Такое же количество раствора добавляют в колбу с контрольным опытом.

Далее в обе колбы добавляют по 100 мл дистиллированной воды, взбалтывают и титруют 0,1 н. раствором гипосульфита до появления слабо-желтой окраски, затем добавляют 1 мл 1%-ного раствора крахмала и титруют до исчезновения синей окраски.

Иодное число рассчитывают по формуле

$$И.\ ч. = (а - б)\,0{,}01269\,100/В,$$

где $а$ — количество 0,1 н. раствора гипосульфита, пошедшего на титрование контрольной пробы, мл; $б$ — количество этого раствора, израсходованного на титрование пробы с испытуемым маслом, мл: $В$ — навеска масла, г; 0,01269 — титр 0,1 н. раствора гипосульфита.

Определение числа омыления. Число омыления масла — это количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации свободных и связанных органических жирных кислот, содержащихся в 1 г масла.

Число омыления определяют следующим образом. Навеску масла 2—3 г, взятую на аналитических весах, и 25 мл 0,5 н. спиртового раствора гидроксида калия помещают в коническую колбу вместимостью 200 мл, подключают к обратному холодильнику и ставят на 1 ч в кипящую водяную баню. Затем в мыль-

* Смесь равных объемов растворов: 30 г хлорной ртути в 500 мл 96%-ного этилового спирта и 25 г иода в 500 мл 96%-ного этилового спирта. Растворы смешивают за 48 ч до начала определения.

ный раствор добавляют 10—12 капель фенолфталеина и титруют 0,5 н. раствором соляной кислоты до исчезновения розовой окраски. Одновременно ставят контрольный опыт без масла. Число омыления высчитывают по формуле

$$Ч.\ о. = (а - б)\,28{,}055/В,$$

где $а$ — количество 0,5 н. раствора соляной кислоты, пошедшего на титрование в контрольном опыте, мл; $б$ — количество 0,5 н. раствора HCl, пошедшего на титрование масла, мл; $В$ — навеска масла, г.

Определение коэффициента рефракции (показателя преломления). Этот показатель характеризует степень окисления масла и его чистоту. Показатель преломления определяют рефрактометром РЛУ при температуре 20 °С по методике, описанной выше.

В жмыхе после второго прессования определяют содержание жира методом Сокле (см. соответствующий раздел).

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРАКТА

Качество экстракта определяется показателями: содержанием сухих веществ, азота, золы, свободного сернистого ангидрида, кислотностью и др. Все эти показатели определяются по методикам, описанным выше.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ПАТОКИ

Схема контроля паточного производства приведена в табл. 58.

Таблица 58

Продукт	Определяемый показатель	Нормативный показатель	Количество определений
Крахмальное молоко на гидролиз	Температура, °С		От каждого мерника
	Концентрация, %		
	Протеин, %		В среднесуточной пробе
	Зола, %		В среднемесячной пробе
	Жир, %		То же
	Остаток мезги на шелковом сите № 64, %		В среднесуточной пробе
Гидролизат крахмала кислый	Иодная проба		От каждого конвертора
Гидролизат крахмала нейтрализованный	Полнота нейтрализации		От каждого нейтрализатора
	pH		То же
	Редуцирующие вещества, %		»
	Кислотность, мл 0,1 н. NaOH		»
Жидкий сироп после механической фильтрации	Концентрация, %		2 раза в смену
	pH		

Продолжение табл. 58.

Продукт	Определяемый показатель	Нормативный показатель	Количество определений
Жидкий сироп после очистки активным углем	pH		То же
	Концентрация, %		»
Густой сироп	Концентрация, %		6 раз в смену
Сироп после контрольной фильтрации	Прозрачность		10 раз в смену
Патока из вакуум-аппарата	Концентрация, %		От каждого аппарата
	Редуцирующие вещества, %		То же
	pH		
Патока (готовая продукция)	Цветность	По эталону 3—6	От каждой отгруженной партии
	Прозрачность	Органолептически	
	Сухие вещества, pH	Не ниже 4	То же
	Редуцирующие вещества, %	38—42	»
	Кислотность, мл н. NaOH	0,1 Не выше 12	»
	Зола, %	0,4—0,45	»
	Температура карамельной пробы, °С	145	
	Протеин, %		Из среднемесячной пробы
Жидкие промои	Концентрация, %		В среднесменной пробе
	Кислотность, мл 0,1 н. NaOH		
Фильтрационный осадок	Влажность, %	Не более 70	От каждого отгружаемого сборника
	Сухие вещества патоки, %	Не более 15	
	Зола, %		В среднемесячной пробе
Салфетомоечные воды	Сухие вещества патоки, %	0,25	4 раза в смену
Барометрическая вода	Сухие вещества патоки, %	0,01	»
	Температура, °С	40	«
Конденсаты соковые	Сухие вещества патоки, %	Не более 0,05	»

Определение качества крахмальной суспензии производят по показателям концентрации, кислотности, содержания протеина, растворимых веществ, мезги, жира и золы. Методы определения этих показателей описаны выше.

Определение содержания редуцирующих веществ (РВ) в сиропе колориметрическим методом. Метод основан на иодно-крахмальной реакции. Методика определения описана в гл. «Технология получения крахмальной патоки».

Более точные результаты могут быть получены при сравнении окраски пробирки с испытуемым сиропом с эталоном, т. е. пробиркой, в которую добавлен сироп с содержанием 40—42 % РВ. Обычно такой эталон находится на рабочем месте конверторщика.

Поляриметрический метод определения РВ в сиропах. Среднюю пробу сиропа разбавляют дистиллированной водой до концентрации примерно 28 %. После тщательного размешивания раствор оставляют стоять 5—10 мин до исчезновения пузырьков воздуха. Сахарометром с ценой деления 0,1° при 20 °С точно замеряют концентрацию раствора. Этот раствор называют основным. Затем в чистый сухой стаканчик вносят пипеткой 25 мл дистиллированной воды; при этом остатки воды на кончике пипетки вытесняют нагреванием пипетки рукой, закрыв верхнее отверстие пальцем. Этой же пипеткой без споласкивания отмеряют 25 мл приготовленного раствора сиропа и вносят его в стаканчик с водой. Пипетку споласкивают, двукратно засасывая полученный раствор и снова опуская его в стакан. При этом раствор сиропа будет разбавлен ровно в 2 раза. Полученный раствор перемешивают, фильтруют и поляризуют в 100-миллиметровой трубке. Содержание редуцирующих веществ РВ в пересечете на глюкозу вычисляют по формуле

$$PB = 129{,}59 - 42{,}25\,(P/CB\,d),$$

где P — показание поляриметра, град; CB — содержание сухих веществ в основном растворе, %; d — удельная масса основного раствора.

Определение кислотности паточных сиропов. 50 мл сиропа титруют 0,1 н. раствором NaOH при индикаторе фенолфталеине до устойчивой розовой окраски. Кислотность сиропа K (в мл на 100 г сухих веществ) вычисляют по формуле

$$K = V \cdot 2 \cdot 100/CB\,d,$$

где V — объем 0,1 н. раствора NaOH, пошедшего на титрование, мл; CB — содержание сухих веществ в сиропе, %; d — удельная масса сиропа.

Определение pH сиропов. pH сиропов со всех станций технологического процесса определяется потенциометром или колориметрически. Методика определения описана выше в соответствующих главах.

Контроль качества патоки. Для определения редуцирующих веществ в патоке готовят основной раствор ее, содержащий 50 г патоки, в мерной колбе на 250 мл.

Поляриметрический метод определения РВ в патоке. Основной раствор после тщательного перемешивания поляризуют в трубке сахариметра длиной 100 мм. Показание сахариметра P_x в пересчете на сухое вещество патоки вычисляют по формуле

$$P_x = P_0 \cdot 100/A,$$

где P_0 — показание сахариметра; A — содержание сухих веществ в патоке, %.

По величине P_x в приложении 5 находят содержание редуцирующих веществ в патоке в процентах на сухое вещество.

КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ГЛЮКОЗЫ

В глюкозном производстве контролю подвергаются процессы осахаривания крахмала, нейтрализации, очистки, уваривания сиропов, кристаллизации глюкозы, а также качества вырабатываемой глюкозы.

Процесс осахаривания крахмала контролируют по спиртовой пробе. Для этого в пробирку помещают 2—3 капли 96 %-ного этилового спирта и добавляют к нему 2—3 капли осахаренного профильтрованного сиропа, взятого из конвертора. Если смесь прозрачна, то сироп содержит не менее 75 % редуцирующих веществ. Для накопления максимального количества редуцирующих веществ сироп после получения спиртовой пробы выдерживают в конверторе еще 20—30 мин при давлении 0,3 МПа. Точное время осахаривания, соответствующее наибольшему содержанию РВ, устанавливает лаборатория, которая каждые 3—5 мин определяет в пробах содержание редуцирующих веществ.

Процесс нейтрализации крахмала контролируют по иодной пробе, концентрации, кислотности и pH в каждом конверторе по методикам, описанным в гл. «Технология получения крахмальной патоки». От каждого конвертора одновременно порции по 50—100 мл сливают в сосуд для составления среднесменной пробы, в которой определяют доброкачественность методом Лейна и Эйнона.

Процессы очистки, уваривания глюкозных сиропов и оттеков контролируют так же, как и паточных сиропов. В средней пробе от каждого залитого кристаллизатора определяют доброкачественность и pH.

Процесс кристаллизации контролируют по анализам утфелей I и II продуктов. Пробы утфелей отбирают из каждого кристаллизатора при спуске в центрифуги. В средних пробах определяют концентрацию, доброкачественность и pH. Эти же показатели определяют в межкристальных оттеках. Методы исследования этих продуктов подробно изложены в соответствующих инструкциях по технохимическому контролю глюкозно-паточного производства.

Качество кристаллической глюкозы определяют в соответствии с действующим ГОСТом. Пробы глюкозы берут от каждого десятого мешка щупом из трех мест. В среднесменной пробе определяют внешний вид, цвет (по эталону), прозрачность раствора, вкус, влажность и доброкачественность.

В среднедекадных пробах дополнительно определяют содержание железа и золы.

Влажность глюкозы определяют высушиванием навески в сушильном шкафу в течение 2 ч при температуре 55 °С до постоянной массы. Расчет ведут в процентах к массе глюкозы.

Доброкачественность глюкозы высчитывают ме-

тодом Лейна и Эйнона по содержанию редуцирующих веществ, пересчитанных в процентах на сухое вещество. По этому методу 2 г глюкозы, отвешенной на аналитических весах, дистиллированной водой переводят в мерную колбу на 200 мл и взбалтывают до полного растворения кристаллов. Дистиллированную воду доливают в колбу до метки, тщательно перемешивают и заливают в бюретку, предварительно сполоснутую этим же раствором.

В коническую колбу вместимостью 200 мл точно отмеряют по 12,5 мл раствора Фелинга I и II, прибавляют 50 мл воды и при кипячении титруют раствором глюкозы при индикаторе метиленовый синий по специальной методике, указанной в инструкции.

Доброкачественность $Д_k$ вычисляют по формуле

$$Дk = T \cdot 100 \cdot 100/VC,$$

где T — фактор раствора Фелинга; V — объем раствора глюкозы, израсходованного на титрование, мл; C — содержание сухих веществ в глюкозе, %.

Содержание железа в глюкозе определяют фотоколориметрическим методом. Он заключается в определении интенсивности окраски после образования в растворе глюкозы железосульфосалицилового комплекса.

Для каждого прибора или при смене реактивов строят калибровочный график. Для этого навеску железоаммонийных квасцов массой 0,863 г растворяют в дистиллированной воде, количественно переносят в колбу на 1000 мл, добавляют 4 мл концентрированной серной кислоты и доводят дистиллированной водой до метки. После тщательного перемешивания 1 мл раствора переносят в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводят дистиллированной водой до метки. Полученный таким образом стандартный раствор пригоден только в день приготовления. 1 мл его содержит 0,001 мг железа.

Затем готовят эталонные растворы, содержащие 0, 2, 4, 6, 8, 10, 20 и 30 мл стандартного раствора, в мерной колбе на 100 мл. В каждую колбу добавляют по 4 мл 10 %-ного раствора сульфосалициловой кислоты и по 4 мл 25 %-ного раствора аммиака. Растворы доводят дистиллированной водой до метки, тщательно перемешивают и дают выстояться в течение 10 мин. В каждой колбе соответственно содержится 0; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008; 0,010; 0,020 и 0,030 мг железа. По раствору, не содержащему железа, настраивают прибор на нуль.

Через 10 мин измеряют величину оптической плотности эталонных растворов в кюветах с расстоянием между рабочими гранями 50 мм, при синем светофильтре ($\lambda = 415$ нм). Затем строят калибровочный график, откладывая по оси абсцисс количества введенного в эталонные растворы железа в миллиграммах, а по оси ординат — соответствующие им величины оптических плотностей. Калибровочный график должен иметь вид прямой линии.

Для определения содержания железа в глюкозе навеску ее массой 2 г, взвешенную на аналитических весах, растворяют в дистиллированной воде и количественно переносят в мерную колбу на 100 мл. Затем прибавляют по 4 мл 10 %-ного раствора сульфосалициловой кислоты и 25 %-ного раствора аммиака. Доливают колбу дистиллированной водой до метки, дают выстояться 10 мин и определяют величину оптической плотности раствора. По калибровочному графику находят количество железа в миллиграммах, содержащееся в навеске глюкозы.

Содержание железа в глюкозе X (в % на сухое вещество) вычисляют по формуле

$$X = C \cdot 100 \cdot 100/2\,1000A,$$

где C — содержание железа в навеске, мг; A — содержание сухих веществ в глюкозе, %.

Глава 9. УЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА

УЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

Для правильной организации учета производства необходимо знать количество израсходованного сырья, выработанной готовой продукции, продуктов, находящихся в производстве (на верстате), побочных продуктов и потерь по технологическим станциям. На основе этих показателей составляется баланс крахмала в производстве, т. е. определяется количество введенного крахмала в производство с картофелем, полученного сырого крахмала, потери с мезгой, картофельным соком и промывными водами.

Учет переработанного картофеля. Количество переработанного, отмытого от грязи картофеля определяется по показаниям автоматических весов, установленных после мойки. Показания автоматических весов не реже 1 раза в трое суток должны проверяться специальной комиссией во главе с заведующим лабораторией. Комиссия устанавливает поправочный коэффициент к показаниям весов, на который умножают их показания по счетчику.

Во время проверки три отвеса картофеля собирают в мешки и взвешивают на десятичных весах. Для получения поправочного коэффициента показания десятичных весов делят на показания счетчика. Результаты проверки оформляются актом или записью в специальном журнале. Поправочный коэффициент применяют ко всему количеству картофеля, переработанному между двумя проверками. Помимо этого с массы картофеля делают скидку на поверхностную влагу в количестве 1 %.

Крахмалистость перерабатываемого картофеля определяется ежесменно и фиксируется в лабораторном журнале. Определяется крахмалистость на весах Парова, а при переработке гнилого или мороженого картофеля — поляриметрическим методом Эверса с поправкой на растворимые сахара.

Для определения количества введенного крахмала в производство подсчитывают средневзвешенную крахмалистость за отчетный период и количество переработанного картофеля. Средневзвешенная крахмалистость определяется по данным среднесуточной крахмалистости и массы переработанного за каждые сутки картофеля. Среднесуточная крахмалистость определяется как среднеарифметическое среднесменных показателей.

Количество крахмала A, введенное с картофелем в производство, определяется по формуле

$$A = C\,\text{Кр}/100,$$

где C — количество переработанного за отчетный период картофеля, т; Кр — средневзвешенная крахмалистость картофеля, %.

Учет сырого крахмала. Сырой крахмал является готовой продукцией терочного цеха.

В зависимости от влажности различают крахмал картофельный сырой марки А (влажность 38 %) и марки Б (влажность 50 %). По органолептическим и физико-химическим показателям крахмал каждой марки подразделяется на I, II и III сорта.

Количество выработанного за отчетный период крахмала определяют взвешиванием каждой партии при передаче его в другой цех или на другой завод. При этом определяют фактическую влажность сырого крахмала и пересчитывают массу на абсолютно сухое вещество.

Для определения количества крахмала, находящегося в наливных складах или емкостях, замеряют объем плотно осевшего крахмала и умножают на 0,625, что дает примерный результат в тоннах в пересчете на абсолютно сухое вещество. В дальнейшем это количество уточняется взвешиванием.

Учет количества крахмала, выработанного и переданного в виде крахмального молока в паточный или глюкозный цех, осуществляют по мерникам. Если же крахмал в виде крахмальной суспензии передается в сушильный цех одного завода, то количество сырого крахмала определяют на основании результатов учета количества выработанного цехом товарного сухого крахмала и крупки. При этом потери в виде распыла принимаются в размере 0,5 % к массе крахмала. Расчет производят по формуле

$$K_c = B + П_к + 0{,}005B,$$

где K_c — количество выработанного сырого крахмала в абсолютно сухом исчислении, т; B — количество выработанного сухого крахмала в абсолютно сухом исчислении, т; $П_к$ — количество крахмальной крупки в абсолютно сухом исчислении, т.

Верстатом цеха сухого крахмала ввиду его незначительности и стабильности пренебрегают.

Учет крахмала в незавершенном производстве. Общее количество сырого крахмала $K_н$ (в пересчете на абсолютно сухое ве-

щество) в незавершенном производстве определяется по формуле

$$K_н = K_{сб} + K_л,$$

где $K_{сб}$ — крахмал в сборниках, т; $K_л$ — крахмал в ловушках, т.

Для учета крахмала в сборниках в каждом из них определяют объем, плотность и температуру молока. С учетом температурных поправок по специальным таблицам находят содержание сухих веществ в молоке и подсчитывают количество абсолютно сухого крахмала. Объем каждого сборника высотой 1 см устанавливается комиссией в составе заведующего лабораторией, технолога, мастера и фиксируется актом.

Крахмал в грязевых сборниках и ловушках пересчитывают на чистый, размытый крахмал, для чего определяют его доброкачественность.

Определение коэффициента извлечения крахмала и расхода картофеля на 1 т крахмала. Коэффициентом извлечения крахмала называется отношение количества выработанного абсолютно сухого крахмала к количеству введенного с картофелем абсолютно сухого крахмала. Обычно его выражают в процентах.

$$K_{извл} = (K_с + K_н)\, 100/C\ Кр,$$

где $K_с$ — количество выработанного сырого крахмала в пересчете на абсолютно сухое вещество, т; $K_н$ — количество абсолютно сухого крахмала, находящееся в незавершенном производстве, т; C — количество переработанного картофеля в чистой массе, т; Кр — средневзвешенная крахмалистость переработанного картофеля, %.

Для определения удельного расхода картофеля на 1 т готового сырого крахмала количество переработанного картофеля делят на количество выработанного сырого крахмала с учетом остатков незавершенного производства.

По окончании производственного сезона переработки картофеля и ловушечного крахмала составляется уточненный отчет и определяется коэффициент извлечения крахмала в целом за сезон переработки картофеля.

Потери по отдельным станциям производства определяются согласно инструкции по нормированию расхода сырья в производстве крахмала и крахмалопродуктов.

Учет производства сухого картофельного крахмала. Учет переработанного сырого крахмала. При приемке сырого крахмала с терочных заводов в сушильный цех количество его определяют методом прямого взвешивания с последующим пересчетом на сухое вещество по фактической влажности. Если же крахмальное молоко поступает из терочного в сушильный цех без мерников, то учет ведут по количеству выработанного за отчетный период сухого крахмала, полученной крахмальной крупки и потерь.

При возвращении в терочный цех счисток и промывных вод с осушающих центрифуг количество переработанного сырого крахмала определяют по приведенной выше формуле.

Если одновременно перерабатывается крахмальное молоко, поступающее из терочного цеха, и привозной сырой крахмал, то количество выработанного сырого крахмала в терочном цехе

определяется по разности между величиной общего количества переработанного сырого крахмала, определенного расчетным путем, и массой переработанного привозного чистого абсолютно сухого крахмала.

Учет количества выработанного сухого крахмала. Готовой продукцией является переданный на склад сухой крахмал, соответствующий ГОСТ 7699—78. Количество его определяют взвешиванием на товарных весах. Количество полученной крахмальной крупки (оклейстеризованные комочки после бурата, не возвращенные в терочный цех для переработки) также определяют путем взвешивания.

Определение удельного расхода сырья. Удельный расход сырого крахмала (в пересчете на абсолютно сухое вещество) на выработку 1 т сухого крахмала фактической влажности определяют как отношение количества переработанного сырого крахмала в пересчете на абсолютно сухое вещество к количеству выработанного товарного сухого крахмала фактической влажности. Потери в производстве сухого крахмала определяют как разницу между фактическим удельным расходом и теоретическим при влажности сухого крахмала 20 %.

УЧЕТ В КУКУРУЗОКРАХМАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Учет переработанной кукурузы. Количество кукурузы (товарной влажности и абсолютно сухой), принятой в производство за отчетный период, учитывается по массе на автоматических весах. Показания автоматических весов не реже 1 раза в декаду должны проверяться комиссией, состоящей из представителей сырьевого отдела, лаборатории; в нее входят также весовой мастер и весовой поверитель. Проверку производят так же, как и картофельных автоматических весов, только взвешивают на десятичных весах кукурузу после одного опрокидывания весов. Каждая проверка оформляется актом с указанием поправочного коэффициента к показаниям весов.

Каждая партия кукурузы, принятая на замочку, сопровождается качественным удостоверением лаборатории, в котором указывается влажность, содержание сорной и зерновой примесей. Переводной коэффициент для пересчета товарной кукурузы на абсолютно сухую и чистую рассчитывают по формуле

$$K = [100 - (W + C)]/100,$$

где W — средневзвешенная влажность зерна, %; C — сорная примесь (средневзвешенное значение), %.

Количество переработанной кукурузы в пересчете на абсолютно сухое вещество определяется следующим образом. Находят массу остатка кукурузы в производстве в начале периода в тоннах, к нему прибавляют массу поступившей кукурузы на замочку и из полученной суммы вычитают остаток кукурузы в производстве на конец учетного периода.

Влажность товарной кукурузы определяется как средневзвешенная из среднесуточных показателей влажности, фиксируемых в лабораторном журнале, и массы переработанного за сутки зерна. Также определяется средневзвешенная крахмалистость зерна в процентах к массе абсолютно сухих веществ.

Количество выработанного сырого крахмала (в абсолютно сухом исчислении) определяется по количеству крахмала, переданному в материальный склад, или по количеству крахмального молока, переданному в другие цехи. Мерники крахмального молока должны быть строго калиброваны, а результаты калибровки отражены в акте.

Количества побочных продуктов (кормов, уваренного экстракта и зародыша) определяют по их массе в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Учет продуктов в незавершенном производстве. Количество продуктов, находящееся в незавершенном производстве (на верстате), определяют в начале и в конце отчетного периода. Для этого согласно инструкции измеряют объемы продуктов в сборниках и других емкостях, замеряют их плотность и пересчитывают на абсолютно сухое вещество. Сыпучие продукты, находящиеся на верстате, взвешивают (или замеряют их объем), а также пересчитывают на сухое вещество по объемной массе продукта.

Определение выхода крахмала и удельного расхода кукурузы. На основании полученных данных составляют баланс сухих веществ кукурузы, определяют выход крахмала и удельный расход кукурузы на 1 т крахмала.

Выход крахмала определяют путем отношения массы выработанного за отчетный период крахмала в абсолютно сухом исчислении к массе переработанной за тот же период абсолютно сухой кукурузы и выражают в процентах.

Расход абсолютно сухой кукурузы P на 1 т крахмала вычисляют по формуле

$$P = K_к / K_{кр},$$

где $K_к$ — количество переработанной абсолютно сухой кукурузы, т; $K_{кр}$ — количество выработанного абсолютно сухого крахмала, т.

УЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУХОГО КРАХМАЛА

Количество сырого крахмала в абсолютно сухом исчислении определяют по мерникам крахмального молока, поступившим в сушильный цех. Зная число мерников крахмального молока и среднюю плотность его, определяют количество сухих веществ переработанного крахмала $K_с$ по формуле

$$K_с = nVdS,$$

где n — число мерников; V — емкость и вместимость мерника, м³; d — плотность крахмального молока, кг/м³; S — содержание сухих веществ в крахмальном молоке, %.

Количество выработанного сухого крахмала, определенное взвешиванием при передаче на склад, также пересчитывают на абсолютно сухое вещество. При этом крахмальную крупку, сметки, счистки в готовую продукцию не включают.

Отношением количества сырого крахмала в абсолютно сухом исчислении к сухому определяют удельный расход его на 1 т сухого крахмала товарной влажности.

УЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУХИХ КОРМОВ, МАСЛА, ЭКСТРАКТА

При учете выработки кормов необходимо учитывать добавки, входящие в их состав (отходы паточного производства, жмых привозного зародыша, отходы элеватора, экстракт и др.).

Учет отпускаемых сырых кормов ведется особенно тщательно. Продукты при отпуске обязательно взвешиваются. По массе сырых кормов за отчетный период устанавливают размер выработки их. Пробы сырого корма анализируют не менее 3 раз в смену. В них определяют содержание сухих веществ. На основании этих данных рассчитывают средневзвешенное содержание сухих веществ в кормах, реализованных в отчетном периоде.

Общее количество выработанных за учетный период сухих веществ кормов получают, суммируя количество сухих веществ сухих кормов (сданных на склад) и сырых кормов.

При учете выработки масла учитывают общее количество переработанного «своего» и привозного зародыша, а также раздельно — количество выработанного из них масла. Остаток масла на верстате определяется путем замера его в сборниках. Выход масла из зародыша $B_м$ (в %) вычисляют по формуле

$$B_м = C_м \cdot 100 / C_{зар},$$

где $C_м$ — количество полученного за отчетный период масла, т; $C_{зар}$ — количество переработанного абсолютно сухого зародыша, т.

Аналогично определяют выход зародыша из абсолютно сухой кукурузы.

Количество выработанного за отчетный период жмыха либо определяют взвешиванием, либо вычисляют по разности между массой переработанного зародыша и массой выработанных из него масла и фосфатидов.

Выработка продуктов в абсолютно сухом исчислении (сырой крахмал, корма, масло и зародыш, уваренный экстракт, сухой глютен) с учетом незавершенного производства определяется по схеме:

Выработано товарной продукции, т + Остаток сухих веществ в конце отчетного периода — Остаток сухих веществ в начале отчетного периода

Определяя количество кормов и глютена, различают постоянный остаток их или количество продуктов, находящееся в технологическом оборудовании при нормальном его заполнении, и случайный остаток, т. е. сухие, сырые или полусырые корма,

глютен, находящиеся вне оборудования. Постоянный остаток определяют при остановке завода, когда прекращается подача сырья (мелкая и крупная мезга, глютен и др.), до момента полной выработки всего верстата. Постоянный остаток определяют 3—4 раза и среднюю величину его, выраженную в тоннах, считают постоянной. Случайный остаток кормов и глютена, находящихся на заводских площадках, емкостях, учитывают по массе или путем обмера и пересчитывают на абсолютно сухое вещество.

Количество глютена в отстойниках замеряют так же, как в сборниках. По массе суспензии и содержанию в ней сухих веществ находят количество безводного глютена.

Суммируя постоянные и случайные остатки кормов и остатки глютена в отстойнике, получают общие остатки кормов. При наличии производства сухого глютена суммируют постоянные и случайные остатки глютена и остатки его в отстойниках. Таким образом определяют общие остатки глютена.

Учет остатков экстракта в конце учетного периода производится путем замера объема жидкого и частично уваренного экстракта в сборниках и в выпарных аппаратах, а также измерением содержания в нем сухих веществ.

УЧЕТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПАТОКИ И ГЛЮКОЗЫ

Показатели работы паточного завода оцениваются по расходу сухих веществ крахмала, поступившего в переработку, на 1 т патоки с содержанием 78 % СВ. Для определения степени использования сырья и потерь сухих веществ крахмала в производстве используют величины теоретического и практического выходов. Теоретическим выходом называют количество безводной патоки, которое может быть получено из 100 массовых единиц абсолютно сухого крахмала без потерь сухих веществ патоки в производстве. Практический выход патоки — это количество безводной патоки, фактически полученное из 100 массовых единиц сухих веществ крахмала. Разность между теоретическим и практическим выходами дает величину общих потерь сухих веществ в паточном производстве.

Для определения выхода патоки и потерь сухих веществ крахмала учитывают количества поступившего в производство крахмала и выработанной патоки. Количество крахмала учитывают объемным методом или взвешиванием, количество патоки — взвешиванием. В отдельных случаях, предусмотренных инструкцией, допускается определение количества патоки расчетным путем.

В конце отчетного периода на верстате определяют количество полупродуктов в пересчете на сухое вещество и патоку, содержащую 78 % СВ.

Количество переработанного абсолютно сухого крахмала определяется так же, как при учете производства сухого крахма-

ла, т. е. по мерникам. Если для приготовления крахмальной суспензии используют конденсат или промои, то из найденного количества крахмала вычитают количество сухих веществ $K_с$ (в т), введенных с конденсатом или промоями. Расчет ведут по формуле

$$K_с = K g_с (1/g'_{кр} - 1/g'_{кр}),$$

где K — количество безводного крахмала, поступившего по мерникам, т; $g_с$ — содержание сухих веществ в конденсате или промоях, идущих на разводку, %; $g'_{кр}$ — содержание сухих веществ в крахмальном молоке, %; $g'_{кр}$ — содержание сухих веществ в сыром крахмале, % (эту величину принимают равной 52 %).

При использовании непрерывного осахаривателя учет количества переработанного крахмала осуществляют по количеству крахмального молока, поступившему в расходный сборник из мерников.

Количество привозного крахмала, поступившее в переработку, определяют взвешиванием и пересчитывают по влажности на абсолютно сухое вещество.

Готовая продукция паточного цеха — крахмальная патока по качеству должна соответствовать требованиям ГОСТ 5194—68. Ее количество учитывается взвешиванием. Весы должны своевременно проверяться Государственным поверителем палаты мер и весов.

Учет выработанной патоки ведется ежесменно. При этом патока маркируется согласно ГОСТу, определяется общее ее количество в тоннах и по сортам.

Вся выработанная патока $K_п$ (в т) в натуральной массе пересчитывается на массу с содержанием 78 % СВ, а затем на абсолютно сухое вещество по формуле

$$K_п = P_п g_п / 100,$$

где $P_п$ — количество выработанной товарной патоки, т; $g_п$ — содержание сухих веществ в патоке, %.

Если не представляется возможным определить количество патоки, выработанной из привозного крахмала, то его рассчитывают путем деления количества абсолютно сухих веществ привозного крахмала на удельный расход абсолютно сухого крахмала на 1 т патоки.

Количество сухих веществ в полупродуктах на верстате определяется специальной комиссией, в состав которой входят представители завода и лаборатории. Полученные данные оформляются актом, в котором фиксируются объем продуктов (в м^3), относительная плотность (в т/м^3), содержание сухих веществ (в %), количество сухих веществ (в т). Все емкости и сборники должны быть оттарированы, в каждом из них должен быть определен объем продукта, приходящийся на 1 см высоты емкости.

Количество сухих веществ (в т), полученное из переработан-

ного крахмала и сиропов в отчетном периоде, определяют по следующей схеме:

Количество сухих веществ на верстате в конце отчетного периода	+	Количество сухих веществ выработанной патоки	—	Количество сухих веществ на верстате в начале отчетного периода

Теоретический выход патоки $T_в$ (в %) вычисляют по формуле

$$T_в = Дб/(1 - 0{,}001D) + M + A,$$

где Дб — доброкачественность крахмала, %; D — содержание редуцирующих веществ в патоке, % по СВ; M и A — соответственно содержание золы и азотистых веществ в патоке, % по СВ.

Выход сухих веществ $B_с$ (в т) рассчитывают по формуле

$$B_с = K_{кр}T_в/100,$$

где $K_{кр}$ — количество абсолютно сухого крахмала, переработанное за отчетный период, т; $T_в$ — теоретический выход патоки, %.

Практический выход патоки $П_в$ (в %) определяют по формуле

$$П_в = K_п \cdot 100/K_{кр},$$

где $K_п$ — количество сухих веществ патоки, выработанное за отчетный период, т; $K_{кр}$ — количество сухих веществ крахмала, переработанное в отчетном периоде, т.

Удельный расход крахмала на 1 т патоки определяют как отношение количества переработанного безводного крахмала в килограммах к количеству выработанной патоки в пересчете на 78 % СВ в тоннах.

Разность между теоретическим и практическим выходами патоки дает общие потери сухих веществ в производстве, которые подразделяются на потери сухих веществ патоки с фильтр-прессной грязью, с норитным фильтрационным осадком, с салфетомоечными водами, с барометрической или сточной водами. По разности между общими потерями и суммой потерь в названных отходах определяют неучтенные потери.

Определив количество фильтр-прессной грязи и содержание в ней сухих веществ патоки, рассчитывают потери сухих веществ с фильтр-прессной грязью. Количество осадка замеряют либо объемным методом, либо взвешиванием. Можно также определить среднюю массу осадка из одной рамы фильтр-пресса и затем, умножив ее на количество разгруженных фильтр-прессов и число рам в каждом прессе, определить общее количество фильтр-прессной грязи за отчетный период.

Потери с фильтр-прессной грязью $П_{ф.г}$ (в г) рассчитывают по формуле

$$П_{ф.г} = P_{ф.г}C(100 - W)/100 \cdot 100,$$

где $P_{ф.г}$ — количество фильтр-прессной грязи, т; C — содержание сухих веществ патоки в ней, %; W — влажность грязи, %.

Потери сухих веществ патоки с фильтр-прессной грязью в тоннах относят к количеству переработанного абсолютно сухого крахмала и выражают в процентах.

Потери сухих веществ патоки с отработанным норитным осадком $П_н$ определяют по формуле

$$П_н = 1{,}25K_нD \cdot 100/(100 - D)K_{кр},$$

где $K_н$ — количество норита, израсходованное за отчетный период, т; D — содержание сухих веществ патоки в отработанном угле по массе сухих веществ, %; $K_{кр}$ — количество сухих веществ переработанного крахмала, т; 1,25 — коэффициент, учитывающий примеси белка, жира, золы, и другие примеси, адсорбированные углем при фильтрации.

Потери с салфетомоечными водами определяются по их количеству и содержанию сухих веществ патоки в них. Количество салфетомоечных вод определяют либо мерниками, либо расходомерами, установленными на соответствующих коммуникациях. Расчет потерь $П_{сф}$ к массе абсолютно сухого крахмала ведут по формуле

$$П_{сф} = 0{,}2381\alpha V_{ср}/4K_{кр},$$

где α — угол поляризации воды в трубке длиной 400 мм, град; $V_{ср}$ — количество сточных вод, м³; $K_{кр}$ — количество абсолютно сухого крахмала, переработанное за отчетный период, т.

Аналогично определяют и потери сухих веществ с барометрической или сточной водами.

Неучтенные потери в производстве патоки определяют по разности между общими потерями и суммой определенных потерь.

Учет в производстве кристаллической глюкозы осуществляется так же, как и в паточном. Количество выработанной товарной глюкозы определяют взвешиванием на весах и затем пересчитывают его на абсолютно сухое вещество.

Количество полученного гидрола определяется по данным отгрузки и замеров остатков по объему. Это количество также пересчитывается на абсолютно сухое вещество. Количество продуктов, находящееся на верстате производства на конец учетного периода и пересчитанное на сухое вещество, определяют путем снятия остатков, так же как при учете в паточном производстве. Если производство глюкозы осуществляется кислотным способом с доосахариванием зеленой патоки, то выход безводной глюкозы B (в % к сухим веществам глюкозного сиропа) вычисляют по следующим формулам:

а) Из сиропов I продукта и желтого сахара

$$B = \frac{100\,(Д - Д_1)\,(100 - Д_г) + (Д_2 - Д_г)\,(100 - Д)}{(100 - Д_1)\,(100 - Д_г)} - g_1,$$

где $Д$ — доброкачественность сиропов I продукта и желтого сахара, %; $Д_1$ и $Д_2$ — доброкачественность зеленой патоки соответственно до и после осахаривания, %; $Д_г$ — доброкачественность гидрола, %; g_1 — потери глюкозы, % (принимаются равными 2 %).

б) Из сиропа II продукта

$$B = (Д_2 - Д_т)\,100/(100 - Д_т) - g_2,$$

где g_2 — потери глюкозы (определяются опытным путем и равны 1 %).

При производстве кристаллической глюкозы с применением ферментов для гидролиза крахмала зеленая патока гидролизу не подвергается. Поэтому выход глюкозы B (в %) из сиропов I продукта вычисляется по формуле

$$B = 100\,(Д - Д_т)/(100 - Д_т) - g_1.$$

Суммарное количество безводной глюкозы $P_в$ (в %), находящееся на верстате, определяется следующим образом:

$$P_в = P_1B_1/100 + P_2B_2/100,$$

где P_1 и P_2 — соответственно количество сухих веществ сиропов I и II продуктов.

Теоретический выход сухих веществ глюкозы $B_т$ (в %) вычисляют по формуле

$$B_т = Д_{кр}/(1 - 0{,}001Д_с) + M + A,$$

где $Д_{кр}$ — доброкачественность крахмала, %; $Д_с$ — доброкачественность осахаренного сиропа, %; M и A — соответственно содержание золы и азотистых веществ густого сиропа, %.

Практический выход сухих веществ из переработанного крахмала определяют, суммируя количества выработанных сухих веществ глюкозы, гидрола и верстата в конце учетного периода. Из полученной суммы вычитают количество сухих веществ на верстате в начале учетного периода.

Выход глюкозы вычисляют в процентах к массе сухих веществ переработанного крахмала. Соответственно расход абсолютно сухого крахмала на 1 т глюкозы подсчитывают путем деления количества крахмала на количество товарной глюкозы (приведенной к влажности 9 %). Потери сухих веществ по станциям определяются так же, как в паточном производстве.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Костенко В. Г., Овчинников А. Е., Горбатов В. М. Производство крахмала. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983,—207 с.

Метлицкий Л. В., Гусев С. А., Техтониди И. П. Основы биохимии и технологии хранения картофеля. — М.: Колос, 1972. — 206 с.

Сапронов А. Р., Жушман А. И., Лосева В. А. Общая технология сахара и сахаристых веществ. — М.: Пищевая промышленность, 1979.— 464 с.

Справочник по крахмало-паточному производству/под ред. Е. А. Штырковой и М. Г. Губина — М.: Пищевая промышленность, 1978.— 431 с.

Технология крахмала и крахмалопродуктов/[Н. Н. Трегубов, А. И. Жушман, Е. Я. Жарова, Е. К. Сидорова]. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.

Технология, технохимический контроль и учет крахмало-паточного производства/[М. Е. Бурман, Б. К. Бычков, Б. А. Векслер, и др.]. — М.: Пищевая промышленность, 1972. — 410 с.

Трегубов Н. Н., Трегубова М. М. Технохимический контроль крахмало-паточного производства. — М.: Пищевая промышленность, 1974. — 216 с.

Шамборант Г. Г. Технологическое оборудование предприятий крахмало-паточной промышленности. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 216 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

РАЗДЕЛ I. ТЕХНОЛОГИЯ КРАХМАЛОПРОДУКТОВ

Строение крахмала 6
Свойства крахмала 8

Глава 1. Технология получения сырого картофельного крахмала . 12

Картофель, его приемка и хранение 12
Принципиальная технологическая схема производства сырого картофельного крахмала 21
Подготовка картофеля к переработке 23
Измельчение картофеля 27
Выделение картофельного сока 29
Вымывание крахмала из кашки 30
Выделение соковой воды из крахмальных суспензий . 37
Рафинирование крахмальной суспензии 39
Вымывание крахмала из мелкой мезги 39
Промывание крахмала 40
Переработка ловушечного крахмала 42
Водоснабжение картофелекрахмального завода . . . 42
Расход пара, электроэнергии и вспомогательных материалов 43
Выход и потери крахмала при переработке картофеля . 44
Качество сырого крахмала 45
Отходы производства и их использование 45
Новая технологическая схема производства картофельного крахмала 49
Примерный расчет продуктов производства сырого картофельного крахмала по схеме с использованием безнапорных дуговых сит и промыванием крахмала на гидроциклонах 51

Глава 2. Технология получения сырого кукурузного крахмала . . 59

Кукуруза как сырье для производства крахмала . . 59
Приемка, хранение и очистка кукурузы 61
Технологическая схема получения сырого кукурузного крахмала 62
Замачивание кукурузы 64
Дробление замоченного зерна и выделение зародыша . 72
Отцеживание и промывание зародыша 78
Тонкое измельчение кашки 79
Отделение свободного крахмала от клетчатки, рафинирование крахмальной суспензии 83
Разделение крахмала и белка 86
Сгущение глютеновой суспензии 92
Разделение крахмальной суспензии на гидроциклонах с применением центробежных сепараторов 96
Промывание крахмала на вакуум-фильтрах 97

Расход вспомогательных материалов, пара, электроэнергии, воды 102
Расчет продуктов кукурузокрахмального производства 103

Глава 3. Технология получения смешанного корма, кукурузного экстракта и кукурузного масла 115

Получение сухих кукурузных кормов 115
Получение кукурузного экстракта 123
Получение кукурузного масла 126
Глава 4. Технология получения сухого крахмала 129
Механическое обезвоживание крахмала 129
Высушивание крахмала 131
Современное оборудование, применяемое для сушки крахмала 133
Отделка сухого крахмала 137
Хранение, упаковка и маркировка крахмала 141
Глава 5. Технология получения декстрина, саго и модифицированных крахмалов 143

Получение декстрина 143
Получение искусственного саго 148
Получение модифицированных крахмалов 153
Глава 6. Технология получения крахмальной патоки 157
Основы теории гидролиза крахмала 157
Получение патоки гидролизом крахмала соляной кислотой 159
Получение мальтозной патоки 193
Новые виды патоки 194
Расход воды, пара, электроэнергии, вспомогательных материалов 196
Расчет продуктов паточного производства 197

Глава 7. Технология получения глюкозы 204

Общие сведения о глюкозе 204
Кислотный гидролиз крахмала 206
Гидролиз крахмала с применением ферментов . . . 207
Современные технологические схемы производства кристаллической гидратной глюкозы 214
Технологические процессы в производстве глюкозы . . 220

РАЗДЕЛ II. ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И УЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА

Глава 8. Технохимический контроль производства крахмала и крахмалопродуктов 260

Отбор и подготовка средних проб 260
Основные методы и приборы для контроля производства 262
Контроль производства картофельного крахмала . . 278
Контроль производства кукурузного крахмала . . . 288
Контроль производства сухого крахмала 297
Контроль производства кормов 298
Контроль производства масла 299
Контроль производства экстракта 301
Контроль производства патоки 302
Контроль производства глюкозы 304

Глава 9. Учет производства 306

Учет в производстве картофельного крахмала . . . 306
Учет в кукурузокрахмальном производстве 309
Учет в производстве сухого крахмала 310
Учет в производстве сухих кормов, масла, экстракта . 311
Учет в производстве патоки и глюкозы 312
Список рекомендуемой литературы 317

Вı
р
С
С
г

**Евгения Александровна Штыркова,
Елена Константиновна Сидорова, Карп Иванович
Пазирук и др.**

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КРАХМАЛО-ПАТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Заведующая редакцией Л. М. Богатая
Редактор И. Н. Кобчикова
Художник Д. И. Бочаров
Художественный редактор В. А. Чуракова
Технический редактор Л. И. Кувыркина
Корректоры Б. А. Приходько, О. И. Галанова

ИБ № 4465

Сдано в набор 29.07.85. Подписано в печать 11.12.85. Т-23619. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. п. л. 20,0. Усл. кр. отт. 20,25. Уч.-изд. л. 22,58. Тираж 1500 экз. Заказ 557. Цена 85 коп. Изд. № 388.

Ордена Трудового Красного Знамени
ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП
Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.